



Volume 36 Number 6 November - December 2017  
ISSN : 1686-9664

Journal of  
**SCIENCE and TECHNOLOGY**  
**MAHASARAKHAM UNIVERSITY**  
[www.journal.msu.ac.th](http://www.journal.msu.ac.th)

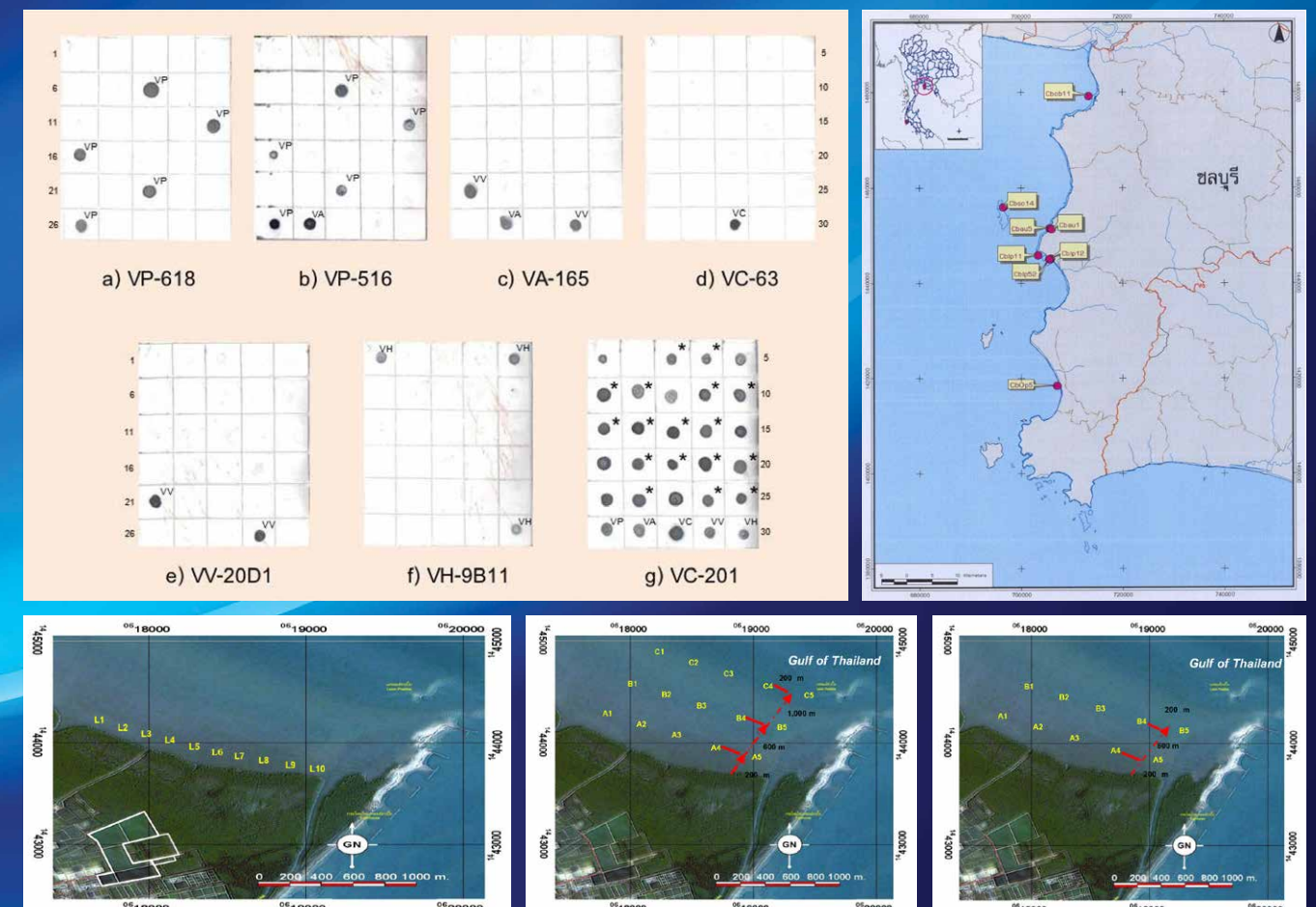
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2560

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 36 Number 6 November - December 2017



ปีที่ 36 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2560  
ISSN : 1686-9664

วารสาร  
**วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**  
**มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**  
[www.journal.msu.ac.th](http://www.journal.msu.ac.th)



Journal of Science and Technology Mahasarakham University  
We are listed in the Thai-Journal Citation Index Centre. (Tier 1)  
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1



**วัตถุประสงค์**

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

**เจ้าของ**

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
สำนักงานกองบรรณาธิการ  
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150  
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

**ที่ปรึกษา**

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ศาสตราจารย์ นพ.ดร.เวื่อน สมณะ ราชบัณฑิต  
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไบไม  
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

**บรรณาธิการ**

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

**ผู้ช่วยบรรณาธิการ**

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรรณ  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชา  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**กองบรรณาธิการ**

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานประรอง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณนา บุญยะสิทธิ์พรณ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมฆากล  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารณณัติ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวลิทธิพงษ์  
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนณแก้ว  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
รองศาสตราจารย์ ดร.บึงอร กุมพล  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร  
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ  
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา  
มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังศ์พิริโยธา  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดุลพร รุ่งสีหิรัชัย  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
อาจารย์ ดร.วัชจันดา วัฒนาลัย  
มหาวิทยาลัยสยาม  
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
Mr.Paul Alexander Dulfer  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
นางฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์  
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

**เลขานุการ**

นางพักรวีไล รุ่งวิสัย

**ผู้ช่วยเลขานุการ**

นางจิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

**กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่**

ปีละ 6 ฉบับ  
ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์  
ฉบับที่ 2 มีนาคม - เมษายน  
ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน  
ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม  
ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม  
ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม

**Aim and Scope:**

The MSU Journal of Science and Technology is published quarterly and dedicated to the promotion and dissemination of scientific knowledge in the disciplines of Bioscience, Physical Science and Engineering Articles and research papers to be published in the Journal of Science and Technology Maharakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

**Ownership**

Maharakham University  
Editorial Office  
Division of Research Support and Development,  
Khamriang Sub-district, Kantharawichai District,  
Maha Sarakham Province 44150  
Tel & Fax: 0 4375 4238 ext. 1754

**Advisors**

President of Maharakham University  
Professor Dr. Reon Soman  
Professor Dr. Visut Baimai  
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

**Editor-in-Chief**

Professor Dr.Preecha Prathepha

**Assistant Editors**

Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Pairot Pramual  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum  
Maharakham University

**Editorial Board**

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd  
Chulalongkorn University  
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Supanee Promthet  
Khon Kaen University  
Professor Dr.Pranee Anprung  
Chulalongkorn University  
Professor Dr.Niwat Sonoamuang  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Sunan Saikrasun  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Suwanna Boonyaleepun  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Kwanjai Kanokmedhakul  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Chantana Aromdee  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Boonchong Chawsithiwong  
National Institute of Development Administration

Associate Professor Dr.Porntep Tanonkeo  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub  
Khon Kaen University  
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng  
Khon Kaen University  
Associate Professor Yuen Poovarawan  
Kasetsart University  
Associate Professor Dr.Bungon Kumphon  
Maharakham University  
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak  
Naresuan University  
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Napparat Buddhakala  
Rajamangala University of Technology Thanyaburi  
Assistant Professor Dr.Anucha Pranchana  
Ubon Ratchathani Rajabhat University  
Assistant Professor Dr.Seckson Sukhasena  
Naresuan University  
Assistant Professor Dr.Apinya Wongpiriyayothar  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom  
Maharakham University  
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai  
Maharakham University  
Dr.Rakjinda Wattanalai  
Siam University  
Dr.Somnuk Puangpronpitag  
Maharakham University  
Mr.Paul Alexander Dulfer  
Maharakham University  
Chaweewan Akkasesthang  
Maharakham University

**Secretary**

Phakwilai Rungwisai

**Assistant secretary**

Jirarat Puseerit

**Six issues per year**

Number 1 January - February  
Number 2 March - April  
Number 3 May - June  
Number 4 July - August  
Number 5 September - October  
Number 6 November - December

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับ อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ ประกอบไปด้วยเนื้อหาครอบคลุมในศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ ด้านเทคโนโลยี และด้านอื่นๆ ที่เกิดจากการค้นพบองค์ความรู้ใหม่ๆ และมีคุณค่าในเชิงวิชาการ มารวบรวมจัดพิมพ์เผยแพร่เช่นเดียวกับฉบับก่อนๆ ซึ่งผู้อ่านจะได้รับความรู้และสาระที่เป็นประโยชน์ที่สามารถนำไปต่อยอดในศาสตร์ที่ผู้อ่านสนใจ และพัฒนาให้เป็นนวัตกรรมที่เป็นรูปธรรม สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของประเทศที่มีเป้าหมายในการก้าวไปสู่ยุคไทยแลนด์ 4.0

บทนิพนธ์ในวารสารฯ ฉบับนี้ มีเนื้อหาที่ได้จากผลงานวิจัยในด้านต่างๆ ได้แก่ งานวิจัยทางด้านคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับพีชคณิต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการอบแห้ง การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการใหม่ๆ วิธีการคัดแยกพฤติกรรมของโค การวิเคราะห์สารปนเปื้อน การศึกษาการออกฤทธิ์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ การวิจัยด้านความหลากหลายทางชีวภาพ รวมทั้งการวิจัยและพัฒนากระบวนการจัดการระบบข้อมูลต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับองค์กร เป็นต้น วารสารฯ ฉบับนี้จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับ นิสิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เพื่อใช้ประกอบการศึกษา เพิ่มพูนความรู้ และติดตามความรู้ใหม่ๆ ที่เกิดจากการวิจัยและพัฒนาของศาสตร์ด้านต่างๆ อย่างไรก็ตาม กองบรรณาธิการอยากเรียนให้ท่านได้ทราบว่า ปัจจุบันนี้ นิพนธ์ต้นฉบับที่ส่งมาให้วารสารฯ พิจารณาเพื่อลงตีพิมพ์นั้นมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้กระบวนการพิจารณาคัดเลือกบทนิพนธ์เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารฯ มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อการยกระดับคุณภาพของงานวิจัยรวมทั้งคุณภาพของวารสารฯ ด้วย กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฯ ฉบับนี้ คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอเชิญชวนทุกท่านส่งผลงานวิจัยหรือบทความทางวิชาการมาลงตีพิมพ์ในวารสารฯ มา ณ โอกาสนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน  
กองบรรณาธิการ

**คำอธิบายภาพปก** : การเกิดความผิดปกติทางเพศ (Imposex) ในหอยฝาเดียวบริเวณจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย, การตรวจสอบการปนเปื้อน *Vibrio parahaemolyticus* ในหอยแครงด้วยโมโนโคลนอลแอนติบอดี, การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) บริเวณหาดเลนงอกใหม่ แหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

**ภาพปก** : สุภัณฑิต นิมรัตน์ และคณะ. 2560, 749-758.,  
วารุณี หะยีมะสา 2560, 759-763.,  
เสถียรพงษ์ ขาวหิต 2560, 780-791.

## สารบัญ

### นิพนธ์ต้นฉบับ

- ผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนต่อพฤติกรรมการอบแห้ง  
อุณหภูมิ สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 661  
**Effect of Black Galingale Drying by Microwave-Hot Air Combination on Drying Behavior,  
Temperature, Color, Shrinkage and Specific Energy Consumption**  
ปกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย  
Pakonkiad Poongploys
- แบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ 668  
**A Decision Model in Major Selection for Information Technology Students**  
สุภลักษณ์ สีสุกอง, พิชญ์สินี กิจวัฒนาถาวร, ธรา อังสกุล, จิติมนต์ อังสกุล  
Supaluck Seesukong, Phichayasini Kitwatthanathawon, Thara Angskun, Jitimon Angskun
- เซตบนวางนัยทั่วไปและส่วนซ้ำวางนัยทั่วไปในพีชคณิต-BE 678  
**On generalized upper sets and generalized terminal sections in BE-algebras**  
อรรถพล ภูมิลลา, ขจรศักดิ์ เนียมน่วม, รัตนา คำตุ้ม, สุพรรณนิกา บุญอาจ  
Attaphol Pumila, Khachonsak Niamnuam, Ruttana Khamtum, Supannika Boonard
- เกณฑ์ใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาค่าอัตราส่วน Signal-to-Noise ที่น้อยเกินไป  
และความน่าจะเป็นที่จะ Over/Underfitting สำหรับตัวแบบถดถอย 685  
**New Criterion to Correct the Problems of Weak Signal-to-Noise Ratio and the Probability  
of Over/Underfitting for Regression Model**  
วารงคณา เรียนสุทธิ์  
Warangkha Riansut
- การพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญญาานิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรี  
ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ 697  
**Prototype System Senior Project Online Development for Undergraduates by Cloud Computing**  
อังคณา จัตตมาต, อัชฌาพร กว่างสวัสดิ์  
Aungkana Jattamart, Achaporn Kwangsawad
- การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี 704  
**The Use of Data Mining in Selecting Areas of Study for Further Education Opportunity**  
อนันต์ ปิณะเต  
Anan Pinate

## สารบัญ

- ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว  
ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา 713  
**A Simulated Annealing Algorithm for Travel Itinerary Planning under Time Constraints**  
ปิยรัตน์ งามสนิท, ธรา อังสกุล, จิติมนต์ อังสกุล  
Piyarat Ngamsanit, Thara Angskun, Jitimon Angskun
- การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่เติมจุลินทรีย์จำพวกปลวก  
และจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง 728  
**Treatment of Synthetic Wastewater by Up-flow Anaerobic Filter Seeded with Termite Comb Microbes  
and Purple Non Sulfur Bacteria**  
กฤษวรรณ อุดมศรี, พีรศักดิ์ ท่อนคำ, เพชร เฟิงชัย  
Krittanon Prathepha, Apinan Aurasopon,
- ผลของโมลิบดีนัมต่อความแข็งของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน 734  
**Effect of Molybdenum on Hardness of Multi-alloyed White Cast Iron following Heat Treatment**  
ไพบูรณ์ โคตรพรหม, สุตสาคร อินธิเดช  
Paiboon Khoatepome, Sudsakorn Inthidech
- การตัดแยกพฤติกรรมโคโดยไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง 740  
**Classification of Cattle Behavior using Dynamic Time Warping**  
กฤตานน ประเทพา, อภินันท์ อูร์โสภณ  
Krittanon Prathepha, Apinan Aurasopon
- การเกิดความผิดปกติทางเพศ (Imposex) ในหอยฝาเดียวบริเวณจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย 749  
**Imposex occurrence of gastropods collected from Chon Buri Province, Thailand**  
สุบัตินิต นิมรัตน์, พณิตตา เอี่ยมสะอาด, พงศ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา,  
วิศุร ชาวสุข, วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย, สมสุข มัจฉาชีพ  
Subuntith Nimrat, Pannita Eamsaart, Pongrat Dumrongrojwattana,  
Witoon Khawsuk, Verapong Vuthiphandchai, Soomsook Mathchacheep
- การตรวจสอบการปนเปื้อน *Vibrio parahaemolyticus* ในหอยแครงด้วยโมโนโคลนอลแอนติบอดี 759  
**Investigation into Contamination by *Vibrio parahaemolyticus* in Cockle (*Anadaragranosa*)  
Using Monoclonal Antibody**  
วารุณี หะยีมะสา  
Warunee Hajimasalaeh

## สารบัญ

- การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของเรดอน-222  
ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O 764  
**Study on Factor Cancer Formation by Specific Activities of Radon - 222  
in Drinking Water Samples Using RAD H<sub>2</sub>O Technique**  
ไม้มูน อินตัน, ไชนับ ดอลาะ, ดาริกา จาเออะ, อดุลย์สมาน สุขแก้ว  
Maimoon Intan, Sainap Doloh, Darika Jaaoh, Adulsman Sukkeaw
- ยากุมกำเนิดชนิดทานกับมะเร็งเต้านมในสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน 769  
**Oral contraceptive use and breast cancer among Thai premenopausal women**  
วิศิษฎ์ ฉวีพจน์กำจร, ญัฐจาพร พิชัยณรงค์, รังษีนพดล โถทอง,  
ปรารธนา สถิตวิภาวี, ศุภชัย ปิติกุลตั้ง  
Wisit Chaveepojnkamjorn, Natchaporn Pichainarong, Rungsinoppadol Thotong,  
Pratana Satitvipawee, Supachai Pitikultang
- การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798)  
บริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย  
อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี 780  
**Spatial and Temporal Distribution of Tiger Moon Snail *Natica tigrina* (Röding, 1798)  
in the New Mudflat Area of Laem Phak Bia: The King's Royally Initiated Laem Phak Bia  
Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province.**  
เสถียรพงษ์ ขาวหิต, เกษม จันทร์แก้ว  
Sateinpong Khowhit, Kasem Chunkao
- ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบ  
จากเส้นใยของเห็ดหังพิมาน (*Phellinus linteus*) ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด 792  
**Total contents of polysaccharide, phenol and flavonoid, and antioxidant activity  
of crude hot boiling-water extract from cultured mycelia of *Phellinus linteus***  
ชลลดา ไม้งาม, ประไพรัตน์ สีพลไกร, นิภาพร ชุติมันต์, พนิดา เล้าชาญวุฒิ, ประยุกต์ ศรีวิไล  
Chonlada Maingam, Prapairat Seephonkai, Nipaporn Chutiman, Panida Loutchanwoot, Prayook Srivilai
- ผลกึ่งเฉียบพลันของกวาวเครือขาวต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และค่าทางชีวเคมี  
ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้ 806  
**Sub-acute Effects of Kwao Khruea Khao [*Puerariacandollei* Wall. Ex Benth. Var. *mirifica*  
(Airy Shaw & Suvat.) Niyomdham] on Growth of Reproductive Organs and Hepatic  
Lipid Metabolic Parameters in Male Rats**  
ปัทมา จันทาศรี, ประยุกต์ ศรีวิไล, พนิดา เล้าชาญวุฒิ  
Patthama Chanthasri, Prayook Srivilai, Panida Loutchanwoot





## ผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนต่อพฤติกรรมการอบแห้ง อุณหภูมิ สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

### Effect of Black Galingale Drying by Microwave-Hot Air Combination on Drying Behavior, Temperature, Color, Shrinkage and Specific Energy Consumption

ปกรณ์เกียรติ ภูทองพลอย<sup>1</sup>

Pakonkiad Poongploy<sup>1</sup>

Received: 1 November 2016 ; Accepted: 19 April 2017

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ การทดลองใช้ชุดลดความร้อนขนาด 1100 วัตต์ เครื่องไมโครเวฟกำลังสูงสุด 850 วัตต์ เงื่อนไขของการอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง คือ กำลังไมโครเวฟ 100 180 300 และ 450 วัตต์ และอุณหภูมิอากาศร้อน 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศร้อน 0.5 เมตรต่อวินาทีคงที่ตลอดการทดลอง ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ร้อยละ 80.14 มาตรฐานเปียก และความชื้นสุดท้ายร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก ผลการวิจัย พบว่าเมื่อใช้กำลังไมโครเวฟสูงสุด (MW450W+HA60°C) จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และอุณหภูมิผิวกระชายดำอบแห้งสูงสุด 85 องศาเซลเซียส (MW450W+HA60°C) และเมื่อกำหนดเงื่อนไขอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน พบว่าค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงสุดจะมีการหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด

**คำสำคัญ:** กระชายดำ การอบแห้ง ไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน

#### Abstract

The objective of this paper is to study effect of black galingale drying by microwave-hot air combination on drying time, surface temperature, color, shrinkage and specific energy consumption. A 1.1 kW heater and a 850 W microwave ovens were used. The drying conditions were conducted at different drying conditions of microwave powers of 100, 180, 300, 450 W and hot air temperature of 40, 50, 60°C. The superficial air velocity of approximately 0.5 m/s was fixed throughout the experiment. The initial moisture content of black galingale about 80.14 % wet basis and it was dried until the final moisture content was 2.88 % wet basis. It was found that the highest microwave energy consumption resulted in the shortest drying time. At the highest temperature of drying of MW450W+HA60°C the surface temperature of black galingale of 85°C and the temperature conditions were conducted at different drying method, it was found that whiteness ( $L^*$ ), redness ( $a^*$ ) and yellowness ( $b^*$ ) of black galingale were significantly ( $P<0.05$ ) different and the highest microwave energy consumption which in the resulted in the lowest value of shrinkage and specific energy consumption

**Keywords:** Black galingale, Drying, Microwave - hot air combination

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000

<sup>1</sup> Lecturer, Production Engineering, Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province 42000, Thailand

Email: kham\_smc@hotmail.com

## บทนำ

กระชายดำ (Black Galingale) เป็นสมุนไพรซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ในจังหวัดเลยมีพื้นที่เพาะปลูก ประมาณ 2,650 ไร่ รายได้ต่อปี 1,656 ล้านบาทต่อปี<sup>1</sup> กระชายดำมีสรรพคุณ ช่วยบำรุงธาตุในร่างกาย ช่วยบำรุงฮอร์โมนเพศชาย ช่วยรักษาโรคกระเพาะอาหาร ช่วยรักษาโรคท้องร่วง ช่วยรักษาโรคเก๊าท์และข้ออักเสบต่างๆ ในร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับการยืนยันทางเภสัชวิทยาว่าสารสกัดของกระชายดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ใกล้เคียงกับวิตามินอี<sup>2</sup> การรับประทานกระชายดำมีหลายรูปแบบ เช่น อบแห้งกระชายดำ ลูกอมกระชายดำ ไวน์กระชายดำ กระชายดำแคปซูล กระชายดำผง ยาน้ำกระชายดำ และกาแฟกระชายดำ เป็นต้น<sup>3</sup> การแปรรูปกระชายดำอบแห้ง ได้จากการนำรากเหง้าหรือหัวสดมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นแว่นด้วยเครื่องหั่นที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เพื่อลดความชื้น<sup>4</sup> เทคโนโลยีการอบแห้งในปัจจุบันที่ถูกนำไปใช้กับกระชายดำคือ การอบแห้งด้วยกำลังแสงอาทิตย์ และการอบแห้งด้วยกำลังชีวมวลร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV<sup>5</sup> ซึ่งเทคโนโลยีการอบแห้งดังกล่าว เป็นการใช้อากาศร้อนร่วมกับความชื้นสัมพัทธ์ต่ำในช่วงร้อยละ 60-72<sup>6</sup> ในการอบแห้งจะมีการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ผิววัสดุโดยวิธีการถ่ายเทความร้อน และส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นลดลง<sup>7</sup> ปัญหาคือใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 2-3 วัน<sup>8</sup> ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูง และสูญเสียคุณค่าทางอาหารและสี เนื่องจากวัสดุสัมผัสกับอากาศร้อนสูงนานเกินไป และอาจเกิดกรณีการแห้งที่ผิวได้ (case hardening of surface)<sup>9</sup> หากพิจารณาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในวัสดุที่อบแห้งมีอัตราการอบแห้งสูง ระยะเวลาการอบแห้งสั้นใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย<sup>10,11</sup> และยังสามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เช่น การหดตัวของผลิตภัณฑ์น้อย<sup>12</sup> กลไกการเกิดความร้อนในไมโครเวฟเป็นผลจากขั้วโมเลกุลของน้ำภายในวัสดุ มีการเปลี่ยนแปลงตามสนามไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลส่งผลให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว และภายในวัสดุมีความดันสูงส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว<sup>13</sup> จากการศึกษาทางวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Meena และคณะ<sup>5</sup> ได้ศึกษาการอบแห้งกระชายดำด้วยพลังงานชีวมวลร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV โดยใช้สารทำงาน 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล (ethanol) และ น้ำ (water) ใช้กระชายดำหั่นที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสและทำการอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้น

ร้อยละ 143 มาตรฐานเปียก ไปถึงความชื้นสุดท้ายร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการอบแห้ง 13.5 กิโลกรัม และ 25 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบแห้ง 6.30 ชั่วโมง และ 10.30 ชั่วโมง อัตราการส่งถ่ายความร้อน 1,852 วัตต์ และ 1,078.71 วัตต์ และประสิทธิภาพการอบแห้งร้อยละ 0.48 และ 0.31 และ Varith และคณะ<sup>14</sup> ได้ศึกษาการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ระดับอุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับกำลังไมโครเวฟ 100 180 300 และ 450 วัตต์ พบว่า การอบแห้งใช้เวลาอบแห้งนานสุด 10 ชั่วโมง สิ้นเปลืองพลังงานสูงสุด 9.5 kWh เมื่อพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ สามารถแก้ไขปัญหาด้านการลดความชื้น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และการสิ้นเปลืองพลังงานได้ แต่ยังไม่มีการวิจัยใช้เทคโนโลยีดังกล่าวกับกระชายดำมาก่อน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกระชายดำ

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### การเตรียมวัตถุดิบ

ใช้กระชายดำจากพื้นที่ตำบลท่าศาลา อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ล้างกระชายดำให้สะอาด นำเนื้อกระชายดำหั่นตามขวางที่มีความหนา 2 มิลลิเมตร สุ่มตัวอย่างเพื่อหาความชื้นเริ่มต้น โดยใช้ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) โดยใช้กระชายดำ 10 กรัม อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง<sup>5</sup> วัดความชื้นเริ่มต้นได้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 80.14 มาตรฐานเปียก

### ระบบอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟใช้รุ่น ME81Y มีกำลังสูงสุด 850 วัตต์ ถูกติดตั้งเข้ากับระบบขดลวดทำความร้อน (Heater) เครื่องเป่าลม (Blower) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุปกรณ์ถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ในการตัด – ต่อ อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง ในการวัดและบันทึกอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อเข้ากับ Data logger รุ่น MX - 100 วัดความเร็วอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งโดยเครื่องวัดความเร็วอากาศชนิด (Hot wire Anemometer) น้ำหนักของกระชายดำสำหรับทดสอบแต่ละเงื่อนไข 100 กรัม/ ถาด (tray) ตัวอย่างทำจากโพลีเมอร์สโปลีโพรพิลีน (polypropylene)

มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น WT30002CF ความละเอียด  $\pm 0.01$  โดยนำมาติดตั้งด้านใต้ของถาดอบแห้งเพื่อบันทึกน้ำหนักระหว่างถาดอบแห้ง และส่วนอุปกรณ์ที่ใช้กระแสไฟฟ้าจะถูกติดตั้งผ่านหม้อมิเตอร์ไฟฟ้ารุ่น DD28, China ทั้งหมด เช่น ไมโครเวฟ ขดลวดความร้อน และพัดลม ในการวัดการใช้กำลังไฟฟ้า

### ขั้นตอนในการทดลอง

เริ่มการทดลอง ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- นำกระชายดำ เข้าห้องอบแห้งตู้ไมโครเวฟที่ กำลัง 100 วัตต์ อุณหภูมิอากาศร้อน 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อน 0.5 เมตร/วินาที อบแห้งจนความชื้นของกระชายดำ ลดลงถึงร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก
- ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 180 วัตต์
- ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 300 วัตต์
- ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 450 วัตต์

### การวิเคราะห์สี

สีเนื้อของกระชายดำจะหาได้โดยใช้เครื่อง Hunter Lab colorimeter (Color Flex) ซึ่งจะแสดงอยู่ 3 ค่า คือ ค่า (L\*) จะแสดงค่าความสว่างโดยมีค่าตั้งแต่ 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว ส่วนค่า (a\*) จะบ่งชี้ความเป็นสีแดงและเขียว โดยค่าเป็นบวก (+a) คือสีแดง ค่าเป็นลบ (-a) คือสีเขียว และค่า (b\*) จะบ่งชี้ความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (b+) คือสีเหลือง (b-) คือสีน้ำเงิน ซึ่งการวัดค่าสีจะทำการวัด 3 ซ้ำ ในแต่ละหน่วยตัวอย่าง

### การวิเคราะห์การหดตัว

การวิเคราะห์การหดตัวของกระชายดำอบแห้ง จะทำการวัดค่า ความกว้าง ความยาว และความหนา ของตัวอย่าง (กระชายดำ) ทั้งก่อนและหลังอบแห้งด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนียส คาลิเปอร์ ที่มีความละเอียด  $\pm 0.1$  มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$ ) มาแทนค่าในสมการ (1)<sup>15</sup> และทำการหาค่าการหดตัวจะทำ 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง

$$\text{Shrinkag.} = \frac{V_0 - V_f}{V_0} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ

- $V_0$  = ปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบแห้ง ( $\text{cm}^3$ )  
 $V_f$  = ปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างหลังอบแห้ง ( $\text{cm}^3$ )

### การวิเคราะห์การใช้พลังงานจำเพาะ

อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองที่ใช้กำลังไฟฟ้า มี 3 ส่วน ได้แก่ ขดลวดความร้อน (heater) เครื่องเป่าลม (blower) และเครื่องไมโครเวฟ (Microwave) ดังนั้นการใช้กำลังและความสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะ (SEC) ในกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนในครั้งนี้พิจารณาที่ระดับกำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิในเงื่อนไขต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยสมการ (2)<sup>16</sup> ดังต่อไปนี้

$$\text{SEC} = \frac{E_{\text{Microwave}} + E_{\text{Heater}} + E_{\text{Blower}}}{m_{\text{water}}} \quad (2)$$

เมื่อ

SEC = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของ กระบวนการ อบแห้ง (KWh / kg water)

$E_{\text{Blower}}$  = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องเป่าลม (kWh)

$E_{\text{Heater}}$  = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดทำความร้อน (kWh)

$E_{\text{Microwave}}$  = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องไมโครเวฟ (kWh)

$m_{\text{Water}}$  = ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากวัสดุที่อบแห้ง (kg)

### การวิเคราะห์ทางด้านสถิติ

สถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสีกระชายดำที่อบแห้งด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยใช้ Duncan Multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  และใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ที่ระดับนัยสำคัญ  $p > 0.05$

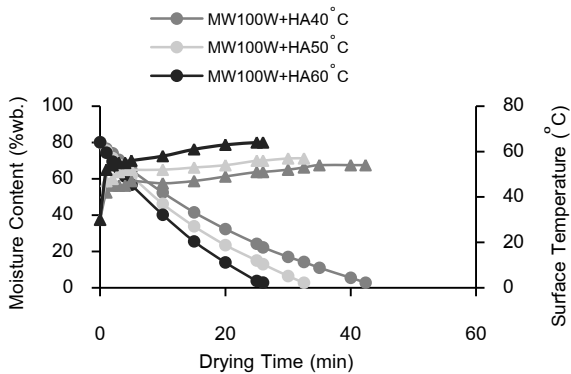
### ผลการวิจัย

#### 1. พฤติกรรมการอบแห้งและอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของกระชายดำโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่า

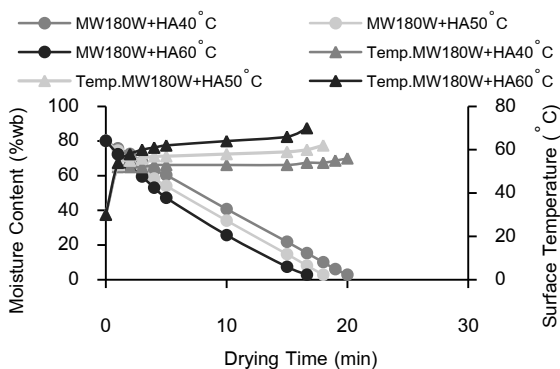
1.1 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 100 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 100 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60 °C (MW100W+HA60 °C) ใช้เวลา 26 นาที ที่อุณหภูมิผิว 68°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 100 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40 °C (MW100W+HA40 °C) ใช้เวลา 42 นาที ที่อุณหภูมิผิว 54 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป

Figure 1



**Figure 1** Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 100 watt

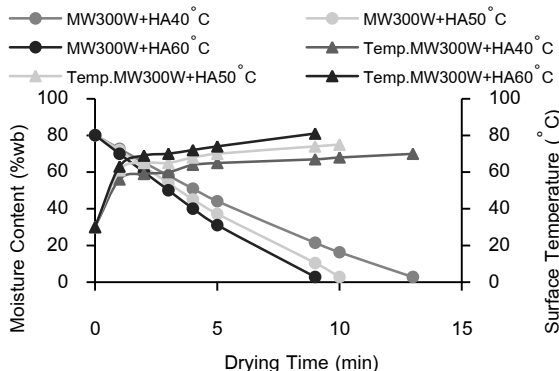
1.2 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 180 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 180 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60°C (MW180W+HA60 °C) ใช้เวลา 17 นาที ที่อุณหภูมิผิว 70 °C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 180 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40 °C (MW180W+HA40 °C) ใช้เวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิผิว 56 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 2



**Figure 2** Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 180 watt

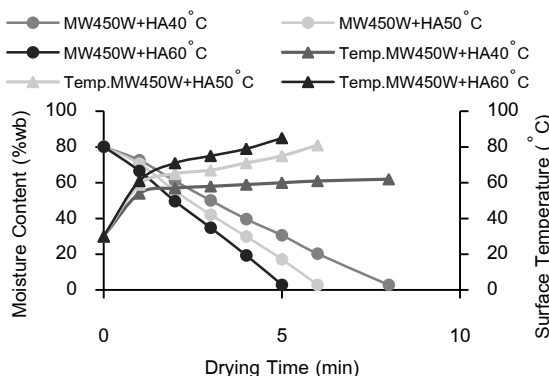
1.3 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 300 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 300 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60 °C (MW300W+HA60°C) ใช้เวลา 9 นาที ที่อุณหภูมิผิว 81°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 300 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40°C (MW300W+HA40°C) ใช้เวลา

13 นาที ที่อุณหภูมิผิว 70 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 3



**Figure 3** Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 300 watt

1.4 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 450 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 450 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60°C (MW450W+HA60°C) ใช้เวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิผิว 85°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 450 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40°C (MW450W+HA40°C) ใช้เวลา 8 นาที ที่อุณหภูมิผิว 62 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 4



**Figure 4** Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 450 watt

2. สี (Color)

การเปลี่ยนแปลงสีของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่า ค่าสี L\*, a\*, b\* เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ P<0.05 ผู้ศึกษานำผลการเปรียบเทียบค่าสีไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยราย

คู่เพื่อตรวจสอบว่ามีเงื่อนไขใดบ้างที่มีค่าสีแตกต่างกัน พบว่า เงื่อนไข (1) Fresh, (2) MW100W+HA40°C และ (3) MW300W+HA60°C มีค่าความสว่าง (L\*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P<0.05$  และเงื่อนไข (1) Fresh, (2) MW100W+HA50°C และ (3) MW180W+HA50°C มีค่าสีแดง (a\*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P<0.05$  และเงื่อนไข (1) MW450W+HA40°C, (2) MW100W+HA50°C และ (3) MW180W+HA50°C มีค่าสีเหลือง (b\*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P<0.05$  รายละเอียดผลการวิจัยนำเสนอในตาราง Table 1

### 3. การหดตัว (Shrinkage)

การหดตัวของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่าการหดตัวของกระชายดำต่ำสุดคือเงื่อนไขการอบแห้งที่ MW450W+HA60°C มีค่าการหดตัวร้อยละ 31.10 รองลงมาคือเงื่อนไข MW450W+HA50°C ค่าการหดตัวร้อยละ 31.42 ที่ และเงื่อนไขที่มีการหดตัวสูงสุดคือเงื่อนไข MW100W+HA40°C ค่าการหดตัวร้อยละ 47.10 รายละเอียดของผลการวิจัยนำเสนอในตาราง Table 1

### 4. การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)

การสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัย พบว่า การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่เงื่อนไขของ MW450W+HA60°C โดยสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 7.35 kWh/kg รองลงมาคือเงื่อนไข MW450W+HA50°C สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.70 kWh/kg และเงื่อนไขที่สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากที่สุด คือ MW100W+HA40°C สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 31 kWh/kg

### วิจารณ์ผลงานวิจัย

การอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัว และการสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะ เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของการอบแห้ง พบว่า ลักษณะกราฟของกระบวนการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ความชื้นจะลดลงเป็นเส้นค่อนข้างตรงในทุกเงื่อนไขการอบแห้ง ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากอิทธิพลของระดับกำลังไมโครเวฟในระหว่างการอบแห้ง ความชื้นของกระชายดำจะเริ่มเคลื่อนที่จากภายในของกระชายดำเคลื่อนที่มายังผิวของกระชายดำ หลังจากนั้นอิทธิพลของอากาศร้อนจะพาความชื้นของกระชายดำบริเวณที่ผิวของกระชายดำออกไป และบริเวณที่ผิวหน้าของกระชายดำจะเป็นสภาวะอุณหภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งเป็นลักษณะพฤติกรรมของการอบแห้งแบบช่วงอัตราคงที่ (Constant rate period)

**Table 1** The drying time quality and specific energy consumption for black galingale using microwave-hot air combination drying

Treatment	Drying time (min)	Color			SEC (kWh/kg)	Shrinkage (%)
		L*	a*	b*		
Fresh	-	42.83±1.79 <sup>d</sup>	7.63±0.74 <sup>f</sup>	0.07±0.11 <sup>c</sup>	0	0
MW100W+HA40°C	42.37	50.52±2.70 <sup>a</sup>	16.83±0.95 <sup>bcd</sup>	2.13±0.81 <sup>abc</sup>	31.00	47.08
MW180W+HA40°C	20	48.36±0.90 <sup>abc</sup>	21.43±1.86 <sup>a</sup>	4.57±0.49 <sup>ab</sup>	22.51	34.01
MW300W+HA40°C	13	46.69±0.72 <sup>c</sup>	14.07±2.81 <sup>d</sup>	2.47±1.62 <sup>abc</sup>	16.30	32.63
MW450W+HA40°C	8	47.09±0.24 <sup>bc</sup>	16.40±0.45 <sup>bcd</sup>	1.17±0.75 <sup>c</sup>	8.60	31.91
MW100W+HA50°C	32.32	47.44±3.52 <sup>abc</sup>	10.26±0.29 <sup>e</sup>	4.83±4.21 <sup>a</sup>	30.00	39.32
MW180W+HA50°C	18	46.88±1.65 <sup>c</sup>	16.27±1.50 <sup>bcd</sup>	2.70±1.12 <sup>abc</sup>	19.51	33.67
MW300W+HA50°C	10	46.43±0.57 <sup>c</sup>	15.73±0.75 <sup>cd</sup>	1.27±0.59 <sup>c</sup>	14.41	32.44
MW450W+HA50°C	6	49.13±1.96 <sup>abc</sup>	14.73±2.32 <sup>cd</sup>	1.87±0.75 <sup>bc</sup>	7.70	31.42
MW100W+HA60°C	26	50.21±1.25 <sup>ab</sup>	15.03±1.34 <sup>cd</sup>	2.43±1.26 <sup>abc</sup>	29.20	36.93
MW180W+HA60°C	16.65	46.93±1.61 <sup>c</sup>	18.97±1.70 <sup>ab</sup>	4.83±0.35 <sup>a</sup>	17.55	33.21
MW300W+HA60°C	9	47.09±0.48 <sup>bc</sup>	16.97±1.33 <sup>bc</sup>	2.33±0.06 <sup>abc</sup>	13.30	32.02
MW450W+HA60°C	5	48.21±0.65 <sup>abc</sup>	15.07 ± 1.03 <sup>cd</sup>	2.00±0.62 <sup>bc</sup>	7.35	31.09

Values are the mean ± standard deviation. Different superscripts (a, b, c, d, e and f) in the same column that the values are significant different  $P<0.05$



อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งค่อนข้างคงที่ เนื่องจากระบบกลไกการทำงานของไมโครเวฟจะสร้างความร้อนในการอบแห้งด้วยภาวะคงที่ ส่งผลให้อุณหภูมิคงที่ ความชื้นของกระชายดำจะเข้าสู่ความชื้นสุดท้ายอย่างรวดเร็ว และสิ้นสุดการอบแห้ง ซึ่งกระบวนการอบแห้งแบบนี้เรียกว่า การอบแห้งแบบคงที่ (Constant rate period) เมื่อพิจารณากระบวนการอบแห้งในการวิจัยครั้งนี้ จะพบว่า การอบแห้งแบบ อัตราลดลง (Falling rate period) จะไม่เกิดขึ้นในการอบแห้ง โดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน สีของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีความสว่าง ( $L^*$ ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  นั่นคือ เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA40°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีความสว่าง ( $L^*$ ) ในการอบแห้งกระชายดำ การอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีแดง ( $a^*$ ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  นั่นคือ เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA50°C และ MW180W+HA40°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีแดง ( $a^*$ ) ในการอบแห้งกระชายดำ และการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  และจาก Table 1 ยังพบว่าค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) จะมีความสอดคล้องกับค่าความสว่าง ( $L^*$ ) กล่าวคือ ค่า ( $b^*$ ) เพิ่มขึ้นให้มีแนวโน้มของค่า ( $L^*$ ) เพิ่มขึ้นตาม และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA50°C และ MW180W+HA60°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) ในการอบแห้งกระชายดำ

การหดตัวของกระชายดำมีค่าต่ำสุดในเงื่อนไขการอบแห้ง MW450W+HA60°C มีค่าหดตัว ร้อยละ 31.10 สาเหตุเนื่องจากระดับกำลังวัตต์ไมโครเวฟสูง จะมีผลทำให้ร้อยละการหดตัวของกระชายดำอบแห้งน้อยกว่ากำลังวัตต์ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กฤษณ์ และคณะ<sup>17</sup> ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับกำลังไมโครเวฟในการอบแห้ง และจะเห็นได้ชัดเจนว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงมีแนวโน้มทำให้ร้อยละการหดตัวของเนื้อลำโยบแห้งน้อยกว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำ

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่เงื่อนไข MW450W+HA60°C มีค่ากำลังจำเพาะเท่ากับ 7.35 kWh/kg เนื่องจากระดับกำลังไมโครเวฟสูง จะส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งและสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อย เมื่อพิจารณาความแตกต่างของระดับกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้ง จะพบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับกำลังไมโครเวฟสูงจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำ ดังแสดงใน Table 1

### สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่า เทคโนโลยีนี้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งแบบทั่วไป อุณหภูมิมีแนวโน้มคงที่ และอุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกัน จะทำให้สีค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ  $P < 0.05$  ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีในกระชายดำ อิทธิพลของระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงจะมีผลทำให้ร้อยละการหดตัวของกระชายดำอบแห้งน้อย และสิ้นเปลืองพลังงานน้อย สำหรับการศึกษานี้ในครั้งต่อไปจะต้องควบคุมอุณหภูมิผิวในการอบแห้ง คาดว่าจะส่งผลดีต่อคุณภาพของกระชายดำ เพราะเป็นการควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งให้สม่ำเสมอตลอดการอบแห้ง

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรม การผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัยการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน จนสำเร็จสมบูรณ์ และสุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงการวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเกษตรจังหวัดเลย ข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยและต้นทุนการผลิต-กระชายดำ ห้องสมุดดิจิทัลเกษตรไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ “กระชายดำ” 2546.
2. เสริมสกุล พจนการุณ, ไชยยง รุจจนเวท. ความสัมพันธ์ระหว่างสีของเนื้อเหง้ากระชายดำกับฤทธิ์ต้านการเกิดอนุมูลอิสระ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2547; 32: 270-277.

3. กรมวิชาการเกษตรระบบข้อมูลทางวิชาการ. กระชายดำ. สืบค้นจาก URL: <http://www.it.doa.go.th>. 19 พฤษภาคม 2558.
4. เขาค้อไทยแลนด์ดอทคอม. (2558). กระชายดำ. สืบค้นจาก URL: <http://www.khaokhothailand.com/krachaid-am.html> 3 สิงหาคม 2558.
5. Meena P, Wongpakdee S, Pholkho A, Setwong S. Development of a black galingale dryer using biomass working together with a CLOHP/ CV heat exchanger. J Sci Techno MSU 2013; 33: March-April 2014.
6. Meena P, Rittidech S, Poomsa N. Application of Close-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CVs) air-pre heater for reduced relative humidity in drying systems. Applied Energy 2007; 84: 553-564.
7. Qing WZG, Jing B, Juan L, Hong L. Comparative Study of the characteristics of oil shale with hot air drying and microwave drying. Energy Procedia 2012; 17: 884 - 891.
8. กฤษณ์ ศรีสุริยะชานดา, จากุวัจน์ พันพาล, ดามร บัณฑิตรัตน์. "เตาอบสูญญากาศสำหรับอบแห้งกระชายดำ" วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2546; 34: 116-118.
9. Zhang M, Tang J, Mujumdar AS, Wang S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends Food Sci Techno 2006; 17: 524 - 534.
10. Mujumdar AS. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. Science Publishers, Inc., Enfield (NH), USA 2000.
11. Sutar PP, Prasad S. Modeling microwave vacuum drying kinetics and moisture diffusivity of carrot slices. Dry Techno 2007; 25: 1695 - 1702.
12. Maskan M. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. J Food Eng 2001; 48: 177-182.
13. Datta AK, Anantheswaran RC. Handbook of microwave technology for food applications. Marcel Dekker, New York-Basel 2001.
14. Varith J, Dijkanarukkul P, Achariyaviriya A, Achariyaviriya S. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. J Food Eng 2007; 81: 459 - 468.
16. Xiaoyong S, Luming C. Study of Iron Yam-Chip (*Dioscorea opposita* Thunb. cv. Tiegun) Dehydration Using Far-Infrared Radiation Assisted Heat Pump Drying. J Food and Nutri Research 2015; 3: 20 - 25.
17. Soysal Y. Microwave drying characteristics of parsley. Biosyst Eng 2004; 89: 167-173.
18. กฤษณ์ อภิญาวิศิษฐ์ อดิศักดิ์ นาทกรณกุล และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟแบบเป็นช่วงร่วมกับลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2555; 43: 147-150.

## แบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ A Decision Model in Major Selection for Information Technology Students

สุภลักษณ์ สีสุกอง, พิชญสินี กิจวัฒนาถาวร, ธรา อังสกุล, จิติมนต์ อังสกุล<sup>3</sup>

Supaluck Seesukong<sup>1</sup>, Pichayasini Kitwatthanathawon<sup>2</sup>, Thara Angskun<sup>3</sup>, Jitimon Angskun<sup>3</sup>

Received: 1 February 2017 ; Accepted: 19 April 2017

### บทคัดย่อ

นักศึกษาหลายคนประสบปัญหาในการเลือกคณะ สาขาวิชา หลักสูตร หรือกลุ่มวิชาที่จะเข้าเรียนให้เหมาะสมกับตนเองเนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกเรียนมีหลากหลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ซึ่งมีปัจจัยที่นักศึกษาคควรใช้ในการตัดสินใจเลือกเข้ากลุ่มวิชาที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ ปัจจัยส่วนบุคคล ได้แก่ ด้านความต้องการทำงานในสายงานของแต่ละกลุ่มวิชา ด้านความชอบ ความถนัด และมีความสามารถด้านนั้น ๆ เป็นพื้นฐาน ด้านความสนใจในเนื้อหารายวิชาของแต่ละกลุ่มวิชา และด้านผลการเรียน ส่วนกลุ่มที่สอง คือ ปัจจัยภายนอก ได้แก่ ด้านโอกาสการได้งานทำในอนาคต ด้านความมั่นคงและความก้าวหน้าในอาชีพ และด้านรายได้ในอนาคต และมี 4 ทางเลือก ได้แก่ กลุ่มวิชาซอฟต์แวร์วิสาหกิจ กลุ่มวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ กลุ่มวิชานิติศาสตร์ และกลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา โดยใช้ข้อมูลนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 159 คน เป็นตัวอย่างในการทดสอบแบบจำลอง ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การประเมินให้ค่าระลึกลีขี่ยรวมทุกกลุ่มวิชาสูงถึง 86% โดยแบบจำลองนี้สามารถช่วยนักศึกษาในการหาทางเลือกและชี้แนะแนวทางการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชาเรียนให้กับนักศึกษาแต่ละคนได้

**คำสำคัญ:** แบบจำลองการตัดสินใจ การเลือกกลุ่มวิชา กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

### Abstract

Several students have faced with a problem of selecting a faculty, department, program or major that suit them best. This problem is caused by a decision factor overload. To overcome this issue, this article proposes a decision model of major selection for Information Technology students. The model is based on an analytic hierarchy process (AHP) of decision factors. Decision factors for major selection, which are evaluated by experts, are classified into two groups called personal factors and external factors. Personal factors include future career interests, passion, aptitude, competency, subject content interests, and grade point average. External factors are future career opportunity, career path and security, and future incomes. Information technology students have four choices for major selection: Enterprise software, Management information technology, Communications, and Information studies. Data for model evaluation were obtained from 159 senior students of class 2013. The evaluation results reveal that the model achieves 86% of recall. This indicates that the model has potential to help selecting a major for each student.

**Keywords:** Decision Model, Major Selection, Analytic Hierarchy Process

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาตรี, <sup>2</sup>อาจารย์, <sup>3</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>1</sup> Bachelor degree student, <sup>2</sup>Lecturer, <sup>3</sup>Assist. Prof., Information Technology, Suranaree University of Technology, Thailand.

\* Corresponding author; SupaluckSeesukong, Information Technology, Suranaree University of Technology, Thailand.comtookta@hotmail.com

## บทนำ

การเข้าเรียนในมหาวิทยาลัยแห่งใดแห่งหนึ่ง นักศึกษาจำเป็นต้องเลือกคณะ สาขาวิชา หลักสูตร หรือกลุ่มวิชาที่จะเข้าเรียนให้เหมาะสมกับตนเอง โดยนักศึกษาต้องพิจารณาว่าเรียนสาขาใดถึงจะเป็นที่ต้องการของตลาดแรงงานและเหมาะสมกับความสามารถของตนเอง<sup>1</sup> ซึ่งนักศึกษาหลายคนประสบปัญหาในการเลือกเรียน ยกตัวอย่างเช่น นักเรียนโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัยส่วนใหญ่เกิดความลังเลใจ ไม่สามารถตัดสินใจเลือกสาขาวิชาที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองในระดับมหาวิทยาลัยได้ เนื่องจากนักเรียนยังไม่ทราบถึงความต้องการ ความถนัด และระดับความรู้ความสามารถของตนเองอย่างแท้จริง<sup>2</sup> รวมทั้งนักศึกษาคณะบริหารธุรกิจบางคนประสบปัญหาตั้งแต่เริ่มต้น เช่น มาขอเปลี่ยนสาขาวิชา ขอลาออก หรือพ้นสภาพการเป็นนักศึกษา ซึ่งสาเหตุมาจากเมื่อนักศึกษาเลือกเรียนแล้วพบว่า ตนเองไม่ชอบ ไม่มีความถนัด ไม่มีความสามารถที่จะเรียนต่อได้<sup>3</sup> ส่วนคณะเภสัชศาสตร์บางสาขาวิชา พบว่า มีนักศึกษาเข้าสังกัดน้อย หรือแทบไม่มีเลย เนื่องจากบางสาขาจำกัดจำนวนนักศึกษาเข้าเรียน และนักศึกษาไม่ผ่านเกณฑ์เบื้องต้นในการเลือกเข้าสาขาวิชา ทำให้ไม่สามารถเลือกเรียนได้ตามที่ต้องการและต้องไปเลือกเรียนสาขาวิชาที่ตนไม่ชอบ ไม่ถนัด ไม่สนใจ<sup>4</sup> สำหรับสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของมหาวิทยาลัยของรัฐ มีจำนวนนักเรียนน้อย อาจจะมีสาเหตุจากจำนวนผู้เข้าเรียนที่สามารถรับได้ หรืออาจเกิดจากปัจจัยบริบททางสังคม อาทิ เช่น สภาพเศรษฐกิจและสังคมของครอบครัว อิทธิพลจากบุคคลที่เกี่ยวข้อง เช่น บิดา มารดา อาจารย์ เพื่อน ญาติ ปัจจัยทางองค์ประกอบของส่วนประสมทางการตลาด เช่น ภาพลักษณ์ ค่าธรรมเนียมในการเรียน สิ่งอำนวยความสะดวก และการประชาสัมพันธ์ของสถานศึกษาที่ส่งผลในการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อของนักศึกษา<sup>5</sup> ซึ่งจากการสำรวจพบว่า ปัญหาในการเลือกเรียนตามสาขาหรือกลุ่มวิชาของนักศึกษาเกิดขึ้นโดยทั่วไปในเกือบทุกคณะหรือทุกสถาบันที่นักศึกษาจำเป็นต้องเลือกเรียน เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกเรียนมีค่อนข้างมากและหลากหลาย อีกทั้งยังแตกต่างกันในแต่ละสาขาวิชาหรือคณะ

เมื่อสำรวจถึงกลุ่มเป้าหมายที่สนใจในงานวิจัยนี้ คือ นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ชั้นปีที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2557 ซึ่งกำลังเรียนภาคการศึกษาที่ 1 และยังไม่เลือกเข้ากลุ่มวิชา พบว่า ปัญหาในการเลือกเข้ากลุ่มวิชาของนักศึกษา 3 อันดับแรก คือ ด้านผลการเรียน คิดเป็นร้อยละ 84.5 อันดับสอง คือ ด้านการไม่รู้ข้อมูลการเรียนของแต่ละกลุ่มวิชาดีพอ คิดเป็นร้อยละ 71.4 และอันดับสาม คือ ด้านความไม่ชอบ ไม่ถนัด และไม่มี ความ

สามารถด้านนั้น ๆ เป็นพื้นฐาน คิดเป็นร้อยละ 59 ส่วนปัญหาอื่น ๆ ได้แก่ ด้านโอกาสการได้งานในอนาคต ด้านความมั่นคง และความก้าวหน้าในอาชีพ ด้านรายได้ในอนาคต ด้านการประกอบอาชีพอิสระ ด้านรายได้ของผู้ปกครอง ด้านค่านิยม ด้านความมีเกียรติยศชื่อเสียง และด้านจำนวนนักเรียนน้อย รองลงมาตามลำดับ

ส่วนเหตุผลในการเลือกเข้ากลุ่มวิชาของนักศึกษา อันดับแรก คือ ด้านความต้องการทำงานในสายงานของแต่ละกลุ่มวิชา คิดเป็นร้อยละ 78.9 อันดับสอง คือ ด้านความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในแต่ละกลุ่มวิชา คิดเป็นร้อยละ 77 และอันดับสาม คือ ด้านผลการเรียน คิดเป็นร้อยละ 67.7 ส่วนเหตุผลอื่น ๆ ได้แก่ ด้านความชอบ ความถนัด และมีความสามารถด้านนั้น ๆ เป็นพื้นฐาน ด้านโอกาสการได้งานในอนาคต ด้านความมั่นคงและความก้าวหน้าในอาชีพ ด้านรายได้ในอนาคต ด้านการประกอบอาชีพอิสระ ด้านความสนใจในเนื้อหาวิชาในแต่ละกลุ่มวิชา ด้านรายได้ของผู้ปกครอง ด้านความคาดหวังของผู้ปกครอง ด้านอาชีพของผู้ปกครอง ด้านภาพลักษณ์และชื่อเสียงของกลุ่มวิชา ด้านทุนการศึกษา ด้านค่านิยม ด้านอาจารย์ผู้สอน ด้านความมีเกียรติยศชื่อเสียง ด้านรุ่นพี่แนะนำ และด้านการเลือกตามเพื่อน

โดยการเลือกกลุ่มวิชาของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศนั้นอาจเกิดจากการที่นักศึกษายังขาดประสบการณ์ ไม่รู้จักแต่ละกลุ่มวิชาดีพอ ไม่มีเป้าหมายที่ชัดเจนในการเลือกเข้ากลุ่มวิชา ลังเลใจ ไม่มั่นใจที่จะเลือกในกลุ่มวิชานั้น ๆ ไม่รู้ว่าตนเองควรเลือกเรียนกลุ่มวิชาใด ไม่ทราบถึงกลุ่มวิชาที่เหมาะสมกับความสามารถด้านการเรียนและลักษณะพฤติกรรมเฉพาะของตนเอง<sup>6</sup> ซึ่งหากนักศึกษาเลือกเรียนในกลุ่มวิชาที่ไม่เหมาะสมกับตนเอง เมื่อเรียนไปได้ระยะหนึ่งแล้วอาจเกิดความเบื่อหน่าย ไม่ชอบ ไม่ถนัด ไม่มีความสามารถที่จะเรียนต่อได้ ส่งผลให้ผลการเรียนตกต่ำจนต้องขอย้ายกลุ่มวิชา ทำให้ระยะเวลาในการศึกษานานขึ้น และอาจทำให้ลาออกหรือพ้นสภาพนักศึกษาไป<sup>3</sup> และหากนักศึกษาเลือกเข้ากลุ่มวิชาที่ไม่เหมาะสมกับความสามารถของตนเองอาจส่งผลต่อประเทศชาติทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรบุคคลที่มีค่า ยิ่งเสียเวลา และเสียค่าใช้จ่ายต่าง ๆ มากมาย<sup>7</sup>

ในการเลือกกลุ่มวิชาของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีนั้น นักศึกษาต้องตัดสินใจในการเลือกเรียนเพียงหนึ่งกลุ่มวิชาจาก 4 กลุ่มวิชา และเกณฑ์การตัดสินใจไม่ได้มีเพียงเกณฑ์เดียว ทำให้กระบวนการตัดสินใจมีความลึกซึ้งและซับซ้อนขึ้น ดังนั้น เพื่อให้ให้นักศึกษาสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง และเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษา มากที่สุดในการเลือกกลุ่มวิชา จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือบาง

ชนิดที่นำมาช่วยในการตัดสินใจ เพื่อให้การตัดสินใจมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และเครื่องมือหนึ่งที่นิยมนำมาช่วยในกระบวนการตัดสินใจคือ เทคนิคการตัดสินใจที่เรียกว่า กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analysis Hierarchy Process: AHP)<sup>8</sup> ซึ่งเป็นกระบวนการที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดสำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ<sup>9</sup> เพื่อช่วยในการตัดสินใจ ช่วยวิเคราะห์ในประเด็นของปัญหาที่มีความซับซ้อนให้มีความง่ายขึ้นโดยเลียนแบบกระบวนการตัดสินใจทางธรรมชาติของมนุษย์<sup>10</sup> สามารถแสดงถึงลำดับความสำคัญของเกณฑ์และทางเลือกซึ่งได้มาจากการเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ (Pairwise Relative Comparisons) แทนที่การให้คะแนนเป็นตัวเลขตามความพอใจ ซึ่งมีความยากกว่า สามารถแสดงวิธีการวัดและแปรผลความสอดคล้อง (Consistency) ของการตัดสินใจ วิธีการสังเคราะห์แอมมูอันหลากหลายของปัญหาที่ซับซ้อนไปสู่ผลลัพธ์ได้<sup>11</sup>

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชา สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ พบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาตัวแบบพยากรณ์สำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาในมหาวิทยาลัย<sup>2,12,13</sup> หรือแผนการเรียนของระดับชั้นมัธยมศึกษา<sup>14</sup> โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในการวิเคราะห์ข้อมูลผลการเรียนเพื่อใช้ในการพยากรณ์ ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลที่แตกต่างกัน อาทิ เทคนิคความน่าจะเป็นของข่ายงานเบย์<sup>15</sup> เทคนิคการค้นหากฎความสัมพันธ์<sup>7,15</sup> และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ<sup>16</sup>

อย่างไรก็ตาม ยังมีอีกหนึ่งเทคนิค คือเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ที่งานวิจัยต่างๆ นำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการตัดสินใจในมากมาย ตัวอย่างงานที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา อาทิ การพิจารณาทุนการศึกษาสำหรับนักเรียน โดยมีเกณฑ์การพิจารณาหลักเกณฑ์ 4 เกณฑ์ คือ เกณฑ์ด้านผลการเรียน เกณฑ์ด้านความประพฤติ เกณฑ์ด้านฐานะ/เศรษฐกิจ และเกณฑ์ด้านชั้นปี<sup>17</sup> และการเลือกหลักสูตรระดับปริญญาตรีของนักเรียน โดยพิจารณา 3 เกณฑ์ ได้แก่ เกณฑ์ด้านวุฒิการศึกษา เกณฑ์ด้านความสนใจ และเกณฑ์ด้านค่าเล่าเรียน<sup>18</sup>

โดยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เป็นกระบวนการที่ช่วยตัดสินใจในประเด็นของปัญหาที่มีความซับซ้อนให้มีความง่ายขึ้น ช่วยในการแยกแยะองค์ประกอบที่เป็นนามธรรมและรูปธรรมของปัญหาออกเป็นส่วนๆ แล้วนำองค์ประกอบเหล่านั้นมาแบ่งเป็นระดับชั้นตามความสำคัญ เป็นกระบวนการที่คล้ายคลึงกับความคิดของมนุษย์ ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน มีผลของการตัดสินใจในรูปแบบของลำดับความสำคัญ ช่วย

วิเคราะห์ทางเลือกในรูปของลำดับความสำคัญโดยรวม และพิจารณาถึงลำดับความสำคัญเปรียบเทียบปัจจัยต่าง ๆ ในระบบ และช่วยให้ผู้ใช้ตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดตรงตามเป้าหมาย<sup>10</sup> โดยหลักการสำคัญ 4 ประการที่ใช้ในกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ การสร้างแผนภูมิระดับชั้น การหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ การวัดความสอดคล้องของเกณฑ์ และการจัดอันดับข้อมูล ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างแผนภูมิระดับชั้น โดยระบุถึงองค์ประกอบหรือเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา แล้วจัดเกณฑ์ต่าง ๆ เหล่านั้นให้เป็นหมวดหมู่ จากนั้นแบ่งกลุ่มเกณฑ์ออกเป็นระดับชั้น

ขั้นตอนที่ 2 การหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ โดยเปรียบเทียบเกณฑ์ต่าง ๆ เป็นคู่ ๆ ภายในเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์

ขั้นตอนที่ 3 การวัดความสอดคล้องของเกณฑ์ เพื่อวัดว่าค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์ที่ใส่ให้กับตัวแปรมีความสอดคล้องกันหรือไม่ โดยการหาค่าอัตราความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio: CR)

ขั้นตอนที่ 4 การจัดอันดับข้อมูล โดยนำค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกกลุ่มวิชา มาคูณกับคะแนนที่ได้จากการสอบถามความคิดเห็นของนักศึกษา แล้วนำคะแนนทั้งหมดมาบวกกัน จะได้ค่าลำดับความสำคัญรวมเพื่อจัดอันดับกลุ่มวิชาที่นักศึกษาควรเลือกมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด

ซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมและเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจ พบว่าแต่ละงานวิจัยได้นำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจและมีการประเมินที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล แต่สำหรับงานวิจัยนี้การใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลจะใช้ผลการเรียนเป็นปัจจัยนำเข้า ซึ่งมีการเก็บข้อมูลเก่าของนักศึกษาทั้งปัจจุบันและที่จบไปแล้วในหลาย ๆ รุ่นไว้ใช้ทำนายผล แต่จากการไปสอบถามผู้เชี่ยวชาญ พบว่าปัจจัยที่นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศควรใช้ในการเลือกเข้ากลุ่มวิชา ไม่ได้มีเพียงผลการเรียนเท่านั้นที่มีผลต่อการเลือกกลุ่มวิชา แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ด้านความชอบ ความถนัด และมีความสามารถด้านนั้น ๆ เป็นพื้นฐานด้านความมั่นคงและความก้าวหน้าในอาชีพ ด้านรายได้ในอนาคต ด้านโอกาสการได้งานในอนาคต ด้านความต้องการทำงานในสายงานของแต่ละกลุ่มวิชา และด้านความสนใจในเนื้อหา รายวิชาของแต่ละกลุ่มวิชา ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ยังไม่มีมีการเก็บข้อมูลจากนักศึกษา จึงไม่มีข้อมูลเก่าของนักศึกษาที่จะนำไป



ใช้เพื่อทำนาย ต้องทำการเก็บข้อมูลใหม่ทั้งหมด ทำให้การนำเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลมาใช้จึงไม่เหมาะสม เพราะเทคนิคการทำเหมืองข้อมูลต้องการข้อมูลจำนวนมากในการประมวลผล ซึ่งจากการศึกษาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ยินยมนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจ และเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดสินใจของมนุษย์ได้ดี อีกทั้งยังสามารถจัดอันดับการเลือกกลุ่มวิชาให้กับนักศึกษาได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลมหศาลเหมือนเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล แต่ใช้ความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก

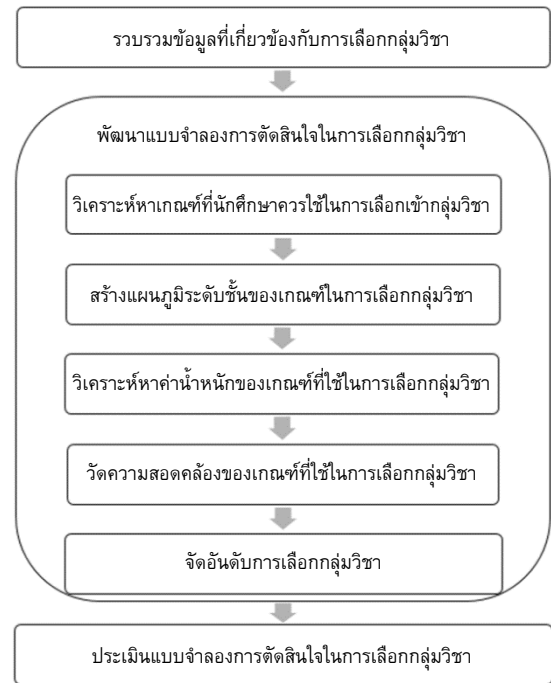
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์กับข้อมูลปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชาที่เก็บรวบรวมใหม่จากนักศึกษาและศิษย์เก่า ในการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อพยากรณ์กลุ่มวิชาที่เหมาะสมให้กับนักศึกษาแต่ละคน ซึ่งจะทำให้การตัดสินใจเลือกเรียนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

**วิธีการวิจัย**

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาสำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงใน Figure 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเลือกกลุ่มวิชา**

การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเลือกกลุ่มวิชาแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลปฐมภูมิ คือ ข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการสำรวจความคิดเห็นนักศึกษาในการเลือกกลุ่มวิชาของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ และข้อมูลทุติยภูมิ คือ ข้อมูลปัจจัยที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกหลักสูตร การเลือกสาขาวิชา และการเลือกคณะ แล้วนำข้อมูลปัจจัยจากทั้งข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ไปสอบถามความคิดเห็นในการเลือกกลุ่มวิชาของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ชั้นปีที่ 2 ประจำปีการศึกษา 2557 ซึ่งกำลังเรียนภาคการศึกษาที่ 1 และยังไม่เลือกเข้ากลุ่มวิชา หากกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีใช้สูตรคำนวณ กรณิทรายจำนวนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 165 คน ความเชื่อมั่น 95%<sup>19</sup> จาก 4 กลุ่มวิชา ได้แก่ กลุ่มวิชาซอฟต์แวร์วิสาหกิจ (Enterprise Software) กลุ่มวิชานิเทศศาสตร์ (Communication) กลุ่มวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information Systems) และกลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา (Information Studies)



**Figure 1** Research Process

**พัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชา**

การพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชาประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 วิเคราะห์หาเกณฑ์ที่นักศึกษาควรใช้ในการเลือกเข้ากลุ่มวิชา

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจเลือกเข้ากลุ่มวิชาของนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ เป็นมุมมองของนักศึกษาเพียงด้านเดียว ซึ่งอาจไม่ถูกต้อง จึงนำปัจจัยเหล่านั้น มาสร้างแบบสอบถามเพื่อหาเกณฑ์ที่นักศึกษาควรใช้ในการเลือกเข้ากลุ่มวิชา โดยนำไปสอบถามกับผู้เชี่ยวชาญในการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชา จำนวน 9 คน ซึ่งแบ่งเป็นอาจารย์ประจำกลุ่มวิชา 4 กลุ่ม ๆ ละ 2 คน และผู้บริหารหลักสูตร 1 โดยมีความเชื่อมั่น 95%<sup>20</sup> แล้วนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ (Index of Item-Objective Congruence: *IOC*) โดยค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ที่ได้ คือ ค่า *IOC* ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ขึ้นไป ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม และผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ คือ เกณฑ์ที่นักศึกษาควรใช้ในการเลือกเข้ากลุ่มวิชา ในมุมมองของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งมีเกณฑ์ทั้งหมด 7 เกณฑ์ ได้แก่ ด้านความต้องการทำงานในสายงานของแต่ละกลุ่มวิชา ด้านความชอบ ความถนัด และมีความสามารถด้านนั้น ๆ เป็นพื้นฐาน ด้านความสนใจในเนื้อหารายวิชาของแต่ละกลุ่มวิชา ด้านผลการเรียน ด้านโอกาสการ

ได้งานทำในอนาคต ด้านความมั่นคงและความก้าวหน้าในอาชีพ และด้านรายได้ในอนาคต

ขั้นตอนที่ 2 สร้างแผนภูมิระดับชั้นของเกณฑ์ในการเลือกกลุ่มวิชา

กระบวนการเก็บรวบรวมข้อมูลนี้ ได้สร้างแผนภูมิระดับชั้นของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่ เป้าหมาย เกณฑ์หลัก เกณฑ์ย่อย และทางเลือก โดยนำเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยที่ได้จากการวิเคราะห์โดยผู้เชี่ยวชาญมาสร้างแผนภูมิระดับชั้น แสดงใน Figure 2

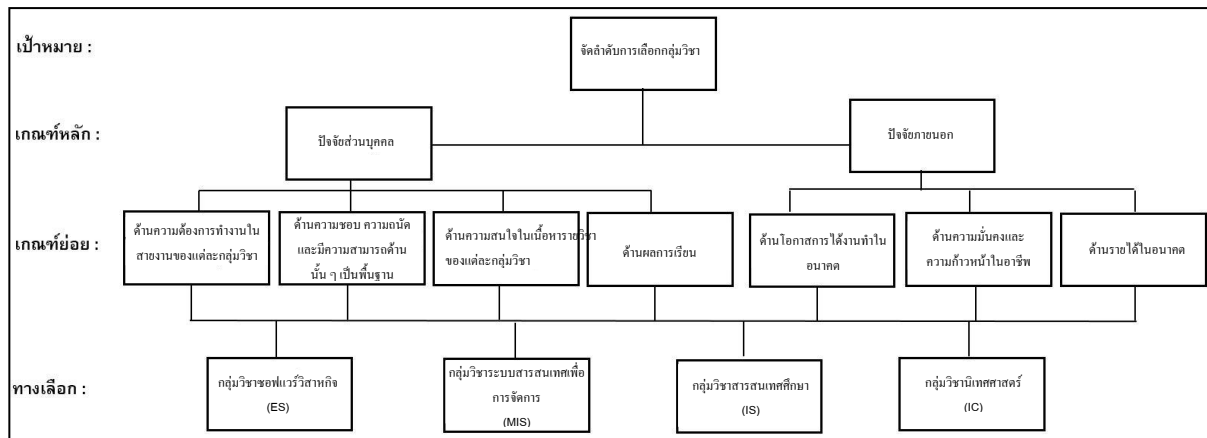


Figure 2 An Abstract View of AHP Hierarchy for Major Selection

ขั้นตอนที่ 3 วิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกกลุ่มวิชา

ในการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกกลุ่มวิชานั้น ได้นำกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchical Process: AHP) มาใช้เพื่อหาว่า นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศแต่ละคนควรเลือกกลุ่มวิชาใดจาก 4 กลุ่มวิชา ได้แก่ กลุ่มวิชาซอฟต์แวร์วิสาหกิจ กลุ่มวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ กลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา และกลุ่มวิชามิติศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากนักศึกษาเป็นข้อมูลนำเข้า ส่วนเกณฑ์ที่นักศึกษาคควรใช้ในการเลือกเข้ากลุ่มวิชาได้มาจากผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งแบ่งเป็นเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อย โดยมีการเปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่ ๆ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์จะใช้ตัวเลข 1 ถึง 9 แทนค่าของการเปรียบเทียบ โดยตัวเลข 1 ถึง 9 นี้แสดงมาตราส่วนวัดระดับความแตกต่างระหว่าง 2 เกณฑ์ที่ถูกเปรียบเทียบในแง่ของสำคัญของเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชา อันเกิดจากความชำนาญและประสบการณ์ภายใต้กรอบของเหตุผล โดยมีสติคอยกำกับเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความลำเอียง โดยมีมาตราส่วนในการวิเคราะห์เปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่ ๆ ดังนี้

1 คือ ทั้งสองเกณฑ์มีความสำคัญเท่า ๆ กันในการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชา

3 คือ เกณฑ์หนึ่งมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ

เลือกกลุ่มวิชามากกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับปานกลาง

5 คือ เกณฑ์หนึ่งมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ

เลือกกลุ่มวิชามากกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมาก

7 คือ เกณฑ์หนึ่งมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ

เลือกกลุ่มวิชามากกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับมากที่สุด

9 คือ เกณฑ์หนึ่งมีความสำคัญต่อการตัดสินใจ

เลือกกลุ่มวิชามากกว่าอีกเกณฑ์หนึ่งในระดับสูงสุด

2, 4, 6, 8 คือ การวิเคราะห์ความสำคัญของเกณฑ์ในลักษณะก้ำกึ่ง ไม่สามารถอธิบายเป็นคำพูดที่เหมาะสมได้

มาตรา 1 ถึง 9 นั้นเหมาะสมกับเหตุผลและสะท้อนระดับที่มนุษย์สามารถแยกแยะความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์ต่าง ๆ ได้ง่าย เมื่อเกณฑ์แต่ละเกณฑ์เปรียบเทียบกับตัวเอง ในตารางเมทริกซ์ ตัวอย่างเช่น ปัจจัยส่วนบุคคล เทียบกับปัจจัยส่วนบุคคล ค่าที่ได้จะเท่ากับ 1 ในตารางเมทริกซ์ แนวเส้นทแยงมุมประกอบด้วยเลข 1 เท่านั้น เพราะเป็นจุดที่เกณฑ์แต่ละตัวเปรียบเทียบกับตัวเอง ส่วนพื้นที่ที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุมจะเป็นตัวเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ 2 เกณฑ์ ส่วนพื้นที่ที่อยู่ใต้เส้นทแยงมุมจะเป็นค่าต่างตอบแทนของค่าที่อยู่ในพื้นที่ที่เหนือเส้นทแยงมุม ยกตัวอย่างใน Table 1 ปัจจัยภายนอก ค่า 5.00 จะอยู่ที่แถวบนที่ 1 แถวตั้งที่ 2 และค่า 1/5.00 (ค่าต่างตอบแทนของ 5.00) จะอยู่ในแถวบนที่ 2 แถวตั้งที่ 1 ส่วนใน Table 2 เป็นการเปรียบเทียบเกณฑ์ย่อยของเกณฑ์หลักด้านปัจจัยส่วนบุคคลเป็นคู่ ๆ

**Table 1** A Pairwise Comparison Matrix of Main Criteria

Main Criteria	Personal Criteria	External Criteria
Personal Criteria	1.00	5.00
External Criteria	1/5.00	1.00

หลังจากได้สร้างเมทริกซ์เปรียบเทียบเกณฑ์เป็นคู่แล้ว ต้องวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกกลุ่มวิชา ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการคำนวณ คือ การหาค่าเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะหรือไอเกนเวกเตอร์ (Eigen Vector)<sup>21</sup> ซึ่งเวกเตอร์ลักษณะเฉพาะจะให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์

หลักและเกณฑ์ย่อย โดยเริ่มจากหาค่าผลรวมของคอลัมน์และผลรวมของแถวก่อน หลังจากนั้นนำมาหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ โดยเอาผลรวมแถวหารด้วยจำนวนเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น เกณฑ์หลักปัจจัยส่วนบุคคล มีค่าผลรวมของแถวเท่ากับ 1.67 หารด้วยเกณฑ์หลักทั้งหมด 2 เกณฑ์ ได้เท่ากับ  $1.67/2 = 0.83$  ดังนั้นค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยส่วนบุคคลเท่ากับ 0.83 และค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยภายนอกเท่ากับ 0.17 ดังแสดงใน Table 3 และใช้วิธีเดียวกันนี้ในการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ย่อยด้วย ดังแสดงใน Table 4

**Table 2** A Pairwise Comparison Matrix of Sub-criteria of Personal Criteria

Sub-criteria of Personal Criteria	Future career in the field of study	Affection and proficiency in the field of study	Course content in the field of study	School Record
Future career in the field of study	1.00	1/4.00	4.00	4.00
Affection and proficiency in the field of study	4.00	1.00	6.00	7.00
Course content in the field of study	1/4.00	1/6.00	1.00	1/2.00
School Record	1/4.00	1/7.00	2.00	1.00

**Table 3** The Priority Calculation of Main Criteria

Main Criteria	Personal Criteria	External Criteria	Sum of Row	Weight Value of Main Criteria
Personal Criteria	1.00/1.20	5.00/6.00	1.67	0.83
External Criteria	(1/5.00)/1.20	1.00/6.00	0.33	0.17
<b>Total</b>	1.20	6.00	2.00	1.00

**Table 4** The Priority Calculation of Sub-criteria of Personal Criteria

Sub-criteria of Personal Criteria	Future career in the field of study	Affection and proficiency in the field of study	Course content in the field of study	School Record	Sum of Row	Weight Value of Sub-criteria
Future career in the field of study	1.00/5.50	(1/4.00)/1.56	4.00/13.00	4.00/12.50	0.97	0.242
Affection and proficiency in the field of study	4.00/5.50	1.00/1.56	6.00/13.00	7.00/12.50	2.39	0.598
Course content in the field of study	(1/4.00)/5.50	(1/6.00)/1.56	1.00/13.00	(1/2.00)/12.50	0.27	0.067
School Record	(1/4.00)/5.50	(1/7.00)/1.56	2.00/13.00	1.00/12.50	0.37	0.093
<b>Total</b>	5.50	1.56	13.00	12.50	4.00	1.000

ขั้นตอนที่ 4 วัดความสอดคล้องของเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกกลุ่มวิชา

ตรวจสอบความสอดคล้องของเกณฑ์ โดยการหาค่าอัตราความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency Ratio: CR) เพื่อหาค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์ที่ใส่ให้กับตัวแปรมีความสอดคล้องกันหรือไม่ เพื่อพิจารณาว่าค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์มีความสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยค่า CR ไม่ควรเกิน 0.05 สำหรับ 3 เกณฑ์ ไม่ควรเกิน 0.09 สำหรับ 4 เกณฑ์ และไม่ควรเกิน 0.1 สำหรับ 5 เกณฑ์ขึ้นไป ซึ่งถ้าค่า CR ไม่เกินที่กำหนดแสดงว่า ค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์มีความสอดคล้องกัน สามารถนำค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ไปใช้เป็นค่าน้ำหนักได้ แต่ถ้า CR เกินที่กำหนด แสดงว่าค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์ไม่มีความสอดคล้องกัน ต้องปรับหรือให้ค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์ใหม่<sup>10</sup> และจากเกณฑ์หลัก 2 เกณฑ์ คือ ปัจจัยส่วนบุคคลและปัจจัยภายนอก คำนวนค่า CR ได้เท่ากับ 0.00

เกณฑ์ย่อยของเกณฑ์หลักปัจจัยส่วนบุคคล 4 เกณฑ์ คำนวนค่า CR ได้เท่ากับ 0.07 และเกณฑ์ย่อยของเกณฑ์หลักปัจจัยภายนอก 3 เกณฑ์ คำนวนค่า CR ได้เท่ากับ 0.00 โดยค่า CR ของเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยไม่เกินค่าที่กำหนด แสดงว่า ค่าคะแนนของแต่ละเกณฑ์มีความสอดคล้องกัน สามารถนำค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ไปใช้เป็นค่าน้ำหนักได้

หลังจากได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลักและเกณฑ์ย่อยแล้ว ต้องมีการนำมาปรับค่าตามน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลักที่ได้ โดยการนำค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ย่อยมาคูณกับค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หลักจึงจะสามารถนำไปใช้ได้ ดังแสดงใน Table 5 ตัวอย่าง เช่น ค่าน้ำหนักย่อยด้านความต้องการทำงานในสายงานของแต่ละกลุ่มวิชาที่ปรับปรุงตามเกณฑ์หลักเท่ากับ  $0.242 \times 0.83 = 0.201$  เป็นต้น

**Table 5** The Priority Adjustment of Sub-criteria according to their Main Criteria

Sub-criteria	Weight Value of Sub-criteria	Weight Value of Sub-criteria according to Main Criteria
<b>Personal Criteria</b>		(Weight Value = 0.83)
Future career in the field of study	0.242	0.201
Affection and proficiency in the field of study	0.598	0.496
Course content in the field of study	0.067	0.056
School Record	0.093	0.077
<b>External Criteria</b>		(Weight Value = 0.17)
Career Opportunities	0.714	0.121
Job security and career advancement	0.143	0.024
Future Income	0.143	0.024

ขั้นตอนที่ 5 จัดอันดับการเลือกกลุ่มวิชา

การจะรู้ว่านักศึกษาหนึ่งคนควรเลือกกลุ่มวิชาใดจาก 4 กลุ่มวิชานั้น ต้องนำคะแนนที่ได้จากแบบสอบถามในแต่ละเกณฑ์คูณค่าน้ำหนักของเกณฑ์ย่อยที่ปรับปรุงตามเกณฑ์หลัก แล้วนำคะแนนรวมที่ได้ในแต่ละเกณฑ์มาบวกกัน โดยค่าลำดับความสำคัญของกลุ่มวิชาใดมากที่สุด แสดงว่านักศึกษาควรเลือกกลุ่มวิชานั้น ในตัวอย่าง Table 6 ค่า

ลำดับความสำคัญของรวมของกลุ่มวิชาซอฟต์แวร์วิสาหกิจ คือ 4.156 กลุ่มวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ คือ 3.443 กลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา คือ 2.980 และกลุ่มวิชานิติศาสตร์ คือ 3.320 ดังนั้น กลุ่มวิชาที่นักศึกษาควรเลือกเป็นอันดับแรกคือ กลุ่มวิชาซอฟต์แวร์วิสาหกิจ อันดับสองคือ กลุ่มวิชาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ อันดับสามคือ วิชานิติศาสตร์ และอันดับสุดท้ายคือ กลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา

**Table 6** An Example of Ranking Majors using the Analytic Hierarchy Process

Major	Evaluation Criteria							Sum of Priority
	Personal Criteria (Weight Value= 0.83)				External Criteria (Weight Value = 0.17)			
	Future career in the field of study (Weight Value= 0.201)	Affection and proficiency in the field of study (Weight Value= 0.496)	Course content in the field of study (Weight Value= 0.056)	School Record (Weight Value= 0.077)	Career Opportunities (Weight Value= 0.121)	Job security and career advancement (Weight Value= 0.121)	Future Income (Weight Value= 0.024)	
Enterprise Software	5.00*0.201 = 1.01	3.82*0.496 = 1.89	5.00*0.056 = 0.28	4.14*0.077 = 0.32	3.71*0.121 = 0.45	3.73*0.024 = 0.09	5.00*0.024 = 0.12	4.156
Management Information Systems	2.00*0.201 = 0.40	3.82*0.496 = 1.89	4.00*0.056 = 0.22	4.14*0.077 = 0.32	3.51*0.121 = 0.42	3.24*0.024 = 0.08	4.27*0.024 = 0.10	3.443
Information Studies	1.00*0.201 = 0.20	3.55*0.496 = 1.76	2.00*0.056 = 0.11	4.14*0.077 = 0.32	3.54*0.121 = 0.43	3.41*0.024 = 0.08	3.34*0.024 = 0.08	2.980
Communication	2.00*0.201 = 0.40	3.73*0.496 = 1.85	3.00*0.056 = 0.17	4.14*0.077 = 0.32	3.41*0.121 = 0.41	3.12*0.024 = 0.07	3.97*0.024 = 0.10	3.320

**ผลการวิจัย**

การประเมินแบบจำลองการตัดสินใจในการเลือกกลุ่มวิชา สำหรับนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อดูว่านักศึกษาเลือกกลุ่มวิชาได้ถูกต้องหรือไม่นั้น พิจารณาจากค่าความแม่นยำ (Precision) และค่าความระลึก (Recall) โดยใช้ข้อมูลนักศึกษาชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 159 คน จาก 4 กลุ่มวิชา ได้แก่ กลุ่มวิชาซอฟต์แวร์ วิศวกรรม กลุ่มวิชานิติศาสตร์ กลุ่มวิชาการบริหารสารสนเทศเพื่อการจัดการ และกลุ่มวิชาสารสนเทศศึกษา เป็นข้อมูลทดสอบแบบจำลอง โดยเอาผลการเรียนมาพิจารณาในการเลือกกลุ่มวิชาของนักศึกษา โดยแบ่งผลการเรียนเฉลี่ยของนักศึกษาเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% แรกของแต่ละกลุ่มวิชา จัดเป็นกลุ่มนักศึกษาที่เลือกกลุ่มวิชาเรียนได้เหมาะสม และกลุ่มที่สองเป็นนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% สุดท้ายของแต่ละกลุ่มวิชา จัดเป็นกลุ่มนักศึกษาที่เลือกกลุ่มวิชาเรียนได้ไม่เหมาะสม โดยมีการเว้นช่วงผิดพลาดที่สามารถเกิดได้ในช่วงกลางของข้อมูลนักศึกษา<sup>13</sup>

โดยค่าความแม่นยำ (Precision) แสดงดังสมการที่ 1

$$Precision = TP / (TP + FP) \times 100\% \quad (1)$$

และค่าความระลึก (Recall) แสดงดังสมการที่ 2

$$Recall = TP / (TP + FN) \times 100\% \quad (2)$$

เมื่อ TP (True Positive) คือ จำนวนนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% แรกของกลุ่มวิชา และ

แบบจำลองทำนายว่าควรเลือกกลุ่มวิชานั้น

TN (True Negative) คือ จำนวนนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% สุดท้ายของกลุ่มวิชา และแบบจำลองทำนายว่าไม่ควรเลือกกลุ่มวิชานั้น

FN (False Negative) คือ จำนวนนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% แรกของกลุ่มวิชา และแบบจำลองทำนายว่าไม่ควรเลือกกลุ่มวิชานั้น

FP (False Positive) คือ จำนวนนักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% สุดท้ายของกลุ่มวิชา และแบบจำลองทำนายว่าควรเลือกกลุ่มวิชานั้น

จากสมการสามารถสรุปผลค่าความแม่นยำ และค่าความระลึก ได้ดังแสดงใน Table 7

**Table 7** Precision and Recall of Major Selection

Major	Recall	Precision
Enterprise Software	0.88	0.58
Management Information Systems	0.79	0.50
Communication	0.94	0.52
Information Studies	0.86	0.57
<b>Average</b>	0.86	0.53



## วิจารณ์และสรุปผล

ในงานวิจัยนี้แบบจำลองสามารถวิเคราะห์ให้นักศึกษาที่มีผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% แรกของกลุ่มวิชาได้ว่าเลือกกลุ่มวิชาได้เหมาะสมหรือไม่ ดังจะเห็นได้จากการที่ค่าความระลึกลูกสูงถึง 0.86 ซึ่งหมายความว่า *TP* สูง และ *FN* ต่ำ แต่ในขณะที่เดียวกันค่าความแม่นยำมีค่าต่ำ เนื่องจาก *FP* มีค่าสูง นั่นเป็นเพราะแบบจำลองทำนายว่านักศึกษาที่มีผลการเรียนอยู่ในอันดับ 40% สุดท้ายของกลุ่มวิชาใดวิชาหนึ่งควรอยู่กลุ่มวิชานั้น ซึ่งจัดเป็นค่าผิดพลาด แต่ในความเป็นจริงนักศึกษาอาจไม่ควรเลือกเรียนสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศตั้งแต่แรก หรือการที่นักศึกษาเลือกกลุ่มวิชาที่กำลังศึกษาอยู่นั้น อาจจะดีกว่าทุกกลุ่มวิชาแล้ว หากไปเรียนกลุ่มวิชาอื่นอาจเรียนแยกว่านี้ ซึ่งแบบจำลองไม่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าจริงหรือไม่ ในที่นี้จึงประเมินแบบจำลองโดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนนักศึกษาที่ผลการเรียนเฉลี่ยสะสมอยู่ในอันดับ 40% แรกของกลุ่มวิชาเป็นหลัก ซึ่งก็คือพิจารณาที่ค่าความระลึกลูกของการทำนายผลของแบบจำลองการตัดสินใจ และจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า แบบจำลองสามารถช่วยนักศึกษาในการหาทางเลือกและชี้แนะแนวทางการตัดสินใจเลือกกลุ่มวิชาให้กับนักศึกษาแต่ละคนได้ ซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้กับนักศึกษาได้อีกทางหนึ่ง

## เอกสารอ้างอิง

- รัชพงศ์ เอี้ยวสกุล. แรงจูงใจในการเลือกเรียนสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 2 และชั้นปีที่ 3 โรงเรียนพณิชยการเพชรบุรี. สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2551.
- พีรพงษ์ บัวเหลือง. ซอฟต์แวร์สำหรับพยากรณ์การเลือกสาขาวิชาของโครงการคัดเลือกนักเรียนในเขตพัฒนาภาคเหนือเพื่อเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ของนักเรียนโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย โดยใช้เทคนิคตัวจำแนกกฎเกณฑ์. การค้นคว้าแบบอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการคอมพิวเตอร์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2557.
- ลำไย มากเจริญ. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเลือกสาขาวิชาของนักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. รายงานการวิจัย คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร; 2551.
- พรพรรณ เหล่าวิชระสุวรรณ. ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกสาขาวิชาเอกของนักศึกษาเภสัชศาสตร์ ชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาจิตวิทยาการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2545.
- ธีระดา ภิฏญ. อิทธิพลของบริษัททางสังคมต่อการตัดสินใจเลือกศึกษาต่อ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของนักเรียนมัธยมศึกษา ชั้นปีที่ 6. วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ 2551;14(2): 208-224.
- ชุติมา อุดมมณี, ประสงค์ ประณีตพลกรัง. การพัฒนาตัวแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบอัตโนมัติออนไลน์สำหรับการเลือกสาขาวิชาเรียนของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา. JOURNAL OF INFORMATION SCIENCE AND TECHNOLOGY 2553;2(1):39-48.
- กาญจนา หฤธรรมพงศ์. การค้นหาความรู้จากฐานข้อมูลนักศึกษาโดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูล กรณีศึกษามหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์; 2549.
- สุธรรม อรุณ. การตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์. Process Management;64(1).
- ณัฐกร ชูกัน. การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการประเมินบริษัทขนส่ง โดยใช้ตัวแบบการขนส่ง Multicommodity, AHP และ LP. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2545.
- วิฑูรย์ ดันศิริคงคล. AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ: กราฟฟิค แอนด์ปริ้นติ้ง; 2542.
- บุญยง อัยรอด. การประยุกต์ใช้วิธีการ AHP ในการคัดเลือกบริษัทขนส่ง: กรณีศึกษาธนาคารพาณิชย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; 2552.
- กฤษณะ ไวยมัย, ชิตชนก ส่งศิริ, ธนาวิทย์ รักธรรมานนท์. การใช้เทคนิคดาต้าไมน์นิ่งเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์. NECTEC technical Journal 2544;3(11):134-142.
- Ahmad I, Manarvi I, Ashraf N. Predicting university performance in a subject based on high school majors. In Computers & Industrial Engineering (CIE). IEEE 2009 July: 1475-1479.

14. สุพัฒน์กุล ภัคโชค. ตัวแบบการเลือกแผนการเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โดยการพิจารณาผลการเรียนรายวิชาหลัก ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเว็บ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์; 2556.
15. Alshareef A, Ahmida S, Abu Bakar A, Hamdan AR, Alweshah M. Mining survey data on university students to determine trends in the selection of majors. In Science and Information Conference (SAI). IEEE 2015 July: 586-590.
16. ไพฑูรย์ จันทร์เรือง. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกสาขาการเรียนของนักศึกษาระดับปริญญาตรีโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. สารนิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2550.
17. วิริยาภรณ์ พิชัยโชค, จันทร์จิรา พยัคฆ์เทศ. การประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อพิจารณาทุนการศึกษาของโรงเรียนหัวดวงพรพหุภรณ์ จังหวัดนครสวรรค์. NU Science Journal 2556;9(3):29-46.
18. Jamil R, Jarot SP. Intelligent decision support system for degree selection using AHP technique. In Computer and Communication Engineering (ICCCE). IEEE 2012 July: 642-647.
19. บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น; 2535.
20. Nielsen J, Landauer TK. A mathematical model of the finding of usability problems. In Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems. ACM 1993 Mar: 206-213.
21. ศุภลักษณ์ ใจสูง, อติศักดิ์ ธีรานุพัฒนา. การคัดเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ของบริษัท ฮานา ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จำกัด (มหาชน) โดยใช้กระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้น (AHP). วารสารบริหารธุรกิจ 2555;35(134): 65-89.

## เซตบนวางนัยทั่วไปและส่วนหัววางนัยทั่วไปในพีชคณิต-BE

## On generalized upper sets and generalized terminal sections in BE-algebras

อรรถพล ภูมิลา<sup>1\*</sup>, ขจรศักดิ์ เนียมน่วม<sup>2</sup>, รัตนา คำต๋ม<sup>3</sup>, สุพรรณนิภา บุญอาจ<sup>4</sup>Attaphol Pumila<sup>1\*</sup>, Khachonsak Niamnuam<sup>2</sup>, Ruttana Khamtum<sup>3</sup>, Supannika Boonard<sup>4</sup>

Received: 31 January 2017 ; Accepted: 2 May 2017

## บทคัดย่อ

จุดมุ่งหมายของการศึกษาในครั้งนี้คือการให้นิยามและหาสมบัติของส่วนหัววางนัยทั่วไปใน พีชคณิต-BE จากนิยามของส่วนหัววางนัยทั่วไปสามารถหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับเซตบนวางนัยทั่วไป ตัวกรองและไอดีลใน พีชคณิต-BE อีกทั้งยังได้สมบัติที่เกี่ยวข้องกับตัวกรองและไอดีลใน พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว

**คำสำคัญ :** พีชคณิต-BE เซตบนวางนัยทั่วไป ส่วนหัววางนัยทั่วไป สลับที่ แจกแจงในตัว ตัวกรอง ไอดีล

## Abstract

The aim of this paper is to introduce the notion of generalized terminal sections in BE-algebras and investigate their properties. Furthermore, these sets are considered in commutative and self distributive BE-algebras. Finally, we provide the relationship between self distributive and ideal and the relationship between self distributive and filter.

**Keywords :** BE-algebra, generalized upper set, generalized terminal section, commutative, self distributive, filter, ideal

## บทนำ

ในปี 2008 Ahn & So ได้เผยแพร่งานวิจัยเรื่อง *ไอดีลและเซตบนในพีชคณิต-BE (on ideal and upper set in BE-algebra)* ซึ่งได้ให้นิยามของไอดีลและเซตบนใน พีชคณิต-BE และให้แนวคิดที่ว่า เซตบนของสมาชิกใดๆ ในพีชคณิต-BE จะเป็นไอดีลของพีชคณิต-BE และต่อมาในปี 2009 พวกเขาได้เผยแพร่งานวิจัยเรื่อง *เซตบนวางนัยทั่วไปในพีชคณิต-BE (on generalized upper sets in BE-algebras)* และได้ให้สมบัติเฉพาะของเซตบนวางนัยทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับไอดีลใน พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว

ในปี 2012 Ahn, Kim & Ko ได้เผยแพร่งานวิจัยเรื่อง *ตัวกรองในพีชคณิต-BE สลับที่ (filter in commutative BE-algebras)* ซึ่งได้ให้นิยามของส่วนหัวของสมาชิกที่อยู่ในพีชคณิต-BE และได้สมบัติบางประการของส่วนหัวของสมาชิกที่อยู่ในพีชคณิต-BE

การศึกษาในครั้งนี้เราจะนิยามส่วนหัววางนัยทั่วไปในพีชคณิต-BE ขยายแนวคิดเรื่องเซตบนวางนัยทั่วไป และแสดงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวกรองและไอดีลในพีชคณิต-BE

## ความรู้พื้นฐาน

**บทนิยาม 1[1]** ให้  $X$  ไม่เป็นเซตว่างและ  $*$  เป็นการดำเนินการทวิภาคบน  $X$  จะเรียก  $(X; *, 1)$  ว่า พีชคณิต-BE (BE-algebra) ถ้าสอดคล้องเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$(BE1) \quad x * x = 1 \text{ สำหรับทุก } x \in X$$

$$(BE2) \quad x * 1 = 1 \text{ สำหรับทุก } x \in X$$

$$(BE3) \quad 1 * x = x \text{ สำหรับทุก } x \in X$$

$$(BE4) \quad x * (y * z) = y * (x * z) \text{ สำหรับทุก } x, y, z \in X$$

หมายเหตุ เพื่อความสะดวกให้  $X$  แทน  $(X; *, 1)$  จนกว่าจะกำหนดให้เป็นอย่างอื่น

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

<sup>2,3,4</sup> นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก

<sup>1</sup> Lecturer, Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajbhat University, Phitsanulok

<sup>2,3,4</sup> Undergraduate Students, Program in Mathematics, Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajbhat University, Phitsanulok

\* Corresponding author: Attaphol Pumila, Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajbhat University, Phitsanulok 65000, atpa@psru.ac.th

**บทนิยาม 2[1]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แล้ว  $x \leq y$  ก็ต่อเมื่อ  $x * y = 1$  สำหรับทุก  $\forall x, y \in X$

**บทนิยาม 3[1]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  แล้ว  $F$  เป็นตัวกรอง (filter) ของ  $X$  ถ้า

$$(F1) \quad 1 \in F$$

(F2) ถ้า  $x \in F$  และ  $x * y \in F$  แล้ว  $y \in F$  สำหรับทุก  $\forall x, y \in X$

**บทนิยาม 4[1]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE จะเรียก  $X$  ว่า พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว (self distributive BE-algebra) ถ้า  $x * (y * z) = (x * y) * (x * z)$  สำหรับทุก  $\forall x, y, z \in X$

**บทนิยาม 5[5]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $S$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  จะเรียก  $S$  ว่า พีชคณิตย่อย (subalgebra) ของ  $X$  ถ้า  $x * y \in S$  สำหรับทุก  $\forall x, y \in S$

**บทตั้ง 6[5]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  แล้ว  $F$  เป็นพีชคณิตย่อยของ  $X$

**บทนิยาม 7[2]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $I$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  จะเรียก  $I$  ว่า ไอเดิล (ideal) ของ  $X$  ถ้า

(I1) สำหรับทุก  $\forall x \in X$  และ  $a \in I$  แล้ว  $x * a \in I$  กล่าวคือ  $X * I \subseteq I$

(I2) สำหรับทุก  $\forall x \in X$  และ  $a, b \in I$  แล้ว  $(a * (b * x)) * x \in I$

**บทตั้ง 8[2]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $I$  เป็นเซตย่อยของ  $X$  ซึ่งสอดคล้องกับเงื่อนไข

$$(I3) \quad 1 \in I$$

(I4) ถ้า  $x * (y * z) \in I$  และ  $y \in I$  แล้ว  $x * z \in I$  สำหรับ  $x, y, z \in X$

จะได้ว่า ถ้า  $a \in I$  และ  $a \leq x$  แล้ว  $x \in I$

**บทนิยาม 9[7]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  จะเรียก  $F$  ว่า ตัวกรองมีเงื่อนไข (implicative filter) ของ  $X$  ถ้า

$$(i) \quad 1 \in F$$

$$(ii) \quad x * (y * z) \in F \text{ และ } x * y \in F \text{ แล้ว } x * z \in F$$

สำหรับทุก  $\forall x, y, z \in X$

**ประพจน์ 10[7]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สำหรับทุก  $\forall$  ตัวกรองมีเงื่อนไขจะเป็นตัวกรองของ  $X$

**บทนิยาม 11[7]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  จะเรียก  $F$  ว่า ตัวกรองมีเงื่อนไขบวก (positive implicative filter) ของ  $X$  ถ้า

$$(i) \quad 1 \in F$$

$$(ii) \quad z * ((x * y) * x) \in F \text{ และ } z \in F \text{ แล้ว } x \in F$$

สำหรับทุก  $\forall x, y, z \in X$

**บทนิยาม 12[3]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE จะเรียก  $X$  ว่า พีชคณิต-BE สลับที่ (commutative BE-algebra) ถ้า  $(x * y) * y = (y * x) * x$  สำหรับทุก  $\forall x, y \in X$

**บทนิยาม 13[3]** ให้  $X$  ไม่เป็นเซตว่างและ “ $*$ ” เป็นการดำเนินการทวิภาคบน  $X$  จะเรียก  $(X; *)$  ว่า พีชคณิตมีเงื่อนไข (implication algebra) ถ้าสอดคล้องเงื่อนไขดังต่อไปนี้

$$(IM1) \quad (x * y) * x = x$$

$$(IM2) \quad (x * y) * y = (y * x) * x$$

$$(IM3) \quad x * (y * z) = y * (x * z)$$

สำหรับทุก  $\forall x, y, z \in X$

**บทนิยาม 14** ให้  $X$  เป็นพีชคณิต-BE จะเรียก  $X$  ว่า พีชคณิต-BE สลับที่แจกแจงในตัว ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัวและพีชคณิต-BE สลับที่

**บทแทรก 15[8]**  $(X; *)$  เป็นพีชคณิต-BE มีเงื่อนไข ก็ต่อเมื่อ  $(X; *)$  เป็น พีชคณิต-BE สลับที่แจกแจงในตัว

**บทนิยาม 16[1]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สำหรับทุก  $\forall x, y \in X$  และ  $n \in N$  เมื่อ  $N$  คือเซตของจำนวนนับ กำหนดให้  $A(x, y) := \{z \in X \mid x * (y * z) = 1\}$  จะเรียก  $A(x, y)$  ว่า เซตบน (upper set) ของ  $X$  และ  $Y$

**ข้อสังเกต** จากบทนิยาม 16 จะได้ว่า  $1, x, y \in A(x, y)$

**บทนิยาม 17[6]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สำหรับทุก  $\forall x \in X$  กำหนดให้  $A(x) := \{z \in X \mid x \leq z\}$ ,

เราจะเรียก  $A(x)$  ว่า ส่วนขั้ว (terminal section) ของ  $X$

**ข้อสังเกต** จากบทนิยาม 17 จะได้ว่า  $1, x \in A(x)$

### ผลการดำเนินการ

จากการศึกษาเซตบนใน พีชคณิต-BE และส่วนขั้วใน พีชคณิต-BE ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเซตบน ส่วนขั้ว ตัวกรองและไอเดิลใน พีชคณิต-BE และ พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว

ต่อมามีการขยายแนวคิดของเซตบนเป็นเซตบนวางนัยทั่วไป[4] โดยกำหนดให้

$$u^n * v = \underbrace{u * (u * (u * \dots * (u * v) \dots))}_{n\text{-term}}$$

และในที่นี้จะขยายแนวคิดของส่วนขั้วเป็นส่วนขั้ววางนัยทั่วไป โดยจะนิยามส่วนขั้ววางนัยทั่วไปดังนี้

**บทนิยาม 18[4]** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สำหรับทุก  $\forall x, y \in X$  และ  $n \in N$  เมื่อ  $N$  คือเซตของจำนวนนับ กำหนดให้  $A_n(x, y) := \{z \in X \mid x^n * (y * z) = 1\}$  จะเรียก  $A_n(x, y)$  ว่า เซตบนวางนัยทั่วไป (generalized upper set) ของ  $X$  และ  $Y$

**ข้อสังเกต** จากบทนิยาม 18 จะได้ว่า  $1, x, y \in A_n(x, y)$

**บทนิยาม 19** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สำหรับทุก  $\forall x \in X$  และ  $n \in N$  เมื่อ  $N$  คือเซตของจำนวนนับกำหนดให้

$A_n(x) := \{z \in X \mid x^n * z = 1\}$  จะเรียก  $A_n(x)$  ว่า ส่วนซ้ายวงนัยทั่วไป (generalized terminal section) ของ  $X$

ข้อสังเกต จากบทนิยาม 19 จะได้ว่า  $1, x \in A_n(x)$

**ตัวอย่าง 20** ให้  $X := \{1, a, b, c, d\}$  ซึ่งมีการดำเนินการทวิภาค "\*" บนเซต  $X$  ดังตารางต่อไปนี้

*	1	a	b	c	d
1	1	a	b	c	d
a	1	1	b	c	d
b	1	a	1	c	c
c	1	1	b	1	b
d	1	1	1	1	1

จะเห็นได้โดยชัดเจนว่า  $(X; *, 1)$  เป็น พีชคณิต-BE

ให้  $P(n)$  แทน  $1^n * 1 = 1$  ทุก ๆ  $n \in N$  จะได้

$$1^1 * 1 = 1 * 1 = 1 \therefore P(1) \text{ เป็นจริง}$$

สมมติให้  $P(k)$  เป็นจริง จะได้ว่า  $1^k * 1 = 1$

$$\text{ดังนั้น } 1 * (1^k * 1) = 1 * 1 = 1$$

$$\begin{aligned} \text{แต่ } 1 * (1^k * 1) &= 1 * \underbrace{(1 * (\dots * (1 * 1) \dots))}_{k\text{-term}} \\ &= \underbrace{1 * (1 * (\dots * (1 * 1) \dots))}_{(k+1)\text{-term}} \end{aligned}$$

$$= 1^{k+1} * 1$$

$$\therefore 1^{k+1} * 1 = 1 * (1^k * 1) = 1$$

จึงได้ว่า  $P(k+1)$  เป็นจริง

นั่นคือ  $1^n * 1 = 1$  ทุก ๆ  $n \in N$  จะได้ว่า  $1 \in A_n(1)$

$$\text{แต่ } 1^1 * a = (1 * a) = a \neq 1$$

$$1^1 * b = (1 * b) = b \neq 1$$

$$1^1 * c = (1 * c) = c \neq 1$$

$$1^1 * d = (1 * d) = d \neq 1$$

$$\therefore a, b, c, d \notin A_n(1) = \{1\}$$

ในทำนองเดียวกัน สามารถแสดงได้ว่า  $A_n(a) = \{1, a\}$ ,  $A_n(b) = \{1, b\}$ ,  $A_n(c) = \{1, a, c\}$  และ  $A_n(d) = X$

**ตัวอย่าง 21** ให้  $X := \{1, a, b, c\}$  ซึ่งมีการดำเนินการทวิภาค "\*" บนเซต  $X$  ดังตารางต่อไปนี้

*	1	a	b	c
1	1	a	b	c
a	1	1	a	a
b	1	1	1	a
c	1	1	a	1

จะเห็นได้โดยชัดเจนว่า  $(X; *, 1)$  เป็น พีชคณิต-BE

จาก  $A(b) = \{x \in X \mid b \leq x\}$  จะได้ว่า  $A(b) = \{x \in X \mid b * x = 1\}$

กรณี  $x = 1$  จะได้ว่า  $b * 1 = 1$  ดังนั้น  $1 \in A(b)$

กรณี  $x = a$  จะได้ว่า  $b * a = 1$  ดังนั้น  $a \in A(b)$

กรณี  $x = b$  จะได้ว่า  $b * b = 1$  ดังนั้น  $b \in A(b)$

กรณี  $x = c$  จะได้ว่า  $b * c = a$  ดังนั้น  $c \notin A(b)$

นั่นคือ  $A(b) = \{1, a, b\}$

จาก  $A_n(b) = \{x \in X \mid b^n * x = 1\}$

ให้  $P(n)$  แทน  $b^n * 1 = 1$  ทุก ๆ  $n \in N$

จะได้ว่า  $b^1 * 1 = 1$  ดังนั้น  $P(1)$  เป็นจริง

สมมติให้  $P(k)$  เป็นจริง นั่นคือ  $b^k * 1 = 1$

จะได้ว่า  $b * (b^k * 1) = b * 1 = 1$

$$\begin{aligned} \text{แต่ } b * (b^k * 1) &= b * \underbrace{(b * (\dots * (b * 1) \dots))}_{k\text{-term}} \\ &= \underbrace{b * (b * (\dots * (b * 1) \dots))}_{(k+1)\text{-term}} \end{aligned}$$

$$= b^{k+1} * 1$$

$$\therefore b^{k+1} * 1 = 1$$

จึงได้ว่า  $P(k+1)$  เป็นจริง นั่นคือ  $b^n * 1 = 1$  ทุก ๆ  $n \in N$  ดังนั้น

$1 \in A_n(b)$  ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า  $a, b, c \in A_n(b)$

$$\therefore A_n(b) = \{1, a, b, c\}$$

จะเห็นได้ว่า  $A(b) \neq A_n(b), n \geq 2$

**ตัวอย่าง 22** ให้  $X = \{1, a, b, c, d\}$  ซึ่งมีการดำเนินการทวิภาค "\*" บนเซต  $X$  ดังตารางในตัวอย่าง 20

จากตารางจะได้ว่า  $A_n(1, 1) = \{1\}$ ,

$$A_n(1, a) = A_n(a, 1) = A_n(a, a) = \{1, a\}$$

$$A_n(a, b) = \{1, a, b\}$$

$$A_n(1, b) = A_n(b, 1) = A_n(b, b) = \{1, b\},$$

$$A_n(1, c) = A_n(a, c) = A_n(c, 1)$$

$$= A_n(a, c) = A_n(c, c) = \{1, a, c\}$$



$A_n(b, a) = \{1, a, b\}$  และ  $A_n(x, d) = A_n(d, x) = X$   
จากตัวอย่าง 20 ทราบว่า  $A(1) = \{1\}$ ,

$A_n(a) = \{1, a\}$ ,  $A_n(b) = \{1, b\}$ ,  $A_n(c) = \{1, a, c\}$

และ  $A_n(d) = \{1, a, b, c, d\}$

พิจารณา  $A_n(1) = \{1\}$  แต่  $A_n(1, a) = \{1, a\}$ ,

$A_n(1, b) = \{1, b\}$ ,  $A_n(1, c) = \{1, c\}$

จะได้ว่า  $A_n(1) \neq A_n(1, x)$

$A_n(a) = \{1, a\}$  แต่  $A_n(a, a) = \{1, a\}$ ,

$A_n(a, b) = \{1, a, b\}$ ,  $A_n(a, c) = \{1, a, c\}$

จะได้ว่า  $A_n(a) \neq A_n(a, x)$

$A_n(b) = \{1, b\}$  แต่  $A_n(b, a) = \{1, a, b\}$ ,

$A_n(b, b) = \{1, b\}$ ,  $A_n(b, c) = \{1, a, b, c, d\}$

จะได้ว่า  $A_n(b) \neq A_n(b, x)$

$A_n(c) = \{1, a, c\}$  แต่  $A_n(c, a) = \{1, a, b\}$ ,

$A_n(c, b) = \{1, a, b, c, d\}$ ,  $A_n(c, c) = \{1, a, c\}$

จะได้ว่า  $A_n(c) \neq A_n(c, x)$

ดังนั้น  $A_n(x) \subseteq A_n(x, y)$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in X$

**ทฤษฎีบท 23** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE ถ้า  $x, y \in X$  แล้ว

$A_n(x) \subseteq A_n(x, y)$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $x, y \in X$  และ  $z \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * z = 1$

โดย (BE4) และ (BE2) ทำให้ได้ว่า

$x^n * (y * z) = y * (x^n * z) = y * 1 = 1$

ดังนั้น  $z \in A_n(x, y)$  นั่นคือ  $A_n(x) \subseteq A_n(x, y)$  □

**ทฤษฎีบท 24** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE ถ้า  $x, y \in X$  แล้ว

$A_n(x) = \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $x, y \in X$

เนื่องจาก  $A_n(x) \subseteq A_n(x, y)$  สำหรับทุก ๆ  $n \in N$

และ  $x, y \in X$

ดังนั้น  $A_n(x) \subseteq \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$

ต่อไปจะแสดงว่า  $\bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y) \subseteq A_n(x)$

ให้  $w \in \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$  จะได้ว่า  $w \in A_n(x, y)$  สำหรับทุก ๆ  $y \in X$

ดังนั้น  $w \in A_n(x, 1)$  พิจารณา  $1 = x^n * (1 * w) = x^n * w$  จะได้ว่า  $w \in A_n(x)$

นั่นคือ  $\bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y) \subseteq A_n(x)$

สามารถสรุปได้ว่า  $A_n(x) = \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$  □

**บทแทรก 25** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE ถ้า  $x, y \in X$  แล้ว

$A_n(x, 1) = \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $x, y \in X$

พิจารณา  $A_n(x) = \{z \in X \mid x^n * z = 1\}$

$= \{z \in X \mid x^n * (1 * z) = 1\}$

$= A_n(x, 1)$

จากทฤษฎีบท 24 ทราบว่า  $A_n(x) = \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$

ดังนั้น  $A_n(x, 1) = \bigcap_{x, y \in X} A_n(x, y)$  □

**ทฤษฎีบท 26** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $a \in X$  แล้วสมบัติ

ต่อไปนี้จะสมมูลกัน

(i)  $a^n \leq x$

(ii)  $X = A_n(a, x)$

(iii)  $X = A_n(a)$

สำหรับทุก ๆ  $x \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** (i)  $\Rightarrow$  (ii) จาก  $a^n \leq x$  จะได้ว่า

$X \subseteq A_n(a) \subseteq A_n(a, x) \subseteq X$  ดังนั้น  $X = A_n(a, x)$

(ii)  $\Rightarrow$  (iii) ให้  $x = 1$  จะได้  $X = A_n(a, 1) = A_n(a)$

ดังนั้น  $X = A_n(a)$

(iii)  $\Rightarrow$  (i) ให้  $x \in X = A_n(a)$  จะได้  $a^n * x = 1$  ดังนั้น

$a^n \leq x$  □

**ทฤษฎีบท 27** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่

ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  ถ้า  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  แล้ว

$A_n(x, y) \subseteq F$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in F$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$

ให้  $z \in A_n(x, y)$  จะได้ว่า  $x^n * (y * z) = 1 \in F$  จาก  $x \in F$  โดย

บทตั้ง 6 จะได้ว่า  $x^n \in F$

เนื่องจาก  $x^n, x^n * (y * z) \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $y * z \in F$

และจาก  $y, y * z \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $z \in F$

ดังนั้น  $A_n(x, y) \subseteq F$  □

**ทฤษฎีบท 28** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่

ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  ถ้า  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  แล้ว

$F = \bigcup_{x, y \in F} A_n(x, y)$

สำหรับทุก ๆ  $x, y \in F$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  เริ่มต้นจะแสดงว่า

$F \subseteq \bigcup_{x, y \in F} A_n(x, y)$

ให้  $z \in F$  เนื่องจาก  $z^n * (z * z) = z^n * 1 = 1$

ดังนั้น  $z \in A_n(z, z) \subseteq \bigcup_{x, y \in F} A_n(x, y)$

นั่นคือ  $F \subseteq \bigcup_{x, y \in F} A_n(x, y)$

$$\text{ต่อไปเราจะแสดงว่า } \bigcup_{x,y \in F} A_n(x,y) \subseteq F$$

ให้  $w \in \bigcup_{x,y \in F} A_n(x,y)$  ดังนั้น  $w \in A_n(x,y)$  สำหรับบาง  $x,y \in F$  จะได้ว่า  $x * x^{n-1} * (y * w) = 1 \in F$  โดยบทตั้ง 6 จะได้ว่า  $x^n \in F$  เนื่องจาก  $x^n, x^n * (y * w) \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $y * w \in F$  และจาก  $y, y * w \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $w \in F$

$$\text{ดังนั้น } \bigcup_{x,y \in F} A_n(x,y) \subseteq F$$

$$\text{สามารถสรุปได้ว่า } F = \bigcup_{x,y \in F} A_n(x,y) \quad \square$$

**ทฤษฎีบท 29** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  ถ้า  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  แล้ว  $A_n(x) \subseteq F$  สำหรับทุก  $x \in F$  เมื่อ  $n \in \mathbb{N}$

**พิสูจน์** สมมติให้  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  ให้  $z \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * z = 1 \in F$  โดยบทตั้ง 6 จะได้ว่าถ้า  $x \in F$  แล้ว  $x^n \in F$  เนื่องจาก  $x^n, x^n * z \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $z \in F$  ดังนั้น  $A_n(x) \subseteq F \quad \square$

**ทฤษฎีบท 30** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$

ถ้า  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  แล้ว

$$F = \bigcup_{x \in F} A_n(x)$$

สำหรับทุก  $x \in F$  เมื่อ  $n \in \mathbb{N}$

**พิสูจน์** สมมติให้  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$

$$\text{เริ่มต้นจะแสดงว่า } F \subseteq \bigcup_{x \in F} A_n(x)$$

ให้  $z \in F$  โดย (BE1) จะได้ว่า  $z * z = 1$  ดังนั้น  $z^n * z = 1$  นั่นคือ  $z \in A_n(z)$

$$\text{เนื่องจาก } A_n(z) \subseteq \bigcup_{x \in F} A_n(x)$$

$$\text{นั่นคือ } F \subseteq \bigcup_{x \in F} A_n(x)$$

$$\text{ต่อไปจะแสดงว่า } \bigcup_{x \in F} A_n(x) \subseteq F$$

เนื่องจาก  $A_n(x) \subseteq F$  ทุก  $x \in F$

$$\text{ดังนั้น } \bigcup_{x \in F} A_n(x) \subseteq F$$

$$\text{จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า } F = \bigcup_{x \in F} A_n(x) \quad \square$$

**ทฤษฎีบท 31** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว สำหรับทุก  $x \in X$  จะได้ว่า  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X$  ก็ต่อเมื่อ ถ้า  $c^n \leq a * b$  และ  $c^n \leq a$  แล้ว  $c^n \leq b$  สำหรับทุก  $a, b, c \in X$

**พิสูจน์** ( $\Rightarrow$ ) สมมติให้  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X$ ,  $X, c^n \leq a * b$  และ  $c^n \leq a$

จะแสดงว่า  $c^n \leq b$

เนื่องจาก  $c^n \leq a * b$  และ  $c^n \leq a$  สำหรับทุก  $a, b, c \in X$  จะได้ว่า  $c^n * (a * b) = 1$  และ  $c^n * a = 1$

$$\text{พิจารณา } c^n * b = 1 * (c^n * b)$$

$$= (c \ a) (c \ b)$$

$$= c^n * (a * b)$$

$$= 1$$

$$\text{ดังนั้น } c^n \leq b$$

( $\Leftarrow$ ) สมมติให้ ถ้า  $c^n \leq a * b$  และ  $c^n \leq a$  แล้ว  $c^n \leq b$

สำหรับทุก  $a, b, c \in X$  จะแสดงว่า  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X$  เนื่องจาก  $1 \in A_n(x)$  ดังนั้น (F1) เป็นจริง ให้  $a * b \in A_n(x)$  และ  $a \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * (a * b) = 1$  และ  $x^n * a = 1$  ดังนั้น  $x^n \leq a * b$  และ  $x^n \leq a$

โดยสมมติฐานจะได้ว่า  $x^n \leq b$  ดังนั้น  $x^n * b = 1$  นั่นคือ  $b \in A_n(x)$  จึงได้ว่า (F2) เป็นจริง

ดังนั้น  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X \quad \square$

**ทฤษฎีบท 32** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว จะได้ว่า  $y \in A_n(x)$  ก็ต่อเมื่อ  $A_n(x) = A_n(x, y)$  สำหรับทุก  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in \mathbb{N}$

**พิสูจน์** ( $\Rightarrow$ ) สมมติให้  $y \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * y = 1$

ให้  $b \in A_n(x, y)$  จะได้ว่า  $x^n * (y * b) = 1$

$$\begin{aligned} \text{พิจารณา } x^n * b &= 1 * (x^n * b) \\ &= (x^n * y) * (x^n * b) \\ &= x^n * (y * b) \\ &= 1 \end{aligned}$$

จะได้ว่า  $b \in A_n(x)$  ดังนั้น  $A_n(x, y) \subseteq A_n(x)$

และจากทฤษฎีบท 23 จะได้ว่า  $A_n(x) \subseteq A_n(x, y)$

ดังนั้น  $A_n(x) = A_n(x, y)$

( $\Leftarrow$ ) สมมติให้  $A_n(x) = A_n(x, y)$

เนื่องจาก  $y \in A_n(x, y)$  ดังนั้น  $y \in A_n(x, y) = A_n(x)$

นั่นคือ  $y \in A_n(x) \quad \square$

**ทฤษฎีบท 33** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว จะได้ว่า  $x^n \leq y^n$  ก็ต่อเมื่อ  $A_n(y) \subseteq A_n(x)$  สำหรับทุก  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in \mathbb{N}$

**พิสูจน์** ( $\Rightarrow$ ) สมมติให้  $x^n \leq y^n$  จะได้ว่า  $x^n * y^n = 1$

ให้  $a \in A_n(y)$  จะได้ว่า  $y^n * a = 1$

$$\begin{aligned} \text{พิจารณา } x^n * a &= 1 * (x^n * a) \\ &= (x^n * y^n) * (x^n * a) \\ &= x^n * (y^n * a) \\ &= x^n * 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น  $a \in A_n(x)$  นั่นคือ  $A_n(y) \subseteq A_n(x)$

( $\Leftarrow$ ) สมมติให้  $A_n(y) \subseteq A_n(x)$

เนื่องจาก  $y^n * y^n = 1$  จะได้ว่า  $y^n \in A_n(y) \subseteq A_n(x)$  ดังนั้น  $y^n \in A_n(x)$

ทำให้ได้ว่า  $x^n * y^n = 1$  นั่นคือ  $x^n \leq y^n$   $\square$

**บทแทรก 34** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว จะได้ว่า  $x^n \leq y^n$  และ  $y^n \leq x^n$

ก็ต่อเมื่อ  $A_n(x) = A_n(y)$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in N$   
**พิสูจน์** ( $\Rightarrow$ ) สมมติให้  $x^n \leq y^n$  และ  $y^n \leq x^n$  โดยทฤษฎีบท 33 จะได้ว่า  $A_n(y) \subseteq A_n(x)$  และ  $A_n(x) \subseteq A_n(y)$  ดังนั้นสรุปได้ว่า  $A_n(x) = A_n(y)$

( $\Leftarrow$ ) สมมติให้  $A_n(x) = A_n(y)$

โดยทฤษฎีบท 33 จะได้  $x^n \leq y^n$  และ  $y^n \leq x^n$  นั่นคือ  $x^n \leq y^n$   $\square$

**ทฤษฎีบท 35** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว แล้ว

$A_n(x)$  เป็นไอดีลของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์.** ให้  $y \in X$  และ  $a \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * a = 1$

$$\begin{aligned} \text{พิจารณา } x^n * (y * a) &= y * (x^n * a) \\ &= y * 1 \\ &= 1 \end{aligned}$$

จะได้ว่า  $y * a \in A_n(x)$  ดังนั้น (I1) เป็นจริง

ให้  $y \in X$  และ  $a, b \in A_n(x)$  จะได้ว่า  $x^n * a = 1$

และ  $x^n * b = 1$

พิจารณา

$$\begin{aligned} x^n * ((a * (b * y)) * y) &= (x^n * (a * (b * y))) * (x^n * y) \\ &= ((x^n * a) * (x^n * (b * y))) * (x^n * y) \\ &= (1 * (x^n * (b * y))) * (x^n * y) \\ &= (x^n * (b * y)) * (x^n * y) \\ &= ((x^n * b) * (x^n * y)) * (x^n * y) \\ &= (1 * (x^n * y)) * (x^n * y) \\ &= (x^n * y) * (x^n * y) \end{aligned}$$

$= 1$   
 จะได้ว่า  $(a * (b * y)) * y \in A_n(x)$  ดังนั้น (I2) เป็นจริง สามารถสรุปได้ว่า  $A_n(x)$  เป็นไอดีลของ  $X$   $\square$

**ทฤษฎีบท 36** ให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE และ  $F$  เป็นเซตย่อยที่ไม่เป็นเซตว่างของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x \in F$  จะได้ว่า  $F$  สอดคล้องกับเงื่อนไข (I3) และ (I4) ก็ต่อเมื่อ  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$

**พิสูจน์** ( $\Rightarrow$ ) สมมติให้ (I3) และ (I4) เป็นจริง จะแสดงว่า  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  เนื่องจาก (I3) จะได้ว่า  $1 \in F$  ให้  $x * y \in F$  และ  $x * (y * z) \in F$  โดย (BE3) จะได้ว่า

$1 * (x * y) = x * y \in F$  จาก  $1 * (x * y) \in F$  และ  $x \in F$  โดย (I4) และ (BE3) จะได้ว่า  $y = 1 * y \in F$  จาก  $x * (y * z) \in F$  และ  $y \in F$  โดย (I4) จะได้ว่า  $x * z \in F$

ดังนั้น  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$

( $\Leftarrow$ ) สมมติ  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  จะแสดงว่า (I3) และ (I4) เป็นจริง ให้  $y \in F$  และ  $x * (y * z) \in F$  จาก  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  โดยบทนิยาม 9 จะได้ว่า  $1 \in F$  ดังนั้น (I3) เป็นจริง จาก  $F$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  โดยประพจน์ 10 จะได้ว่า  $F$  เป็นตัวกรองของ  $X$  โดย (BE4) จะได้ว่า  $y * (x * z) = x * (y * z) \in F$  โดย (F2) จะได้ว่า  $x * z \in F$  ดังนั้น (I4) เป็นจริง  $\square$

**ทฤษฎีบท 37** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว แล้ว  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัว เนื่องจาก  $x^n * (y * 1) = 1$  ดังนั้น  $1 \in A_n(x, y)$

ให้  $a * (b * c) \in A_n(x, y)$  และ  $a * b \in A_n(x, y)$

จะได้ว่า  $x^n * (y * (a * (b * c))) = 1$  และ

$$x^n * (y * (a * b)) = 1$$

พิจารณา  $x^n * (y * (a * c))$

$$\begin{aligned} &= 1 * (x^n * (y * (a * c))) \\ &= (x^n * (y * (a * b))) * (x^n * (y * (a * c))) \\ &= x^n * ((y * (a * b)) * (y * (a * c))) \\ &= x^n * (y * ((a * b) * (a * c))) \\ &= x^n * (y * (a * (b * c))) \end{aligned}$$

$$= 1$$

จะได้ว่า  $a * c \in A_n(x, y)$

ดังนั้น  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$   $\square$

**บทแทรก 38** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัวแล้ว  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** โดยทฤษฎีบท 37 และประพจน์ 10 จะได้ว่า  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองของ  $X$   $\square$

**ทฤษฎีบท 39** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัวแล้ว  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** โดยบทแทรก 25 จะได้  $A_n(x) = A_n(x, 1)$  และทฤษฎีบท 37 ได้ว่า  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$  ดังนั้น  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขของ  $X$   $\square$

**บทแทรก 40** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE แจกแจงในตัวแล้ว  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** โดยทฤษฎีบท 39 และประพจน์ 10 จะได้ว่า  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองของ  $X$   $\square$

**ทฤษฎีบท 41** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สลับที่แจกแจงในตัว แล้ว  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขไขว้ของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x, y \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** สมมติให้  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สลับที่แจกแจงในตัว และให้  $x, y \in X$

โดยบทแทรก 15 จะได้ว่า  $X$  เป็นพีชคณิตมีเงื่อนไข นั่นคือ  $(x * y) * x = x$

ให้  $a * ((b * c) * b) \in A_n(x, y)$  และ  $a \in A_n(x, y)$

จะได้  $x^n * (y * (a * ((b * c) * b))) = 1$

และ  $x^n * (y * a) = 1$

พิจารณา  $x^n * (y * b) = 1 * (x^n * (y * b))$

$= [x^n * (y * (a * ((b * c) * b)))]$

$*(x^n * (y * b))$

$= [x^n * ((y * a) * (y * ((b * c) * b)))]$

$*(x^n * (y * b))$

$= [(x^n * (y * a)) * (x^n * (y * ((b * c) * b)))]$

$*(x^n * (y * b))$

$= [1 * (x^n * (y * b))] * (x^n * (y * b))$

$= (x^n * (y * b)) * (x^n * (y * b))$

$= 1$

ดังนั้น  $b \in A_n(x, y)$

นั่นคือ  $A_n(x, y)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขไขว้ของ  $X$   $\square$

**ทฤษฎีบท 42** ถ้า  $X$  เป็น พีชคณิต-BE สลับที่แจกแจงในตัว แล้ว  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขไขว้ของ  $X$  สำหรับทุก ๆ  $x \in X$  เมื่อ  $n \in N$

**พิสูจน์** เนื่องจาก  $A_n(x) = A_n(x, 1)$  และทฤษฎีบท 41 จะได้  $A_n(x)$  เป็นตัวกรองมีเงื่อนไขไขว้ของ  $X$   $\square$

## บรรณานุกรม

1. Kim HS, Kim YH. On BE-algebras. Sci Math Jpn online 2006;19:1299-302.
2. Ahn SS, So KS. On ideal and upper sets in BE-algebras. Sci Math Jpn online 2008;21:351-7.
3. Walendziak A. On commutative BE-algebras. Sci Math Jpn online 2008;21:585-8.
4. Ahn SS, So KS. On generalized upper sets in BE-algebras. Bull Korean Math Soc 2009;46(2):281-7.
5. Meng BL. On filter in BE-algebras. Sci Math Jpn online 2010;23:105-11.
6. Ahn SS, Kim YH, Ko JM. Filters in commutative BE-algebras. Commun Korean Math Soc 2012;27(2):

233-4

7. Saeid AB, Rezaei A, Borzooei RA. Some type of filters in BE-algebras. Math Comput Sci 2013;7: 341-52.
8. Rezaei A, Saeid AB, Borzooei RA. Relation between Hilbert algebras and BE-algebras. Appl Appl Math 2013;8(2):573-84.

## เกณฑ์ใหม่เพื่อแก้ไขปัญห้อัตราส่วน Signal-to-Noise ที่น้อยเกินไปและความน่าจะเป็นที่จะ Over/Underfitting สำหรับตัวแบบถดถอย

### New Criterion to Correct the Problems of Weak Signal-to-Noise Ratio and the Probability of Over/Underfitting for Regression Model

วารางคณา เรียนสุทธิ<sup>1\*</sup>

Warangkhan Riansut<sup>1\*</sup>

Received: 26 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

#### บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบเพื่อแก้ไขปัญห้อัตราส่วน signal-to-noise ที่น้อยเกินไป และความน่าจะเป็นที่จะ over/underfitting สำหรับตัวแบบถดถอย โดยการปรับ penalty term ของเกณฑ์การคัดเลือกตัวแบบที่เป็นที่รู้จัก (*AIC*, *BIC*, *KIC*) เรียกชื่อเกณฑ์ใหม่นี้ว่า adjusted penalty information criterion (*APIC*) เกณฑ์ที่จัดว่าเป็นเกณฑ์ที่ดีที่สุด เมื่อมีอัตราส่วน signal-to-noise ที่มาก มีความน่าจะเป็นที่จะ over/underfitting ต่ำ และมีความน่าจะเป็นที่จะคัดเลือกตัวแบบได้ถูกต้องสูง การพิสูจน์ทางทฤษฎี พบว่า ถ้าค่าของ  $\alpha$  เข้าใกล้อนันต์ ความน่าจะเป็นที่จะ overfitting จะเข้าใกล้ 0 และอัตราส่วน signal-to-noise จะมีแนวโน้มมาก แต่ความน่าจะเป็นที่จะ underfitting จะเข้าใกล้ 1 ผลการจำลองข้อมูล พบว่า เมื่อตัวแบบสามารถระบุได้ยาก การแจกแจงของตัวแปรอิสระ คือ การแจกแจงปกติหรือการแจกแจงเอกรูป ค่าที่เหมาะสมของ  $\sigma^2$  ควรมีค่าน้อย แต่สำหรับการแจกแจงของตัวแปรอิสระ คือ การแจกแจงปกติ ขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยถึงปานกลาง  $\alpha$  ควรมีค่าปานกลาง ถ้าตัวแบบสามารถระบุได้ง่าย การแจกแจงของตัวแปรอิสระ คือ การแจกแจงปกติ และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยถึงปานกลาง  $\alpha$  ควรมีค่ามาก เมื่อความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น  $\alpha$  ควรมีค่าปานกลาง ถ้าการแจกแจงของตัวแปรอิสระเปลี่ยนเป็นการแจกแจงเอกรูป และความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยถึงปานกลาง  $\alpha$  ควรมีค่าปานกลาง นอกเหนือจากนี้  $\alpha$  ควรมีค่าน้อย ถ้าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อความถูกต้องของ *APIC* ลดลง แต่เมื่อขนาดตัวอย่างเพิ่มขึ้น ความถูกต้องของ *APIC* จะเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ:** Kullback's Directed Divergence Kullback's Symmetric Divergence การคัดเลือกตัวแบบ ตัวแบบถดถอย

#### Abstract

This article proposed a model selection criterion in order to correct the weak signal-to-noise ratio and to reduce the probability of over/underfitting for regression model by adjusting the penalty term of the well-known model selection criteria (*AIC*, *BIC*, *KIC*), called adjusted penalty information criterion (*APIC*). Criterion is classified to be the best when it has the strong signal-to-noise ratio, lowest probability of over/underfitting and maximum probability of correct order being selected. The theoretical results show that, if the value of  $\alpha$  tends to infinity, the probability of overfitting tends to zero and the signal-to-noise ratio tends to strong, but the probability of underfitting tends to one. The simulation results show that, when the true model is difficult to identify, distributions of independent variables are normal or uniform, the appropriate  $\alpha$  is small. But for the independent variables are normal distributed, sample size increases and variances of error terms are small to moderate,  $\alpha$  should be moderate. If the true model is easily to identify,

<sup>1</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93210

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Mathematics and Statistics, Thaksin University, Phatthalung, 93210.

\* Corresponding author: Tel 074-609-600ext2573, E-mail: warang27@gmail.com

distribution of independent variables is normal and variances of error terms are small to moderate, the appropriate  $\alpha$  is large. When the variance of error terms increases,  $\alpha$  should be moderate. If the distribution of independent variables changes to be uniform and variances of error terms are small to moderate,  $\alpha$  should be moderate, otherwise  $\alpha$  should be small. If the variance of error terms increases, the validity of *APIC* decreases, but when the sample size increases, the validity of *APIC* also increases.

**Keywords:** Kullback's directed divergence, Kullback's symmetric divergence, model selection, regression model

## Introduction

In the application of statistics, the statistical modeling is considered as a major task of study. Three statistical processes to guide a model, which has the parsimony, goodness-of-fit and generalizability properties, are the hypothesis testing of parameters, variable selection algorithms and model selection criterion. The model selection criterion is a popular tool for selecting the best model. The first model selection criterion to gain widespread acceptance was Akaike information criterion, *AIC*<sup>1-3</sup>. This serves as an asymptotically unbiased estimator of a variant of Kullback's directed divergence between the true model and a fitted approximating model. Other well-known criteria were subsequently introduced and studied such as, Bayesian information criterion, *BIC*<sup>4</sup> and Kullback information criterion, *KIC*<sup>5-6</sup>. *BIC* is an asymptotic approximation to a transformation of Bayesian posterior probability of a candidate model<sup>7</sup>. *KIC* is a symmetric measure, meaning that an alternate directed divergence may be obtained by reversing the roles of the two models in the definition of the measure<sup>5,8</sup>. Although *AIC* remains arguably the most widely used model selection criterion, *BIC* and *KIC* are popular competitors. In fact, *BIC* is often preferred over *AIC* by practitioners who find appeal in either its Bayesian justification or its tendency to choose more parsimonious models than *AIC*<sup>7</sup>. Likewise, *KIC* is a symmetric measure which combines the information in two related, though distinct measures; its functions as a gauge of model disparity that is arguably more sensitive than *AIC* that corresponds to only individual component<sup>5,8</sup>. However, *AIC*, *BIC* and *KIC* still have the problems of weak signal-to-noise ratios and high probabilities of overfitting when the sample size is not large enough which both

problems have an effect on the frequency of selection the correct model. With this motivation, the aim of this paper is to propose a model selection criterion to correct the weak signal-to-noise ratio and to reduce the probability of over/underfitting by adjusting the penalty term of the model selection criterion, called adjusted penalty information criterion, denoted by *APIC*. The proposed criterion performance is examined by the extensive simulation study relative to the well-known criteria, *AIC*, *BIC* and *KIC*, under the difference circumstances: sample sizes, orders of true model, regression coefficients, variances of error terms and distributions of independent variables<sup>9-12</sup>. The criterion is classified to be the best when it has the strong signal-to-noise ratio, has the lowest probability of over/underfitting and has the maximum probability of correct order being selected. The remainder of this paper is organized as follows. Adjusted Penalty Information Criterion (*APIC*) in order to correct the weak signal-to-noise ratio and to reduce the probability of over/underfitting is proposed in Section 2. In Section 3, we simulate 1,000 realizations of multiple regression models in order to examine the performance of *APIC* relative to *AIC*, *BIC* and *KIC*. Finally, Section 4 is the conclusions, discussion and further study.

## Materials and Methods

The true regression model to consider in this paper is in the form<sup>13</sup>

$$y = \mathbf{X}_0\boldsymbol{\beta}_0 + \boldsymbol{\varepsilon}_0, \quad (1)$$

and the candidate or approximating regression model is in the form

$$y = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \quad (2)$$

where  $Y$  is an  $n \times 1$  dependent random vector of observations,  $X_0$  and  $X$  are  $n \times p_0$  and  $n \times p$  matrices of independent variables with full-column rank, respectively,  $\beta_0$  and  $\beta$  are  $p_0 \times 1$  and  $p \times 1$  parameter vectors of regression coefficients, respectively,  $\epsilon_0$  and  $\epsilon$  are  $n \times 1$  error vectors with zero means and variance  $\sigma_0^2 \mathbf{I}_n$  and  $\sigma^2 \mathbf{I}_n$ , respectively. The maximum likelihood estimators of  $\beta$  and  $\sigma^2$  are, respectively,  $\hat{\beta} = (X'X)^{-1} X'Y$  and  $\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} (Y - X\hat{\beta})'(Y - X\hat{\beta})$ . For each data set, we can construct many fitted candidate models. Nevertheless, we cannot know which model is the best. Criterion for model selection is a way to solve this problem. *AIC*, *BIC* and *KIC* are three well-known criteria to consider in this paper. Many authors usually scale these criteria by  $1/n$  in order to express them as a rate per observation. The formulae for them are based on the following form,

$$APIC = \log(\hat{\sigma}^2) + \frac{\alpha(p+1)}{n}. \tag{3}$$

When the values of  $\alpha$  in (3) are equal to 2,  $\log(n)$  and 3, *APIC* becomes *AIC*<sup>1,2</sup>, *BIC*<sup>4</sup> and *KIC*<sup>5</sup>, respectively. In this paper, the methods used to compare which criterion is the best are the ratio of signal-to-noise, the probability of over/underfitting and the probability of correct order being selected. McQuarrie and Tsai<sup>14</sup> defined the signal-to-noise ratio as a measurement that is basically a ratio of the expectation to the standard deviation of the difference in criterion values for two models. The ratio tends to assess whether the penalty term is sufficiently strong in relation to the goodness of fit term. From the true model order  $p_0$  and a candidate model order  $p_0 + l$  where  $l > 0$ , the true model is considered better than a candidate model if  $APIC_{p_0} < APIC_{p_0+l}$ . Then the signal-to-noise ratio that the true model is selected compared to a candidate model is

$$\begin{aligned} \frac{signal}{noise} &= \frac{E[APIC_{p_0+l} - APIC_{p_0}]}{sd[APIC_{p_0+l} - APIC_{p_0}]} \\ &= \frac{E\left[\log\left(\frac{\hat{\sigma}_{p_0+l}^2}{\hat{\sigma}_{p_0}^2}\right) + \frac{\alpha l}{n}\right]}{sd\left[\log\left(\frac{\hat{\sigma}_{p_0+l}^2}{\hat{\sigma}_{p_0}^2}\right) + \frac{\alpha l}{n}\right]} \end{aligned} \tag{4}$$

In order to find the signal in (4), we apply the second-order of Taylor's series expansions as follows. Suppose  $X \sim \chi^2$ , expanding  $\log(X)$  about  $E(X) = p$ , we have

$$\log(X) \doteq p + (X-p)/p - (X-p)^2/2p^2$$

$$\text{and } E[\log(X)] \doteq p - 1/p. \tag{5}$$

Under the assumption of nested models;  $p \geq p_0$  and  $l > 0$ , we have

$$n(\hat{\sigma}_p^2 - \hat{\sigma}_{p+l}^2) \sim \sigma \chi_l, \quad n\hat{\sigma}_p^2 \sim \sigma \chi_{n-p} \quad \text{and} \quad \hat{\sigma}_p^2 - \hat{\sigma}_{p+l}^2 \text{ is independent of } \hat{\sigma}_{p+l}^2, \tag{6}$$

where  $\chi_k^2$  represents the chi-square distribution with  $k$  degrees of freedom.

Using the result of Taylor's series expansions in (5) and the assumptions in (6), we have

$$E[\log(n\hat{\sigma}_p^2)] \doteq \sigma + \log(n-p) - 1/(n-p). \tag{7}$$

From (7), the signal in (4) is approximated by

$$\begin{aligned} E[APIC_{p_0+l} - APIC_{p_0}] & \\ \doteq & \left(\frac{n-p_0-l}{n-p_0}\right) - \frac{l}{(n-p_0-l)(n-p_0)} + \frac{\alpha l}{n}. \end{aligned} \tag{8}$$

In order to find the noise in (4), we use the assumptions in (6), then we have

$$Q = \frac{n\hat{\sigma}_{p_0+l}^2}{n\hat{\sigma}_{p_0}^2} \sim \frac{\chi_{n-p-l}^2}{\chi_{n-p_0-l}^2} \chi_l^2, \tag{9}$$

the *Q*-statistic in (9) has the Beta distribution  $Q \sim \text{Beta}((n-p_0-l)/2, l/2)$ ,

and the log-distribution is

$$\begin{aligned} \log(Q) &= \log(n\hat{\sigma}_{p_0+l}^2/n\hat{\sigma}_{p_0}^2) \\ &\sim \text{Beta}((n-p_0-l)/2, l/2). \end{aligned} \tag{10}$$

Applying the first-order of Taylor's series expansions to  $\log(Q)$  in (10) about

$$E(Q) = \frac{(n-p_0-l)/2}{(n-p_0-l)/2 + l/2} = \frac{n-p_0-l}{n-p_0},$$

we have

$$\begin{aligned} \log(Q) &\doteq E[Q] + [Q - E(Q)]/E(Q) \\ &= \log\left(\frac{n-p_0-l}{n-p_0}\right) + \frac{n-p_0}{n-p_0-l} \left(Q - \frac{n-p_0-l}{n-p_0}\right). \end{aligned}$$

Hence

$$\begin{aligned} \text{var}[\log(Q)] &\doteq \binom{n-p_0}{n-p_0-l}^2 \\ &\times \left[ \frac{(n-p_0-l)/2 \cdot l/2}{((n-p_0-l)/2 + l/2)^2 ((n-p_0-l)/2 + l/2 + 1)} \right] \\ &= \frac{2l}{(n-p_0-l)(n-p_0+2)}. \end{aligned} \tag{11}$$

Combined the results in (8) and (11) to be the approximate signal-to-noise ratio in (4) as follows:

$$\begin{aligned} \frac{\text{signal}}{\text{noise}} &\doteq \frac{\sqrt{(n-p_0-l)(n-p_0+2)}}{\sqrt{2l}} \\ &\times \left[ \log\left(\frac{n-p_0-l}{n-p_0}\right) - \frac{l}{(n-p_0-l)(n-p_0)} + \frac{\alpha l}{n} \right]. \end{aligned} \tag{12}$$

In (12), the signal-to-noise ratio of APIC depends on the value of  $\alpha$  as mention earlier. When we replace the values of  $\alpha$  by 2,  $\log(n)$  and 3, we have the signal-to-noise ratios of AIC, BIC and KIC, respectively. If the value of  $\alpha$  tends to infinity under the same values of the sample size ( $n$ ), the order of true model ( $p_0$ ) and the additional variable ( $l$ ), APIC has a strong signal-to-noise ratio. The proof of the signal-to-noise ratio can be confirmed numerically in Table 1. The example of the calculation for the signal-to-noise ratio of APIC, for  $n = 15$ ,  $p_0 = 3$ ,  $l = 1$  and  $\alpha = 1$ , is as follows:

$$\frac{\text{signal}}{\text{noise}} \doteq \frac{\sqrt{(11+1)(14)}}{\sqrt{2}} \left[ \log\left(\frac{11}{12}\right) - \frac{1}{(11)(12)} + \frac{1}{15} \right] = -0.2450.$$

From Table 1 we found that when the sample size is small ( $n = 15$ ), KIC has a strong signal-to-noise ratio than BIC and AIC, respectively, because the value of  $\alpha$  in (3) from KIC is larger than BIC and AIC, respectively ( $3 > \log(15) > 2$ ). Whereas the sample size are moderate to large ( $n = 30, 100$ ), BIC has a strong signal-to-noise ratio than KIC and AIC, respectively, because

the value of  $\alpha$  in (3) from BIC is larger than KIC and AIC, respectively ( $\log(30)$  or  $\log(100) > 3 > 2$ ). Therefore, we can conclude that, APIC with a much more value of  $\alpha$ , make its signal-to-noise to be strong.

The probability of over/underfitting is the second method to compare which criterion is the best. Both overfitting and underfitting can lead to problems with the predictive abilities of a model. An underfitted model may have poor predictive ability due to a lack of detail in the model, while an overfitted model may be unstable in the sense that repeated samples from the same process can lead to widely differing predictions due to variability in the extraneous variables. The probability of overfitting is defined based on a model that has extra variables with more parameters than the optimal model<sup>15</sup>. The probability of APIC preferring the overfitted model by  $l$  extra variables is analyzed here by comparing the true model of order  $p_0$  to a more complex model or overfitted model of order  $p_0 + l, l > 0$ . Hence for finite  $n$ , the probability that APIC prefers the overfitted model is defined by

$$\begin{aligned} &P\{APIC_{p_0+l} < APIC_{p_0}\} \\ &= P\left\{ \log(\hat{\sigma}_{p_0+l}^2) + \frac{\alpha(p_0+l+1)}{n} < \log(\hat{\sigma}_{p_0}^2) + \frac{\alpha(p_0+1)}{n} \right\} \\ &= P\left\{ \log\left(\frac{\hat{\sigma}_{p_0}^2}{\hat{\sigma}_{p_0+l}^2}\right) > \frac{\alpha l}{n} \right\} = P\left\{ \frac{\hat{\sigma}_{p_0}^2}{\hat{\sigma}_{p_0+l}^2} > \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) \right\} \\ &= P\left\{ \frac{\hat{\sigma}_{p_0}^2 - \hat{\sigma}_{p_0+l}^2}{\hat{\sigma}_{p_0+l}^2} > \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1 \right\}. \end{aligned} \tag{13}$$

Using the assumptions in (6), the probability of overfitting by  $l$  extra variables for APIC in (13) becomes

$$\begin{aligned} &P\{APIC_{p_0+l} < APIC_{p_0}\} \\ &= P\left\{ \frac{\chi_l^2}{\chi_{n-p_0-l}^2} > \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1 \right\} \\ &= P\left\{ F_{l, n-p_0-l} > \frac{n-p_0-l}{l} \left[ \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1 \right] \right\}. \end{aligned} \tag{14}$$

In the opposite, the probability of underfitting is defined based on a model with too few variables compared to the optimal model<sup>15</sup>. It is defined by



**Table 1** Signal-to-noise ratio of APIC  $\alpha$  for different values of  $n$ ,  $p_0$  and  $l$ .

$n$	$p_0$	$l$	Criteria							
			APIC1	APIC2 (AIC)	APIClog( $n$ ) (BIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
15	3	1	-0.2450	0.3400	0.7542	0.9250	1.5100	2.0950	2.6800	3.2650
15	3	2	-0.3884	0.4004	0.9589	1.1892	1.9780	2.7668	3.5556	4.3444
15	3	3	-0.5291	0.3874	1.0364	1.3039	2.2204	3.1370	4.0535	4.9700
15	3	4	-0.6752	0.3225	1.0290	1.3203	2.3181	3.3159	4.3136	5.3114
15	5	1	-0.3660	0.1239	0.4708	0.6138	1.1037	1.5936	2.0835	2.5734
15	5	2	-0.5625	0.0907	0.5532	0.7439	1.3971	2.0503	2.7035	3.3567
$n$	$p_0$	$l$	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
15	3	1	3.8500	4.4350	5.0200	5.6050	6.1900	6.7750	7.3600	
15	3	2	5.1333	5.9221	6.7109	7.4997	8.2885	9.0773	9.8661	
15	3	3	5.8865	6.8030	7.7195	8.6360	9.5526	10.4691	11.3856	
15	3	4	6.3092	7.3070	8.3047	9.3025	10.3003	11.2981	12.2958	
15	5	1	3.0633	3.5532	4.0431	4.5330	5.0229	5.5128	6.0027	
15	5	2	4.0099	4.6631	5.3163	5.9695	6.6227	7.2759	7.9291	
$n$	$p_0$	$l$	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIClog( $n$ ) (BIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
30	3	1	-0.1132	0.5340	1.1812	1.4409	1.8284	2.4756	3.1229	3.7701
30	3	2	-0.1785	0.7190	1.6166	1.9767	2.5141	3.4116	4.3092	5.2067
30	3	3	-0.2414	0.8356	1.9127	2.3448	2.9897	4.0667	5.1438	6.2208
30	3	4	-0.3054	0.9120	2.1295	2.6179	3.3470	4.5644	5.7819	6.9994
30	5	1	-0.1648	0.4352	1.0352	1.2759	1.6352	2.2352	2.8352	3.4352
30	5	2	-0.2516	0.5791	1.4097	1.7430	2.2404	3.0710	3.9017	4.7324
$n$	$p_0$	$l$	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
30	3	1	4.4173	5.0645	5.7117	6.3589	7.0062	7.6534	8.3006	
30	3	2	6.1042	7.0017	7.8993	8.7968	9.6943	10.5918	11.4894	
30	3	3	7.2978	8.3749	9.4519	10.5289	11.6060	12.6830	13.7600	
30	3	4	8.2168	9.4343	10.6518	11.8692	13.0867	14.3041	15.5216	
30	5	1	4.0352	4.6352	5.2352	5.8352	6.4352	7.0352	7.6352	
30	5	2	5.5630	6.3937	7.2244	8.0550	8.8857	9.7163	10.5470	
$n$	$p_0$	$l$	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIClog( $n$ ) (BIC)	APIC5	APIC6	APIC7
100	3	1	-0.0324	0.6569	1.3463	2.0356	2.4528	2.7250	3.4143	4.1037
100	3	2	-0.0510	0.9188	1.8886	2.8584	3.4453	3.8282	4.7980	5.7678
100	3	3	-0.0687	1.1128	2.2942	3.4757	4.1907	4.6572	5.8387	7.0202
100	3	4	-0.0867	1.2703	2.6273	3.9843	4.8055	5.3413	6.6982	8.0552
100	5	1	-0.0469	0.6283	1.3035	1.9787	2.3874	2.6539	3.3292	4.0044
100	5	2	-0.0714	0.8784	1.8282	2.7780	3.3527	3.7277	4.6775	5.6273
$n$	$p_0$	$l$	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
100	3	1	4.7930	5.4824	6.1717	6.8611	7.5504	8.2398	8.9291	
100	3	2	6.7376	7.7074	8.6772	9.6470	10.6168	11.5866	12.5564	
100	3	3	8.2016	9.3831	10.5646	11.7461	12.9276	14.1091	15.2905	
100	3	4	9.4122	10.7692	12.1262	13.4831	14.8401	16.1971	17.5541	
100	5	1	4.6796	5.3548	6.0300	6.7052	7.3804	8.0556	8.7308	
100	5	2	6.5771	7.5269	8.4767	9.4265	10.3763	11.3261	12.2758	

$$\begin{aligned}
 &P\{APIC_{p_0-l} < APIC_{p_0}\} \\
 &= P\left\{\log\left(\hat{\sigma}_{p_0-l}^2\right) + \frac{\alpha(p_0-l+1)}{n} < \log\left(\hat{\sigma}_{p_0}^2\right) + \frac{\alpha(p_0+1)}{n}\right\} \\
 &= P\left\{\log\left(\frac{\hat{\sigma}_{p_0-l}^2}{\hat{\sigma}_{p_0}^2}\right) < \frac{\alpha l}{n}\right\} = P\left\{\frac{\hat{\sigma}_{p_0-l}^2}{\hat{\sigma}_{p_0}^2} < \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right)\right\} \\
 &= P\left\{\frac{\hat{\sigma}_{p_0-l}^2 - \hat{\sigma}_{p_0}^2}{\hat{\sigma}_{p_0}^2} < \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1\right\} \\
 &= P\left\{\frac{\chi_l^2}{\chi_{n-p_0}^2} < \exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1\right\} \\
 &= P\left\{F_{l, n-p_0} < \frac{n-p_0}{l} \left[\exp\left(\frac{\alpha l}{n}\right) - 1\right]\right\}. \tag{15}
 \end{aligned}$$

In (14) and (15), *APIC*'s probability of over/underfitting depends on the value of  $\alpha$  same as the signal-to-noise ratio. When we replace the values of  $\alpha$  by 2,  $\log(n)$  and 3, we have the probabilities of over/underfitting of *AIC*, *BIC* and *KIC*, respectively. If the value of  $\alpha$  tends to infinity under the same values of  $n$ ,  $p_0$  and  $l$ , *APIC* having the low probability of overfitting but it will be prone to underfitting. The proof of the probability of over/underfitting can be confirmed numerically in Table 2 and 3. The example of the calculation for the probability of overfitting by  $l$  extra variables of *APIC*, for  $n=15$ ,  $p_0=3$ ,  $l=1$  and  $\alpha=1$ , is as follows:

$$P\{APIC_{p_0+1} < APIC_{p_0}\} = P\{F_{1, 11} > 0.7583\} = 0.4025.$$

It means that *APIC* for  $\alpha=1$  would select the model whose order is higher by one order than true model with a probability of 0.4025. In the same manner, the probability of underfitting by  $l$  variables of *APIC* for this case is

$$P\{APIC_{p_0-1} < APIC_{p_0}\} = P\{F_{1, 12} < 0.8273\} = 0.6190.$$

It means that *APIC* for  $\alpha=1$  would select the model whose order is lower by one order than true model with a probability of 0.6190. The model selection criterion that has strong signal-to-noise ratio and lowest probability of over/underfitting is preferable. As a result, the main objective of this paper is to find the appropriate value of  $\alpha$ , by proving and verifying the result of study with simulation data, in order to make the strength of penalty function in the model selection criterion. Then, the performance of *APIC* is examined relative to the well-known criteria, *AIC*, *BIC* and *KIC*, under various circumstances.

From Table 2 and 3 we found that when the sample size is small ( $n = 15$ ), *KIC* has probability of overfitted less than *BIC* and *AIC*, respectively, in the opposite it has more probability of underfitted because the value of  $\alpha$  in (3) from *KIC* is larger than *BIC* and *AIC*, respectively ( $3 > \log(15) > 2$ ). Whereas the sample size are moderate to large ( $n = 30, 100$ ), *BIC* has probability of overfitted less than *KIC* and *AIC*, respectively, in the opposite it has more probability of underfitted because the value of  $\alpha$  in (3) from *BIC* is larger than *KIC* and *AIC*, respectively ( $\log(30)$  or  $\log(100) > 3 > 2$ ). Therefore, the conclusion is that, *APIC* with a much more value of  $\alpha$ , make its probability of overfitting to be smaller but make more probability of underfitting.

**Table 2** Probability of overfitting by  $l$  extra variables of  $APIC \alpha$  for different values of  $n$ ,  $p_0$  and  $l$ .

n	$p_0$	l	Criteria							
			APIC1	APIC2 (AIC)	APIClog(n) (BIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
15	3	1	0.4025	0.2363	0.1682	0.1469	0.0939	0.0611	0.0402	0.0266
15	3	2	0.5134	0.2636	0.1644	0.1353	0.0695	0.0357	0.0183	0.0094
15	3	3	0.5947	0.2857	0.1631	0.1287	0.0561	0.0240	0.0101	0.0042
15	3	4	0.6664	0.3143	0.1701	0.1305	0.0508	0.0190	0.0070	0.0025
15	5	1	0.4511	0.2865	0.2148	0.1917	0.1316	0.0918	0.0647	0.0460
15	5	2	0.5866	0.3442	0.2359	0.2019	0.1184	0.0695	0.0408	0.0239
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
15	3	1	0.0178	0.0119	0.0080	0.0054	0.0037	0.0025	0.0017	
15	3	2	0.0048	0.0025	0.0013	0.0007	0.0003	0.0002	0.0001	
15	3	3	0.0018	0.0007	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	
15	3	4	0.0009	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
15	5	1	0.0329	0.0236	0.0170	0.0123	0.0089	0.0065	0.0047	
15	5	2	0.0140	0.0082	0.0048	0.0028	0.0017	0.0010	0.0006	
n	$p_0$	l	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIClog(n) (BIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
30	3	1	0.3565	0.1922	0.1102	0.0890	0.0651	0.0392	0.0239	0.0147
30	3	2	0.4346	0.1889	0.0821	0.0588	0.0357	0.0155	0.0067	0.0029
30	3	3	0.4846	0.1795	0.0617	0.0397	0.0204	0.0066	0.0021	0.0007
30	3	4	0.5256	0.1720	0.0482	0.0282	0.0125	0.0031	0.0007	0.0002
30	5	1	0.3761	0.2106	0.1252	0.1026	0.0766	0.0478	0.0301	0.0192
30	5	2	0.4646	0.2158	0.1003	0.0737	0.0466	0.0216	0.0101	0.0047
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
30	3	1	0.0091	0.0057	0.0035	0.0022	0.0014	0.0009	0.0006	
30	3	2	0.0013	0.0006	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	
30	3	3	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
30	3	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
30	5	1	0.0123	0.0079	0.0051	0.0033	0.0022	0.0014	0.0009	
30	5	2	0.0022	0.0010	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	
n	$p_0$	l	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIClog(n) (BIC)	APIC5	APIC6	APIC7
100	3	1	0.3284	0.1670	0.0905	0.0506	0.0360	0.0289	0.0167	0.0097
100	3	2	0.3867	0.1496	0.0578	0.0224	0.0126	0.0087	0.0033	0.0013
100	3	3	0.4178	0.1288	0.0367	0.0100	0.0045	0.0027	0.0007	0.0002
100	3	4	0.4395	0.1109	0.0236	0.0046	0.0017	0.0009	0.0002	0.0000
100	5	1	0.3336	0.1715	0.0940	0.0531	0.0380	0.0306	0.0179	0.0105
100	5	2	0.3946	0.1557	0.0614	0.0242	0.0138	0.0096	0.0038	0.0015
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
100	3	1	0.0057	0.0034	0.0020	0.0012	0.0007	0.0004	0.0003	
100	3	2	0.0005	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
100	3	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
100	3	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
100	5	1	0.0062	0.0037	0.0022	0.0013	0.0008	0.0005	0.0003	
100	5	2	0.0006	0.0002	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

**Table 3** Probability of underfitting by  $l$  variables of APIC  $\alpha$  for different values of  $n$ ,  $p_0$  and  $l$ .

n	$p_0$	l	Criteria							
			APIC1	APIC2 (AIC)	APIClog(n) (BIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
15	3	1	0.6190	0.7847	0.8507	0.8709	0.9204	0.9500	0.9682	0.9796
15	3	2	0.5507	0.7981	0.8854	0.9093	0.9592	0.9817	0.9918	0.9963
15	3	3	0.5238	0.8272	0.9197	0.9418	0.9811	0.9940	0.9981	0.9994
15	3	4	0.5146	0.8581	0.9464	0.9646	0.9918	0.9982	0.9996	0.9999
15	5	1	0.5743	0.7401	0.8102	0.8324	0.8890	0.9253	0.9491	0.9651
15	5	2	0.4866	0.7364	0.8356	0.8647	0.9305	0.9643	0.9817	0.9906
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
15	3	1	0.9869	0.9915	0.9945	0.9964	0.9976	0.9984	0.9990	
15	3	2	0.9983	0.9993	0.9997	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	
15	3	3	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
15	3	4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
15	5	1	0.9759	0.9833	0.9883	0.9918	0.9943	0.9960	0.9972	
15	5	2	0.9952	0.9975	0.9987	0.9993	0.9997	0.9998	0.9999	
n	$p_0$	l	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIClog(n) (BIC)	APIC4	APIC5	APIC6	APIC7
30	3	1	0.6528	0.8163	0.8965	0.9170	0.9399	0.9645	0.9787	0.9871
30	3	2	0.5934	0.8347	0.9328	0.9532	0.9727	0.9889	0.9955	0.9982
30	3	3	0.5680	0.8612	0.9588	0.9750	0.9882	0.9967	0.9991	0.9998
30	3	4	0.5561	0.8863	0.9754	0.9870	0.9951	0.9991	0.9998	1.0000
30	5	1	0.6339	0.7988	0.8825	0.9045	0.9294	0.9567	0.9732	0.9832
30	5	2	0.5654	0.8111	0.9179	0.9412	0.9643	0.9845	0.9933	0.9971
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
30	3	1	0.9922	0.9952	0.9971	0.9982	0.9989	0.9993	0.9996	
30	3	2	0.9993	0.9997	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	
30	3	3	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
30	3	4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
30	5	1	0.9894	0.9933	0.9957	0.9973	0.9983	0.9989	0.9993	
30	5	2	0.9987	0.9994	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	
n	$p_0$	l	APIC1	APIC2 (AIC)	APIC3 (KIC)	APIC4	APIClog(n) (BIC)	APIC5	APIC6	APIC7
100	3	1	0.6741	0.8352	0.9111	0.9506	0.9650	0.9720	0.9839	0.9907
100	3	2	0.6209	0.8563	0.9455	0.9793	0.9885	0.9922	0.9970	0.9989
100	3	3	0.5967	0.8808	0.9676	0.9915	0.9963	0.9978	0.9995	0.9999
100	3	4	0.5830	0.9023	0.9808	0.9965	0.9988	0.9994	0.9999	1.0000
100	5	1	0.6690	0.8308	0.9078	0.9481	0.9630	0.9703	0.9827	0.9899
100	5	2	0.6133	0.8504	0.9422	0.9776	0.9874	0.9913	0.9967	0.9987
n	$p_0$	l	APIC8	APIC9	APIC10	APIC11	APIC12	APIC13	APIC14	
100	3	1	0.9945	0.9968	0.9981	0.9989	0.9993	0.9996	0.9998	
100	3	2	0.9996	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
100	3	3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
100	3	4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
100	5	1	0.9940	0.9965	0.9979	0.9987	0.9992	0.9995	0.9997	
100	5	2	0.9995	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	

## Simulation Study and Results

In addition to the proofs of signal-to-noise ratio in (12) and the probability of over/underfitting in (14) and (15), we use the simulation data to find the appropriate value of  $\alpha$  for APIC in (3). True multiple regression models in (1) are constructed as follows.

Model 1 (very weakly identifiable true model due to the small values of regression coefficients):

$y_1 = 1 + 0.5X_2 + 0.4X_3 + 0.3X_4 + 0.2X_5 + \varepsilon_1$ , the true order  $p_0 = 5$

Model 2 (weakly identifiable true model due to the small values of regression coefficients):

$y_2 = 1 + 0.5X_2 + 0.4X_3 + \varepsilon_2$ , the true order  $p_0 = 3$

Model 3 (strongly identifiable true model due to the large values of regression coefficients):

$y_3 = 1 + 2X_2 + 2X_3 + \varepsilon_3$ , the true order  $p_0 = 3$

Model 4 (very strongly identifiable true model due to the large values of regression coefficients):

$y_4 = 1 + 2X_2 + 2X_3 + 2X_4 + 2X_5 + \varepsilon_4$ , the true order  $p_0 = 5$

For each model, we consider 1,000 realizations for three levels of the sample sizes which are  $n = 15$  (small),  $n = 30$  (moderate) and  $n = 100$  (large). The error terms for all models are assumed to be  $N(0, \sigma_0^2)$  where  $\sigma_0^2$  in (1) is assumed equal to three levels: 0.25, 1, 9. Seven candidate variables,  $X_1$  to  $X_7$ , are stored in an  $n \times 7$  matrix  $\mathbf{X}$  of the candidate model in (2).  $X_1$  is given as a constant which equals 1, followed by six independent variables which have two distributions:  $N(0, 1)$  and  $U(a, b)$ . For the uniform distribution, we given

$$X_2 \sim U(5, 10), X_3 \sim U(10, 20), X_4 \sim U(7, 9), \\ X_5 \sim U(6, 11), X_6 \sim U(9, 19), X_7 \sim U(4, 8).$$

Candidate models include the columns of  $\mathbf{X}$  in a sequentially nested fashion; i.e., columns 1 to  $p$  define the design matrix for the candidate model with dimension  $p$ . Over 1,000 realizations, we apply APIC in (3) with the values of  $\alpha$  ranging from 1 to 14 on the datasets  $y$  of four models constructed. The probability of order selected by APIC is measure and used for examining the effects of weak or strong penalty function in the proposed criterion.

Findings are the following.

For the very weakly identifiable situation of true models with the true orders  $p_0 = 5$ , Model 1, the sample size is small ( $n = 15$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 2, 1 and 1, respectively with the probabilities of correct order being selected are 29.7%, 15.5% and 11.9%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for all three levels of true variances are 1 with the probabilities are reduced to be 13.2%, 11.3% and 10.6%.

For the weakly identifiable situation of true models with the true orders  $p_0 = 3$ , Model 2, the sample size is small ( $n = 15$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 4,  $\log n$  and 2, respectively with the probabilities of correct order being selected are 65.8%, 33.3% and 11.9%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for all three levels of true variances are 2 with the probabilities are reduced to be 17.8%, 12.6% and 13.6%.

For the strongly identifiable situation of true models with the true orders  $p_0 = 3$ , Model 3, the sample size is small ( $n = 15$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 14, 9 and 4, respectively with the probabilities of correct order being selected are 99.8%, 97.7% and 55.4%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 6, 4 and  $\log n$  with the probabilities are reduced to be 85.8%, 48.5% and 15.7%.

For the very strongly identifiable situation of true models with the true orders  $p_0 = 5$ , Model 4, the sample size is small ( $n = 15$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 13, 7 and  $\log n$ , respectively with the probabilities of correct order being selected are 98.5%, 91.6% and 46.6%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform,

the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 5, log n and 1 with the probabilities are reduced to be 78.2%, 42.3% and 14.8%.

For very weakly identifiable situation of true models with the true orders  $\alpha = 5$ , Model 1, the sample size is moderate ( $n = 30$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 3, 1 and 1, respectively with the probabilities of correct order being selected are 55%, 24.6% and 13.5%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for all three levels of true variances are 1 with the probabilities are reduced to be 17.5%, 13% and 13.3%.

For the weakly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 3$ , Model 2, the sample size is moderate ( $n = 30$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 5, 3 and 2, respectively with the probabilities of correct order being selected are 90.8%, 55.5% and 18.5%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for all three levels of true variances are 2 with the probabilities are reduced to be 29.2%, 16.6% and 11.8%.

For strongly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 3$ , Model 3, the sample size is moderate ( $n = 30$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 14, 11 and 5, respectively with the probabilities of correct order being selected are 100%, 99.9% and 85.5%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 10, 4 and 2 with the probabilities are reduced to be 98.8%, 75.9% and 23.2%.

For very strongly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 5$ , Model 4, the sample size is moderate ( $n = 30$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 14, 14 and 4, respectively with the probabilities of correct order being

selected are 100%, 100% and 79.7%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 8, 3 and 1 with the probabilities are reduced to be 98.6%, 72.3% and 22.3%.

For very weakly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 5$ , Model 1, the sample size is large ( $n = 100$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 5, 2 and 1, respectively with the probabilities of correct order being selected are 91.4%, 53.5% and 17.4%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for all three levels of true variances are 1 with the probabilities are reduced to be 31.3%, 18% and 11.7%.

For weakly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 3$ , Model 2, the sample size is large ( $n = 100$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 12, 5 and 2, respectively with the probabilities of correct order being selected are 100%, 92.9% and 33.9%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 3, 2 and 1 with the probabilities are reduced to be 63.5%, 28.7% and 12.5%.

For strongly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 3$ , Model 3, the sample size is large ( $n = 100$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 12, 13 and 9, respectively with the probabilities of correct order being selected are 100%, 100% and 99.3%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 14, 8 and 2 with the probabilities are reduced to be 100%, 99.3% and 50.6%.

For very strongly identifiable situation of true models with the true orders  $P_0 = 5$ , Model 4, the sample size is large ( $n = 100$ ) and the distribution of independent variable is normal, the appropriate values of  $\alpha$  when the

true variances  $\sigma_0^2 = 0.25, 1, 9$ , are 14, 10 and 10, respectively with the probabilities of correct order being selected are 99.9%, 99.9% and 99.5%. While, the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate values of  $\alpha$  for three levels of true variances are 13, 9 and 2 with the probabilities are reduced to be 100%, 99.3% and 49.2%.

From the results in 1. to 12. the conclusion is that, the weakly or very weakly identifiable situations of true models, Model 1 and Model 2, the true orders  $P_0 = 3, 5$  and the distribution of independent variable is normal, the appropriate  $\alpha$  is small. If sample size increases and variances of error terms are small ( $\sigma_0^2 = 0.25$ ) to moderate ( $\sigma_0^2 = 1$ ),  $\alpha$  should be moderate. For the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate  $\alpha$  is small, regardless the sample size or the variances of error terms. When the true model is very weakly identifiable, the appropriate  $\alpha$  should be smaller than the weakly identifiable situation. The strongly or very strongly identifiable situations of true models, Model 3 and Model 4, the true orders  $P_0 = 3, 5$  and the distribution of independent variable is normal, the appropriate  $\alpha$  is large. If the variance of error terms increases,  $\alpha$  should be moderate. For the distribution of independent variable is changed to be uniform, the appropriate  $\alpha$  is moderate. If the variance of error terms increases,  $\alpha$  should be small.

**Conclusions, Discussion and Future Works**

In this paper, we propose the model selection criterion, called Adjusted Penalty Information Criterion,

$$APIC = \log(\hat{\sigma}^2) + \alpha(p+1) / n,$$

when the values of  $\alpha$  are equal to 2,  $\log(n)$  and 3; *APIC* becomes *AIC*, *BIC* and *KIC* respectively. Each criterion has a different value due to its penalty function, the differences in strong or weak penalty affecting the probability of over/underfitting, including the problem of signal-to-noise ratio being weak. The theoretical results show that, when the value of  $\alpha$  tends to infinity, the probability of overfitting tends to zero and the signal-to-noise ratio tends to strong. However, the probability of underfitting tends to one. At the same time, the results of

simulation suggest that, the appropriate  $\alpha$  is small when true models are weakly or very weakly identifiable and distributions of independent variables are normal or uniform. But  $\alpha$  should be moderate, if distribution of independent variables is normal, sample size increases and variances of error terms are small to moderate. The appropriate  $\alpha$  is large, if the true model is strongly identifiable, distribution of independent variables is normal, and variance of error terms is small to moderate. But  $\alpha$  should be moderate, if the variance of error terms increases. When the distribution of independent variables changes to be uniform, the appropriate  $\alpha$  is moderate for the case of variance of error terms is small to moderate. But  $\alpha$  should be small, if the variance of error terms increases. All of these conclusions can be summarized in Table 4. The variance of error terms and sample size affects the validity of *APIC*. The variance of error terms increases, the validity of *APIC* decreases. Whereas the sample size increases, the validity of *APIC* also increases. In further work, we attempt to construct the model selection criteria to correct the weak signal-to-noise ratio and to reduce the probability of over/underfitting in the multi-variate regression and simultaneous equations models.

**Table 4** Appropriate value of  $\alpha$  in *APIC*.

Model	n	X~ Normal			X~ Uniform		
		$\sigma^2=0.25$	$\sigma^2=1$	$\sigma^2=9$	$\sigma^2=0.25$	$\sigma^2=1$	$\sigma^2=9$
Model 1, 2 Weakly	15	small			small		
	30	moderate		small	small		
	100	moderate		small	small		
Model 3, 4 Strongly	15	large		moderate	moderate		small
	30	large		moderate	moderate		small
	100	large		moderate	moderate		small

**Acknowledgements**

This project is financial supported by the Thailand Research Fund and Thaksin University under grant No. TRG5780219.

**References**

1. Akaike H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Information Theory.

- Akademia Kiado. Budapest; 1973. P. 267-281.
2. Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE T. Automat. Contr.* 1974; 19: 716-723.
  3. Bedrick EJ, Tsai CL. Model selection for multivariate regression in small samples. *Biometrics* 1994; 50: 226-231.
  4. Schwarz G. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* 1978; 6: 461-464.
  5. Cavanaugh JE. A large-sample model selection criterion based on Kullback's symmetric divergence. *Stat. Probabil. Lett.* 1999; 42: 333-343.
  6. Hafidi B, Mkhadri A. A corrected akaike criterion based on Kullback's symmetric divergence: applications in time series: multiple and multivariate regression. *Comput. Stat. Data. An.* 2006; 50: 1524-1550.
  7. Neath A, Cavanaugh JE. Regression and time series model selection using variants of the Schwarz information criterion. *Commun. Stat. Theory.* 1997; 26: 559-580.
  8. Cavanaugh JE. Criteria for LINEAR MODEL SELECTION BASED on Kullback's symmetric divergence. *Aust. NZ. J. Stat.* 2004; 46: 257-274.
  9. McQuarrie AD, Shumway R, Tsai CL. The model selection criterion  $AIC_u$ . *Stat. Probabil. Lett.* 1997; 34: 285-292.
  10. McQuarrie AD. A small-sample correction for the Schwarz SIC model selection criterion. *Stat. Probabil. Lett.* 1999; 44: 79-86.
  11. Mills JA, Prasad K. A comparison of model selection criteria. *Econometric Reviews.* 2007; 11: 201-234.
  12. Rahman MS, King ML. Improved model selection criterion. *Commun. Stat. Simulat.* 2007; 28: 51-71.
  13. Montgomery DC, Peck EA, Vining GG. Introduction to linear regression analysis. 4<sup>th</sup> ed. New York: Wiley; 2006.
  14. McQuarrie AD, Tsai CL. Regression and time series model selection. Singapore: World Scientific; 1998.
  15. Seghouane AK. Multivariate regression model selection from small samples using Kullback's symmetric divergence. *Signal Processing* 2006; 86: 2074-2084.



# การพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญญาณิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

## Prototype System Senior Project Online Development for Undergraduates by Cloud Computing

อังคณา จัตตามาศ<sup>1</sup>, อัชฌาพร กว่างสวาสดี<sup>1</sup>

Aungkana Jattamart<sup>1</sup>, Achaporn Kwangsawad<sup>1</sup>

Received: 17 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญญาณิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ และ 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อการพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญญาณิพนธ์ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ พัฒนาระบบปฏิบัติการสำหรับระบบคลาวด์ของไมโครซอฟท์คือ Microsoft Azure โดยพัฒนาเป็นตัวต้นแบบประเภทเลือกบางส่วน และวิเคราะห์ผลการพัฒนาระบบด้วยการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ และคณาจารย์ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ นำเสนอในรูปแบบของสถิติพื้นฐาน

ผลการศึกษาพบว่า 1) การพัฒนาตัวต้นแบบเมฆสามารถดำเนินการตรงตามขอบเขตที่กำหนด 2) ผลการประเมินแบบสอบถามส่วนของผู้เชี่ยวชาญ มีผลการประเมินสูงสุดด้านการออกแบบมีค่าเฉลี่ยที่ 4.50 อยู่ในระดับคุณภาพดี ผลการประเมินแบบสอบถามส่วนของผู้ใช้งานมีผลการประเมินสูงสุดด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.64 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก และผลการประเมินด้านประโยชน์ของการพัฒนาตัวต้นแบบนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้ 100% (สัดส่วน 62:0)

**คำสำคัญ:** ปริญญาณิพนธ์ พัฒนาตัวต้น แบบประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

### Abstract

This research describes a senior class project that aspires to 1) develop a prototype system for undergraduates that encourages online development of a cloud computing system 2) evaluate the users of the prototype system.. The technology was developed using the Cloud system called "Microsoft Azure". Analysis of the prototype system was done using a survey questionnaire submitted by a sample of undergraduate students and professors in the field of information technology and presented in the form of statistics. The results showed that: 1) the development of the Cloud system can perform exactly as required. 2) Ultimate design received the best score, with a 4.50 average for good quality. The results of the questionnaire showed that users had the highest usage rate averaged at 4.64, which reflects very good quality. An evaluation of the benefits of developing a master showed that the system could be easily used as a guide for other systems.

**Keywords:** Senior Project, Prototype System, Cloud Computing

<sup>1</sup> อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์วิทยาเขตวังไกลกังวล อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110 อีเมล: [aungkana.jat@rmutr.ac.th](mailto:aungkana.jat@rmutr.ac.th),

<sup>1</sup> Lecturer, Department of Business Information Technology, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Hua-Hin District, Prachuapkhirikhan, 77110, Thailand. E-mail: [aungkana.jat@rmutr.ac.th](mailto:aungkana.jat@rmutr.ac.th)

## บทนำ

พัฒนาการในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในองค์กรต่างๆ ได้รับความนิยมนับอย่างมา โดยเฉพาะการนำระบบสารสนเทศเข้ามาในการสนับสนุนกระบวนการจัดการเรียนการสอน การบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ หรือแม้กระทั่งการช่วยอำนวยความสะดวกในการเรียกดูข้อมูลต่างๆ ได้ในทันที ทำให้ผู้บริหารองค์กรสามารถนำสารสนเทศไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็ว หน่วยงานส่วนใหญ่จึงมีการนำระบบสารสนเทศเข้ามาช่วยในการดำเนินงานต่างๆ มากขึ้น เพื่อเป็นการตอบโต้ของการทำงานเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบัน จึงมีการนำระบบสารสนเทศและแอปพลิเคชันต่างๆ ไปใช้งานบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และพัฒนาจนเกิดแนวคิดการให้บริการโครงสร้างพื้นฐานแบบกลุ่ม หรือที่เรียกว่า การประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud Computing)<sup>1</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษาได้อธิบายว่า Cloud Computing คือ ความสามารถในการจัดระเบียบสิ่งต่างๆ ให้เป็นระบบที่ยืดหยุ่น โดยเฉพาะการบริหารจัดการและจัดเก็บข้อมูลมากมายหลากหลายประเภทให้เป็นระบบ ซึ่งช่วยให้การค้นหาและเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ทำได้เร็วและถูกต้องแม่นยำมากกว่าเดิม ด้วยความสามารถและประโยชน์อันมากมาย ถือได้ว่า Cloud Computing จะกลายเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญ และจะมีบทบาทอย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ<sup>2</sup> อีกทั้งบริการ Cloud Computing นี้มีบริการทั้งแบบเสียค่าใช้จ่ายและไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกเข้าใช้ระบบคอมพิวเตอร์หรือทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการเพื่อนำมาใช้ในการทำงานได้ โดยที่ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องซื้อ Hardware และ Software เองทั้งระบบ ไม่ต้องวางระบบเครือข่ายเอง ลดความรับผิดชอบในการดูแลระบบลง ผู้ใช้ทุกคนสามารถเข้าถึงระบบข้อมูลต่างๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต สามารถจัดการ บริหารทรัพยากรของระบบผ่านเครือข่าย และมีการแบ่งใช้ทรัพยากรร่วมกัน (shared services) ได้ด้วย และการจ่ายเงินเพื่อเช่าระบบจะคิดค่าบริการตามการใช้งานจริง ดังนั้นธุรกิจขนาดเล็กลงและขนาดกลาง รวมไปถึงสถาบันการศึกษาจึงหันมาใช้บริการ Cloud Computing ที่ทั้งช่วยลดต้นทุนและลดความยุ่งยากปัจจุบันการใช้เทคโนโลยี Cloud Computing ในสถาบันการศึกษาได้รับความนิยมและให้ความสนใจอย่างต่อเนื่อง และกลายเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนในเนื่องจากมีข้อดีในการเข้าถึงข้อมูลและใช้งานได้สะดวก<sup>3</sup>

ปัจจุบันสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจนั้นแบ่งออกเป็น 2 หลักสูตร คือ หลักสูตรปริญญาตรี 4 ปี และหลักสูตรปริญญาตรี 4 ปี ประเภทเทียบโอนรายวิชา ซึ่งนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ทั้ง 2 หลักสูตร ต้องจัดทำผลงานวิจัยหรือการทดลองที่นำเสนออย่างเป็นระบบบนพื้นฐานจากการค้นคว้าหรือวิจัยที่เรียกว่าปริญาานิพนธ์ ก่อนที่จะสำเร็จการศึกษา โดยในส่วนของงานวิจัยที่เรียกว่าปริญาานิพนธ์ของนักศึกษาในปัจจุบัน ไม่มีการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของระบบสารสนเทศ จึงเกิดปัญหาความไม่สะดวกในการค้นหาและเรียกใช้ข้อมูลของคณาจารย์และนักศึกษารุ่นหลัง เพราะการเก็บข้อมูลนั้นถูกเก็บในรูปแบบของเอกสารหรือแผ่นซีดีข้อมูลมีความเสี่ยงในการสูญหาย และส่งผลต่อความปลอดภัยของข้อมูลผลงานวิจัยหรือการทดลองที่ได้จัดทำ

จากปัญหาข้างต้นจึงเป็นเหตุจูงใจให้คณะผู้จัดทำมีแนวคิดในการพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญาานิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆขึ้น โดยจัดทำในรูปแบบของตัวต้นแบบฐานข้อมูลในการจัดเก็บเอกสารปริญาานิพนธ์ผ่านระบบ Cloud Computing

## วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญาานิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ
2. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อการพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสาร ปริญาานิพนธ์ด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ (Cloud-Computing) ในการติดตั้งโฮสเซอร์ฟเวอร์

พัฒนานระบบปฏิบัติการสำหรับการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆของไมโครซอฟท์ชื่อ Microsoft Azure พัฒนาตัวต้นแบบด้วยภาษา PHP

Graphic User Interface (GUI) พัฒนาเป็นตัวต้นแบบประเภทเลือกบางส่วน (Select Features Prototype)

วิธีการดำเนินการวิจัย

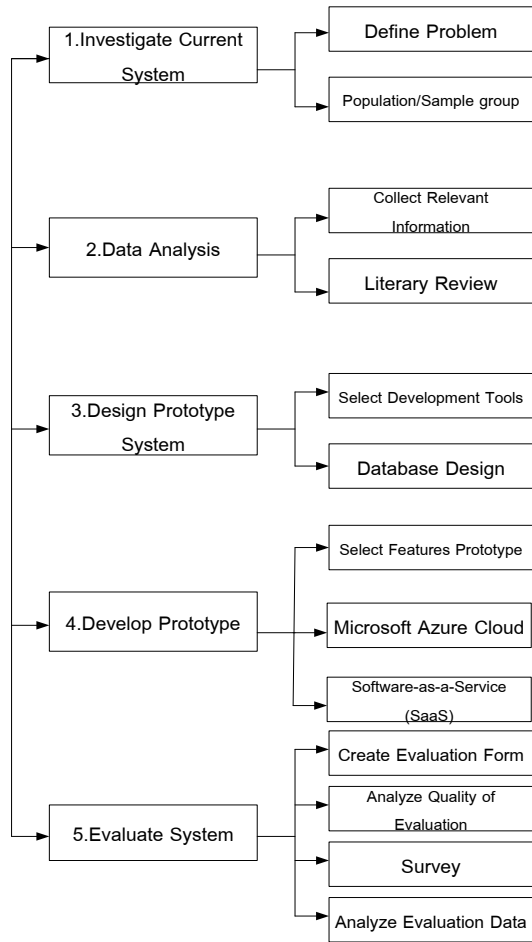


Figure 1 The research process

จาก Figure 1 วิธีการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนหลักดังนี้

1. ตรวจสอบระบบงานเดิม (Investigate Current System):

1.1 กำหนดปัญหา: ศึกษาถึงขั้นตอนการทำงาน ทำให้พบปัญหาในกระบวนการจัดเก็บเอกสารดังนี้

- กระบวนการจัดเก็บเอกสารในปัจจุบัน ไม่มีการบันทึกข้อมูลในรูปแบบของระบบสารสนเทศ
- เกิดปัญหาความไม่สะดวกในการค้นหา และเรียกใช้ข้อมูลของคณาจารย์และนักศึกษารุ่นถัดไปที่มีความสนใจศึกษาค้นคว้าต่อ
- เกิดความเสี่ยงในการสูญหาย ทำให้ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของข้อมูลผลงานวิจัยหรือการทดลอง

1.2 กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง: ประชากรเป็นนักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ

ทางธุรกิจ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ชั้นปีที่ 4 ที่กำลังศึกษาอยู่ในปีการศึกษา 2558 และคณาจารย์ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจทั้งหมด 73 คนและดำเนินการสุ่มตัวอย่างกลุ่มตัวอย่างแบบง่ายตามสัดส่วนของประชากรโดยใช้สูตรคำนวณของ Yamane (1967)

2. วิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis): สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อยๆ ได้ดังนี้

เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง:

- เอกสารที่เกี่ยวข้องในระบบ เช่น ข้อมูลเอกสาร ที่ต้องมีการบันทึกลงในระบบว่าประกอบด้วยเอกสาร หัวข้อใด หรือไฟล์โปรแกรมที่เกี่ยวข้องในการจัดทำปริญญาบัตรของนักศึกษา เพื่อนำมาใช้ประกอบขั้นตอนการออกแบบฐานข้อมูลต่อไป

- รวบรวมความต้องการจากผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นคณาจารย์ที่มีความรู้ และประสบการณ์ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบทบทวนวรรณกรรม:

ศึกษารูปแบบของเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ ซึ่งประกอบด้วย 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) Private Cloud 2) Public Cloud และ 3) Hybrid Cloud โดยในการศึกษานี้จะใช้รูปแบบ Public Cloud ในการพัฒนาตัวต้นแบบงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ออนไลน์ กรณีศึกษา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต<sup>4</sup> พบว่า การพัฒนาระบบช่วยเพิ่มทางเลือกในการจัดการและการใช้บริการระบบได้ทุกที่ทุกเวลาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และมีการเก็บสถิติข้อมูลเกี่ยวกับวิทยานิพนธ์ในระบบ

งานวิจัยเรื่อง Developing the Environment of Information Technology Education using Cloud Computing Infrastructure<sup>5</sup> พบว่า การนำเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆมาใช้กับด้านการศึกษาก่อให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนรู้กับผู้เรียนมากกว่าการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศแบบดั้งเดิม

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการความรู้ผ่านเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ<sup>6</sup> พบว่า ควรมีการปรับปรุงประยุกต์รูปแบบให้เหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพความพร้อมของแต่ละหน่วยงานก่อนนำระบบไปใช้งาน และควรมีการพัฒนาและวิจัยในอนาคตสำหรับนำไปใช้กับกลุ่มผู้ใช้งานอื่น อาทิ หน่วยงานภาครัฐ และรัฐวิสาหกิจ

3. ออกแบบฐานข้อมูล (Design Prototype System)

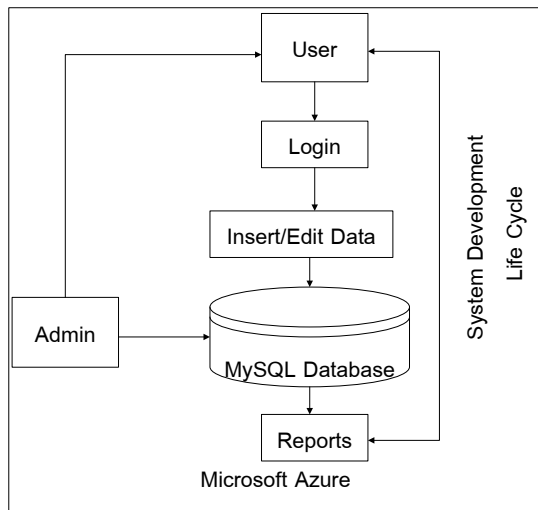


Figure 2 Database Design

จาก Figure 2 แสดงการออกแบบฐานข้อมูลของระบบโดยข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้งานและผู้ดูแลระบบจะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล MySQL และสามารถเรียกดูรายงานต่างๆ ของระบบผ่านการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่มีการออกแบบตามขั้นตอนของวงจรการพัฒนาาระบบสารสนเทศ

4. พัฒนาตัวต้นแบบ (Develop Prototype)

4.1 Select Features Prototype: ใช้การพัฒนาตัวต้นแบบประเภทแบบที่เลือกบางส่วน (Select Features Prototype) โดยพัฒนาระบบในส่วนของการใช้งานหลักของจัดเก็บเอกสารปริญญาานิพนธ์ออนไลน์

4.2 Microsoft Azure Cloud: ใช้ Microsoft Azure Cloud แบบSoftware-as-a-Service (SaaS) ซึ่งคิดค่าบริการตามลักษณะการใช้งาน (Pay as you go)<sup>2</sup> โดยใช้งานผ่านหน้าจอบริการ Management Portal เพื่อจัดการเมนูต่างๆ บน Microsoft Azure ดังแสดงใน Figure 3

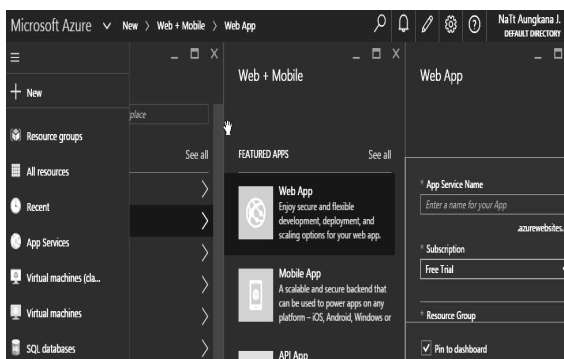


Figure 3 Management Portal of Microsoft Azure

5. ประเมินผลการใช้งานระบบ (Evaluate System)

5.1 สร้างแบบประเมิน: กำหนดเกณฑ์ให้ผู้ตอบแบบสอบถามเพื่อควบคุมการตอบแบบเรตติ้ง สเกล (Rating Scale) 5 Scales โดยแบบประเมินจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดที่ 1 แบบประเมินสำหรับผู้เชี่ยวชาญ และชุดที่ 2 แบบประเมินสำหรับผู้ใช้งานระบบ

5.2 วิเคราะห์คุณภาพแบบประเมิน: วัดความน่าเชื่อถือของแบบประเมิน โดยใช้สัมประสิทธิ์แอลฟา (alpha-coefficient) ของครอนบาค (Cronbach)

5.3 ผู้ตอบแบบสอบถามจำนวน 62 คน: ใช้วิธีการสำรวจโดยใช้แบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างนักศึกษาปัจจุบันระดับปริญญาตรีสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจและคณาจารย์ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจ จำนวน 62 คน

5.4 วิเคราะห์ผลการประเมิน: กำหนดมาตราส่วนการประมาณค่าแบบ Likert 5 ระดับ<sup>7</sup> และวิเคราะห์แบบประเมินด้วยโปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences)

ผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริญญาานิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆแสดงผลการวิจัยได้ดังนี้

ผลการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานระบบ: แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานระบบ เมื่อต้องการเข้าสู่ระบบผ่าน URL ดังแสดงใน Figure 4



Figure 4 Home page

จาก Figure 4 อธิบายได้ว่านักศึกษาจะเข้าใช้งานระบบได้ ต้องทำการตรวจสอบข้อมูลรหัสนักศึกษาและชื่อ นักศึกษาว่ามีการบันทึกข้อมูลของนักศึกษาแล้วหรือไม่ หากยังไม่จะมีจะต้องดำเนินการติดต่อผู้ดูแลระบบ ในกรณีนี้ที่ตรวจ

สอบว่ามีข้อมูลบันทึกลงในระบบเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการกำหนดรหัสผ่านเพื่อเข้าใช้งานระบบของตนเอง โดยจะต้องกรอกอักขระระหว่าง 4-12 ตัวอักษร

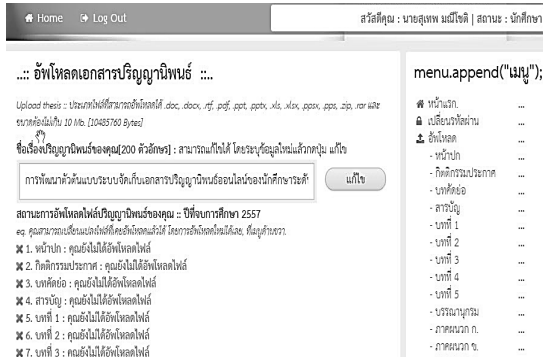


Figure 5 Upload files

จาก Figure 5 อธิบายได้ว่านักศึกษาต้องระบุปีการศึกษาที่จบการศึกษาและชื่อปริญญาโทให้เรียบร้อยแล้วจึงสามารถอัปโหลดไฟล์เอกสารปริญญาโทได้ตามหัวข้อในแต่ละไฟล์เอกสาร

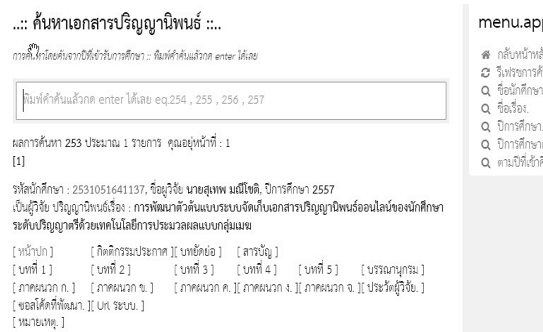


Figure 6 Document Search Systems

จาก Figure 6 อธิบายได้ว่าการแสดงผลการค้นหาเอกสารปริญญาโทนั้น นักศึกษาสามารถค้นหาเอกสารปริญญาโทที่มีการบันทึกไว้ในระบบทั้งหมดได้ โดยสามารถค้นหาผ่านรูปแบบดังนี้ 1) ค้นหาตามชื่อนักศึกษา 2) ค้นหาตามชื่อปริญญาโท 3) ค้นหาตามรหัสนักศึกษา

ผลการออกแบบส่วนติดต่อผู้ดูแลระบบ: แสดงส่วนติดต่อผู้ดูแลระบบ โดยจะใช้เมนูเข้าสู่ระบบในหน้าจอเดียวกันกับของนักศึกษา ซึ่งระบบจะทำการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าใช้งานผ่านชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านที่ผู้ใช้กรอกลงฟอร์มผู้ดูแลระบบต้องเพิ่มข้อมูลนักศึกษาที่ลงทะเบียนเรียนรายวิชาโครงการเทคโนโลยีสารสนเทศทางธุรกิจลงในฐานข้อมูล โดยกำหนดให้เพิ่มข้อมูลด้วยการอัปโหลดไฟล์นามสกุล xls, xlsx หรือ text ที่มีโครงสร้างข้อมูลคือ คอลัมน์ที่ 1= รหัสนักศึกษา, คอลัมน์ที่ 2 = ชื่อนักศึกษา และคอลัมน์ที่ 3= ห้องดังแสดงใน Figure 7

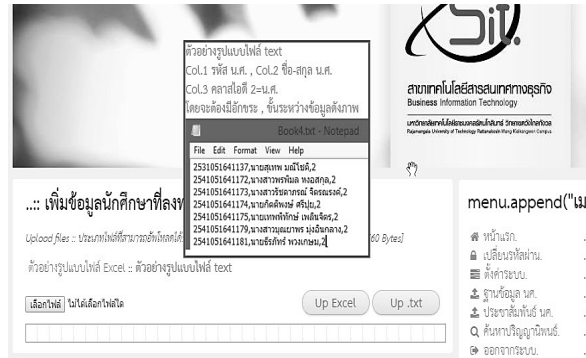


Figure 7 Student Enrollment

ในส่วนของเมนูเพิ่มข่าวหรือเอกสารประชาสัมพันธ์แก่นักศึกษา ผู้ดูแลระบบสามารถอัปโหลดเอกสารประชาสัมพันธ์ต่างๆ เพื่อแจ้งนักศึกษาได้ โดยระบบรองรับไฟล์ที่อัปโหลดด้วยนามสกุล .doc, .docx, .rtf, .pdf, .ppt, .pptx, .xls, .xlsx, .pps, .pps, .zip, .rar ที่มีขนาดไม่เกิน 10 Mb ดังแสดงใน Figure 8



Figure 8 News Announcement

### 3. ผลการประเมินการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสอบถามมีรายละเอียดดังนี้

- ส่วนของผู้เชี่ยวชาญ: สรุปค่าเฉลี่ยด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 3.97 อยู่ในระดับคุณภาพดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.13 ซึ่งรายการประเมินความถูกต้องของการประมวลผลรายงานมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.25 สรุปค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยที่ 4.50 อยู่ในระดับคุณภาพดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.29 ซึ่งรายการประเมินสีพื้นหลังและสีตัวอักษรมีความเหมาะสมต่อการอ่านมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 5.00 สรุปผลการประเมินด้านความปลอดภัยของระบบของผู้เชี่ยวชาญมีค่าเฉลี่ยที่ 3.83 อยู่ในระดับคุณภาพดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.29 ซึ่งรายการประเมินการกำหนดรหัสผู้ใช้ และรหัสผ่านในการตรวจสอบผู้เข้าใช้ระบบ และรายการประเมินการตรวจสอบสิทธิ์ก่อนการใช้งานของผู้ใช้ระบบในระดับต่างๆมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.00 และผลการประเมินด้านประโยชน์ของการพัฒนาตัวต้นแบบนี้

สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้ 100% (สัดส่วน 4:0)

- ส่วนของผู้ใช้งาน: สรุปค่าเฉลี่ยด้านการใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.64 อยู่ในระดับคุณภาพดีมาก ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 ซึ่งรายการประเมินความสะดวกในการเข้าใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.79 สรุปค่าเฉลี่ยด้านการออกแบบของผู้ใช้งานมีค่าเฉลี่ยที่ 4.56 อยู่ในระดับคุณภาพดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.50 ซึ่งรายการประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมายมีค่าเฉลี่ยสูงสุดที่ 4.72 และผลการประเมินด้านประโยชน์ของการพัฒนาตัวต้นแบบนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอื่นได้ 100% (สัดส่วน 62:0)

ผลการพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริณญาณิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ สามารถดำเนินการแล้วเสร็จตรงตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของการศึกษา

### สรุปผลการวิจัย

เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน สามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยอุปกรณ์ที่หลากหลาย สามารถจัดการบริหารทรัพยากรของระบบผ่านเครือข่าย และมีการแบ่งใช้ทรัพยากรร่วมกันภายใต้ความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของเทคโนโลยี ทำให้เทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆได้รับความสนใจในการนำมาใช้กับสถาบันการศึกษาอย่างต่อเนื่อง ด้วยลักษณะเด่นในการทำงานร่วมกันและการจัดเก็บข้อมูลในปริมาณมาก อีกทั้งยังสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลการเรียนรู้ได้มากขึ้น ส่งผลให้คุณภาพการเรียนรู้ของผู้เรียนพัฒนาขึ้น และในด้านของสถาบันศึกษานั้นการนำเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆมาใช้ ช่วยให้ลดต้นทุนของการใช้ทรัพยากรและอุปกรณ์พื้นฐาน แต่ในส่วนของ การนำเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆมาใช้ งาน ควรมีการศึกษาถึงลักษณะของการใช้งาน เพื่อประกอบการพิจารณาในการเลือกประเภทของการใช้งานที่ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสถาบันการศึกษา

### อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาตัวต้นแบบระบบจัดเก็บเอกสารปริณญาณิพนธ์ออนไลน์ของนักศึกษาระดับปริญญาตรีด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆนี้ ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ดังนี้

- เพื่ออำนวยความสะดวกในการค้นหาและเรียกใช้ข้อมูลของคณาจารย์และนักศึกษารุ่นหลัง ลดข้อจำกัดในการเข้าถึงข้อมูลในสภาพแวดล้อมของการใช้งานที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกที่ทุกเวลา อีกทั้งยังสามารถแก้ปัญหาเสี่ยงในการสูญหายของเอกสารหรือแผ่นซีดีข้อมูลได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ออนไลน์ กรณีศึกษา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต<sup>4</sup> ที่สามารถนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ และช่วยอำนวยความสะดวกในการสืบค้นข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ครบถ้วน และรวดเร็ว

- เพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับข้อมูล ที่เกี่ยวข้อง โดยมีการจัดเก็บในรูปแบบของฐานข้อมูลที่มีการจำกัดสิทธิ์การเข้าใช้งานระบบ ซึ่งนำเทคโนโลยี Cloud Computing ในการสร้างความปลอดภัย (Security) เพราะโปรแกรมและไฟล์ทั้งหมดจะถูกเก็บอยู่ใน Supercomputer ส่วนกลางที่มีขนาดใหญ่หรือจัดเก็บอยู่ใน Network ความเร็วสูง

- เพื่อช่วยลดต้นทุนของสถาบันการศึกษาจากการนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาใช้งาน ทั้งในส่วนของโครงสร้างขั้นตอนการใช้ระบบเครือข่ายสารสนเทศ การออกแบบฐานข้อมูล หรือการเช่า Server เพื่อฝากไฟล์ข้อมูล ซึ่งส่งผลต่อภาระค่าใช้จ่ายที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น<sup>5</sup> เนื่องจากการนำเทคโนโลยี Cloud Computing แบบ Software-as-a-Service (SaaS) มาใช้งานจะคิดค่าบริการตามลักษณะการใช้งาน (Pay as you go) ที่ผู้ใช้มีการใช้งานจริง<sup>6</sup>

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนทุนงานวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2559

### เอกสารอ้างอิง

1. อติเรก เยาววิวงศ์. การจัดเก็บข้อมูลสารสนเทศและการประยุกต์ใช้บนเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ. วารสารการอาชีวและเทคนิคศึกษา. 2556;3(6):25-33.
2. ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา. Cloud Computing การประยุกต์ใช้ในการศึกษา. ภาควิชาเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
3. Sadaf Ashtari&Ali Eydgahi. Student perceptions of cloud applications effectiveness in higher education. Journal of Computational Science.2017; p:166-173.

4. ศิริพันธ์ จันทร์ทอง และ ศิริวรรณ วาสุกกรี. การพัฒนาระบบฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ออนไลน์ กรณีศึกษา คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยรังสิต; 2557.
5. Wu, C. F., & Huang, L. P. Developing the Environment of Information Technology Education using Cloud Computing Infrastructure. *American Journal of Applied Sciences*.2011; 8(9): p: 864-871.
6. อาณัติ รัตนธิรกุล. การพัฒนารูปแบบการบริหารจัดการความรู้ผ่านเทคโนโลยีการประมวลผลแบบกลุ่มเมฆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษามหาวิทยาลัยมหาวชิราวุฒีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2556.
7. Likert, Rensis. The Method of Constructing and Attitude Scale. Reading in Attitude Theory and Measurement. Fishbein, Martin, Ed. New York: Wiley & Son. 1967;p:90-95.
8. Sultan Nabil. Cloud computing for education: A new dawn?. *International Journal of Information Management*. 2010; 30(2): 109-116.
9. Fox Armando. Cloud computing in education. Berkeley iNews. Available from: <http://inews.berkeley.edu/articles/spring2009/cloud-computing>. Accessed June 3, 2016.

# การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี

## The Use of Data Mining in Selecting Areas of Study for Further Education Opportunity

อนันต์ ปิณะเต<sup>1</sup>

Anan Pinate<sup>1</sup>

Received: 18 January 2017 ; Accepted: 6 March 2017

### บทคัดย่อ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีกระบวนการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ซึ่งในแต่ละปีการศึกษาจะมีผู้สมัครเป็นจำนวนมาก ปัญหาที่สำคัญของการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษา คือการมีผู้สมัครจำนวนไม่น้อยที่ไม่มีสิทธิ์เข้าศึกษาในสาขาวิชาที่สมัคร และมีบางสาขาวิชาที่มีผู้สมัครจำนวนน้อยกว่าแผนการรับเข้าศึกษา จากข้อมูลการรับเข้าศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีบางสาขาวิชาที่มีผู้สมัครเป็นจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนแผนการรับเข้าศึกษาที่มีจำนวนน้อยซึ่งผู้สมัครส่วนใหญ่จะเลือกสมัครสาขาวิชาตามความชอบ ความรู้สึกของตนเอง โดยไม่ได้คำนึงถึงผลคะแนนของตนซึ่งเมื่อพิจารณาเข้าศึกษาตามผลคะแนนทำให้มีผู้สมัครจำนวนมากที่ไม่ผ่านคัดเลือกเนื่องจากมีผลคะแนนที่ต่ำเมื่อแข่งขันกับผู้สมัครที่มีคะแนนสูงกว่าในสาขาวิชาเดียวกัน งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayes) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) และนำแบบจำลองที่ได้ไปพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีจากการวิจัยมีจำนวน 69 สาขาวิชาที่มีค่าความถูกต้องสูงสุดจากการทดลองด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ และมีจำนวน 1 สาขาวิชาที่มีค่าความถูกต้องสูงสุดด้วยวิธีการเรียนรู้แบบอย่างง่าย

**คำสำคัญ:** เหมืองข้อมูล เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ เทคนิคการเรียนรู้แบบอย่างง่าย

### Abstract

MahaSarakhm University has an application procedure in place that helps students select subjects to study in the bachelor degree program; there are a large number of applicants each semester. The main problem with the application procedure is the number of unqualified students recommended to study in the applied fields: some fields have fewer applicants than shown in the admission plan. According to the admission data, there are a lot of applicants in some fields when compared with fewer in the admission plan's proportion. Most applicants apply for fields they are fond of regardless of their admission scores. As a result, many applicants were not selected are using their score for placement. This research has shown how to use the Data Mining via the Decision Tree and Naïve Bayes techniques in order to compare the efficiency model accuracy and develop the model as a decision support system that selects study field opportunities in the bachelor's degree program. As to the research, there were 69 fields of study with the highest accuracy from the Decision Tree technique and there was 1 field of study with the highest accuracy from the Naïve Bayes technique.

**Keywords:** Data Mining, Decision tree Technique, Naïve bayes Technique

<sup>1</sup> นักวิชาการคอมพิวเตอร์ชำนาญการ กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Computer Technical Officer Professional Level, Division of Academic Affair, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm44150 Thailand



## บทนำ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ที่มีการจัดการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี และบัณฑิตศึกษากองบริการการศึกษา ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ดำเนินการรับสมัครร่วมไปถึงการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี<sup>1</sup> และยังมีหน้าที่ในการแนะแนวการศึกษาต่อร่วมไปถึงการประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งการประชาสัมพันธ์และการให้ข้อมูลประกอบการตัดสินใจแก่ผู้สมัครในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาที่ผู้สมัครสนใจเข้าศึกษาถือเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการแนะแนวการศึกษาต่อ

จากปัญหาของการรับสมัครเพื่อคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัญหาที่สำคัญที่สุด<sup>1</sup> คือจำนวนผู้มีสิทธิ์เข้าศึกษาไม่เป็นไปตามแผนการรับเข้าศึกษาในบางสาขาวิชา ทำให้บางสาขาวิชาไม่มีผู้มีสิทธิ์เข้าศึกษาน้อยกว่าแผนการรับเข้าศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลการรับสมัครของกองบริการการศึกษา พบว่าในบางสาขาวิชา มีการกระจุกตัวมากในจำนวนของผู้สมัคร เช่น การสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ระบบรับตรง ปีการศึกษา 2559 สาขาวิชาพย.บ.พยาบาลศาสตร์ คณะพยาบาลศาสตร์ มีแผนการรับเข้าศึกษาจำนวน 40 คน และมีผู้สมัครทั้งหมดของสาขาพยาบาลศาสตร์ 3,259 คนเมื่อพิจารณาเข้าศึกษาตามผลคะแนนของผู้สมัครแล้วมีผู้สมัครจำนวนไม่น้อยที่ไม่สามารถเข้าศึกษาในสาขาวิชานั้นได้ เนื่องจากผู้สมัครมีผลคะแนนไม่ถึงเกณฑ์ที่สาขาวิชากำหนดเข้าศึกษา และผู้สมัครมีผลคะแนนที่ต่ำจึงไม่สามารถแข่งขันกับผู้สมัครที่มีผลคะแนนที่สูงกว่าได้ในสาขาวิชาของผู้สมัคร โดยผู้สมัครส่วนใหญ่ยังขาดประสบการณ์ในการสมัครซึ่งผู้สมัครส่วนใหญ่จะเลือกสมัครในสาขาวิชาตามความรู้สึก ความชอบ และสภาพแวดล้อม เช่น เพื่อนหรือผู้ปกครองเป็นหลัก โดยไม่ได้คำนึงถึงความรู้ และทักษะของตนเอง เช่น ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม (GPAX) ผลการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้ (GPA) ผลการทดสอบวิชาความถนัดทั่วไป (GAT) และผลการทดสอบวิชาความถนัดทางวิชาการและวิชาชีพ (PAT) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี

จากข้อมูลการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ระบบรับตรง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีการศึกษา 2557 – 2559 พบว่ามีจำนวนผู้สมัครที่ไม่มีสิทธิ์เข้าสอบสัมภาษณ์จำนวนมากในแต่ละปีการศึกษาคิดเป็นร้อยละ 44.04, 29.85 และ 25.67 ตามลำดับจากข้อมูลดังกล่าวเห็นได้ว่ามีผู้สมัครจำนวนไม่น้อยที่ไม่มีสิทธิ์เข้าสอบสัมภาษณ์เพื่อ

พิจารณาเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคามต่อไป

ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการนำเทคนิคเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบที่ดีที่สุดเพื่อนำรูปแบบที่ได้ไปพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจเลือกสาขาวิชา เพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยให้ผู้สมัครได้ทำการทดสอบผลคะแนนของตนเองผ่านระบบเพื่อให้ทราบว่ามีโอกาสมากน้อยเพียงใดในการเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชานั้นๆ ก่อนที่จะทำการสมัครจริงในสาขาวิชานั้น

## วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayesian Learning) และพัฒนาระบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีจากรูปแบบหรือแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเอาข้อมูลการรับเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ระบบรับตรง มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ระหว่างปีการศึกษา 2557 – 2559 มาทำการทดลองด้วยการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลจากการสร้างแบบจำลองในการทำนาย (Predictive Modeling) และการเรียนรู้แบบมีตัวแบบ (Supervised Modeling) โดยการจำแนกข้อมูล (Classification)<sup>2,3,4</sup> อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree C4.5) และวิธีการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayesian Learning) มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมซึ่งกระบวนการแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 1. เหมืองข้อมูล

เหมืองข้อมูล (Data Mining)<sup>5</sup> คือการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) หรือวิธีการทางสถิติ (Statistical Methods)<sup>6</sup> มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลหรือจัดเก็บไว้ในรูปแบบอื่น จุดประสงค์ของการทำเหมืองข้อมูล คือการวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ หรือรูปแบบของข้อมูลซึ่งเป็นการเรียนรู้ที่ถูกรับรองอยู่ในข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถนำเสนอสารสนเทศที่ได้มาใช้ในการวางแผน การตัดสินใจ หรือการแก้ปัญหาต่าง ๆ

### 2. ต้นไม้ตัดสินใจ

ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)<sup>7,8</sup> เป็นเทคนิคที่

มีรูปแบบที่นิยม โครงสร้างต้นไม้ตัดสินใจเป็นแบบลำดับชั้น โดยมีการตัดสินใจซึ่งประกอบด้วยโหนดที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision node) และโหนดใบ (Leaf node or Terminal node) แต่ละโหนดตัดสินใจนั้นจะมีการสร้างฟังก์ชันที่เอาไว้สำหรับทดสอบทางเลือกจากการป้อนข้อมูลเข้าจะทดสอบตามทางเลือกไปเรื่อยๆ ไปจนถึง Terminal node จะได้คำตอบดัง Figure 1

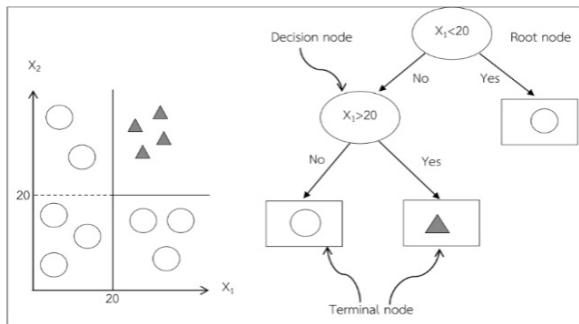


Figure 1 Example of tree map built from learning platform<sup>7</sup>

### 3. อัลกอริทึม C4.5

เป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนามาจาก ID3<sup>5,7,8</sup> โดย Ross Quinlan เป็นอัลกอริทึมที่ใช้หลักการสร้างต้นไม้โดยเลือกแอทริบิวต์ (Attribute) ที่สำคัญที่สุดมาเป็นโหนดราก (Root Node) โดยใช้ Gain Ratio ที่สูงที่สุดเป็นโหนดรากและโหนดถัดไปในการหาค่า Gain Ratio ต้องทำการหาค่า Split Information และค่า Entropy ก่อนวิธีหาค่าสมการดังต่อไปนี้

3.1 สมการ Entropy การหาค่าสมการที่ใช้ในการหาค่าสารสนเทศของข้อมูลดังสมการที่ 1

$$Entropy(S) = \sum_{i=1}^c -P_i \log_2 P_i \quad (1)$$

โดย S คือ แอทริบิวต์ที่นำมาวัดค่า

$P_i$  คือ สัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม  $i$  เท่ากับจำนวนสมาชิกทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

### 3.2 สมการ Information Gain

เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าสารสนเทศก่อนนำไปใช้ในการหาค่ามาตรฐานอัตราส่วนดังสมการที่ 2

$$Gain(S, A) = Entropy(S) - \sum_{v=Values(A)} \frac{|S_v|}{|S|} Entropy(S_v) \quad (2)$$

โดย A คือ แอทริบิวต์ A

$|S_v|$  คือ สมาชิกของแอทริบิวต์ A ที่มีค่า v  $|S|$  คือ จำนวนสมาชิกทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

3.3 สมการ Split Information เป็นสมการที่ใช้ในการเพิ่มค่าสารสนเทศการแบ่งแยกข้อมูลจะบอกถึงลักษณะการกระจายของข้อมูล เป็นการแก้ปัญหาความโน้มเอียงดังสมการที่ 3

$$Split Information(S, A) = - \sum_{i=1}^n \frac{|S_i|}{|S|} \log_2 \frac{|S_i|}{|S|} \quad (3)$$

โดย  $S_i$  คือ สัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม  $i$

3.4 สมการ Gain Ratio เป็นสมการในการคำนวณหาค่ามาตรฐานอัตราส่วนค่าเกน (Gain) เพื่อลดความลำเอียงของข้อมูลดังสมการที่ 4

$$Gain Ratio(S, A) = \frac{Gain(S, A)}{Split Information(S, A)} \quad (4)$$

### 4. อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่าย

อัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naive Bayesian Learning)<sup>5,6</sup> เป็นวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลที่มีการเรียนรู้แบบมีผู้สอนโดยใช้ความน่าจะเป็นเพื่อคำนวณการแจกแจงความน่าจะเป็นตามสมมติฐานให้กับข้อมูลจากการคำนวณตัวอย่างใหม่ที่ได้จะถูกนำมาปรับเปลี่ยนการแจกแจงซึ่งมีผลต่อการเพิ่มหรือลดความน่าจะเป็นของข้อมูล ข้อมูลใหม่ที่เกิดขึ้นจะถูกปรับเปลี่ยนไปตามข้อมูลใหม่โดยผนวกกับข้อมูลเดิมที่มี

หลักการของการเรียนรู้แบบอย่างง่ายใช้ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นซึ่งถูกใช้ในการทำนายผล เป็นวิธีการในการจำแนกที่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้ ซึ่งจะทำกรวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อใช้ในการสร้างเงื่อนไขความน่าจะเป็นสำหรับแต่ละความสัมพันธ์เป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนเหมาะกับกรณีของเซตตัวอย่างที่มีจำนวนมาก มีคุณสมบัติ (Attribute) ไม่ขึ้นต่อกัน โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของข้อมูลที่จะเป็นกลุ่ม  $V_i$  สำหรับข้อมูลที่ มีคุณสมบัติ  $n$  ตัว  $X = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  หรือ  $P(a_1, a_2, \dots, a_n | v_j)$  ดังสมการที่ 5

$$P(a_1, a_2, \dots, a_n | v_j) = \prod_{i=1}^n P(a_i | v_j) \quad (5)$$

โดย  $P(v_j)$  คือ ความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ให้คลาส  $P(a_i | v_j)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลคุณลักษณะที่  $i$  มีค่า  $a_i$  และให้คลาส  $v_j$

$P(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$  คือ ค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลทดสอบที่มีคุณลักษณะ  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  ที่จะให้คลาส  $v_j$  กลุ่ม  $v_j$  สำหรับข้อมูลที่มีคุณสมบัติ  $n$  ตัว

$\prod$  คือ ผลคูณของค่า  $P(a_i | v_j)$  ทั้งหมด  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  และ  $j = 1, 2, 3, \dots, n$

วิธีการนำเทคนิคการเรียนรู้แบบอย่างง่ายไปใช้โดยหาค่าความน่าจะเป็นของค่าที่พบในแต่ละกลุ่มโดยนำค่า  $P(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n | v_j)$  จากสมการที่ 5 มาคูณกับค่าความน่าจะเป็นของของกลุ่มนั้นๆคือ  $P(v_j)$  ได้เท่ากับ  $V_{NB}$  และนำค่าที่ได้มาเปรียบ กลุ่มที่มีค่าความน่าจะเป็นสูง คือคำตอบที่ได้ ดังนั้นจะได้วิธีการจำแนกประเภทการเรียนรู้แบบอย่างง่ายดังสมการที่ 6

$$V_{NB} = \arg \max P(v_j) \prod_{i=1}^n P(a_i | v_j) \quad (6)$$

จากสมการที่ 6 สามารถเขียนเป็นอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่ายดัง Figure 2

Naïve Bayes Learn (examples)

FOR EACH target value v DO

$$\bar{P}(v_j) \leftarrow \text{estimate } P(v_j)$$

FOR EACH attribute value a of each attribute DO

$$\bar{P}(a_j | v_j) \leftarrow \text{estimate } P(a_j | v_j)$$

Classify NEW Example(x)

$$V_{NB} = \arg \max P(v_j) * \prod_{i=1}^n P(a_i | v_j)$$

Figure 2 Naive Bayes learning algorithm<sup>6</sup>

### วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอการใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลมาวิเคราะห์การเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี จากการนำข้อมูลการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี ระบบรับตรง ระหว่างปีการศึกษา 2557 – 2559 จำนวน 74,602 ชุดข้อมูลการทดลองโดยทำการเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้กับโปรแกรม WEKA (Waikato Environment for Knowledge

Analysis)<sup>9,10</sup> ซึ่งประกอบด้วยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ข้อมูลการทดสอบ (Data Testing) และข้อมูลการเรียนรู้ (Data Training) โดยใช้หลักการเลือกแบบความเที่ยงตรง 10 กลุ่ม (10-fold Cross Validation) จากนั้นทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในแต่ละอัลกอริทึม คือ อัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree C4.5) และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayesian Learning) จากนั้นทำการเลือกแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุดจากค่าความถูกต้อง (Accuracy) มาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีต่อไป

จากการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอน และกรอบแนวคิดการวิจัยเพื่อให้ทราบกระบวนการในการวิจัยในครั้งนี้ โดยมีรายละเอียดดัง Figure 3

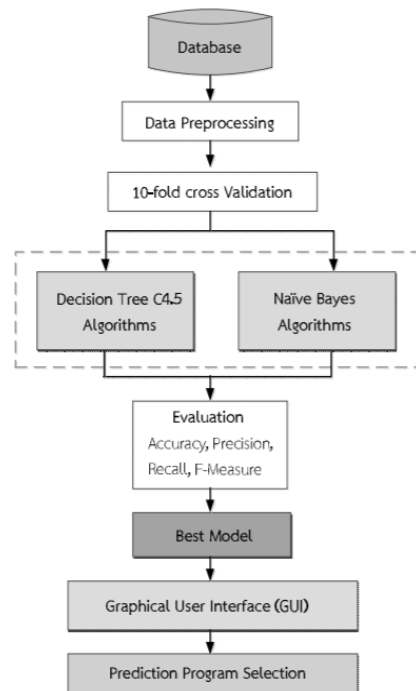


Figure 3 Conceptual framework

งานวิจัยนี้ได้มีวิธีการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในแต่ละข้อมูลตามรายสาขาวิชา โดยได้ใช้ค่าความถูกต้องของแบบจำลอง (Accuracy) ค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Precision) ค่าความระลึกของแบบจำลอง (Recall) และค่าความเหวี่ยงของแบบจำลอง (F-Measure) การวัดประสิทธิภาพของการจำแนกข้อมูลตามแนวคิดทางด้านค้นคืนสารสนเทศ ดังสมการที่ 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ<sup>7,8</sup>

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (7)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (9)$$

$$F - Measure = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (10)$$

โดย TP คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกดึงออกมาอย่างถูกต้อง  
 FP คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดที่ถูกดึงออกมา  
 TN คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกดึงแต่ไม่ถูกดึงออกมา  
 FN คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดแต่ไม่ถูกดึงออกมา  
 ข้อมูลที่ใช้ทำการทดลองเป็นข้อมูลที่ใช้เป็นองค์ประกอบหลักที่ใช้ในการพิจารณาเข้าศึกษา ได้แก่ ข้อมูลผลการเรียนเฉลี่ยสะสม (GPAX) ข้อมูลผลการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้ (GPA) และข้อมูลคะแนนมาตรฐานการทดสอบความถนัดทั่วไป (GAT) และความถนัดทางวิชาการและวิชาชีพ (PAT) มีรายละเอียดดังนี้

GPAX คือ ผลการเรียนเฉลี่ยสะสม  
 GPA1 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาภาษาไทย  
 GPA2 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาคณิตศาสตร์  
 GPA3 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาวิทยาศาสตร์  
 GPA4 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาสังคมศึกษา  
 GPA5 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาสุขศึกษา  
 GPA6 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาศิลปะ  
 GPA7 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาการงานอาชีพ  
 GPA8 คือ ผลการเรียนกลุ่มสาระวิชาภาษาต่างประเทศ  
 GAT คือ คะแนนมาตรฐานความถนัดทั่วไป  
 PAT1 คือ คะแนนมาตรฐานทางคณิตศาสตร์  
 PAT2 คือ คะแนนมาตรฐานทางวิทยาศาสตร์  
 PAT3 คือ คะแนนมาตรฐานทางวิศวกรรมศาสตร์  
 PAT4 คือ คะแนนมาตรฐานทางสถาปัตยกรรมศาสตร์  
 PAT5 คือ คะแนนมาตรฐานทางวิชาชีพครู  
 PAT6 คือ คะแนนมาตรฐานทางศิลปะกรรมศาสตร์  
 Score คือ ผลคะแนนรวม

**Table 1** Data sample of B.Eng. (Engineering)

GPAX	GPA1	GPA2	GPA3	GPA4	GPA8	GAT	PAT1	PAT3	Score
3.87	3.80	4.00	3.88	3.86	3.68	65.75	78.87	66.06	89.64
3.90	3.68	3.98	3.97	3.73	3.78	60.11	83.40	81.79	81.99
3.75	3.90	2.92	3.61	3.69	4.00	66.54	54.99	67.60	77.52
2.41	3.20	1.62	2.53	2.08	2.15	37.55	44.93	42.45	44.88
3.69	3.90	3.72	3.49	3.92	3.70	56.12	51.29	52.20	67.60
3.21	3.50	3.14	3.01	3.35	3.33	53.04	54.39	42.40	61.84
2.18	2.50	2.03	1.58	2.76	2.06	37.35	49.17	34.68	43.49

ในการทดลองโดยจะแยกข้อมูลที่ใช้เป็นรายสาขาวิชา ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองดังรายละเอียดตัวอย่างสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (Table 1) การแทนค่าข้อมูลในการทดลอง เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองนั้นถูกต้อง และมีความแม่นยำในการทดลองข้อมูลที่จะใช้ในการทดลองต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบที่คอมพิวเตอร์เข้าใจถึงความหมายของข้อมูลนั้นเสียก่อน การวิจัยนี้ได้มีการแทนค่าให้กับข้อมูลโดยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองจะเป็นข้อมูลแบบทศนิยมแบบต่อเนื่อง (Binning data) โดยมีการแบ่งข้อมูลส่วนที่เป็นตัวแปรคุณลักษณะ (Attribute) 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือข้อมูล GPAX, GPA1, GPA2, GPA3, GPA4, GPA5, GPA6, GPA7 และ GPA8 มีการแทนค่าข้อมูลผลการเรียนออกเป็น 4 ระดับ คือช่วงผลการเรียนระหว่าง 0.00 – 2.50 อยู่ในระดับต่ำแทนค่าเป็น (L), ช่วงผลการเรียนระหว่าง 2.51 – 3.00 อยู่ในระดับกลาง แทนค่าเป็น (M), ช่วงผลการเรียนระหว่าง 3.01 – 3.50 อยู่ในระดับสูง

แทนค่าเป็น (H) และช่วงผลการเรียนระหว่าง 3.51 – 4.00 อยู่ในระดับสูงมาก แทนค่าเป็น (VH) ส่วนที่ 2 คือข้อมูล GAT, PAT1, PAT2, PAT3, PAT4, PAT5 และ PAT6 มีการแทนค่าข้อมูลผลคะแนนมาตรฐานออกเป็น 4 ระดับคือช่วงผลคะแนนมาตรฐานระหว่าง 0.00 – 39.08 อยู่ในระดับต่ำ แทนค่าเป็น (L), ช่วงผลคะแนนมาตรฐานระหว่าง 39.09 – 51.48 อยู่ในระดับกลาง แทนค่าเป็น (M), ช่วงผลคะแนนมาตรฐานระหว่าง 51.49 – 63.88 อยู่ในระดับสูง แทนค่าเป็น (H) และช่วงผลคะแนนมาตรฐานระหว่าง 63.89 – 100 อยู่ในระดับสูงมาก แทนค่าเป็น (VH) และส่วนข้อมูลที่เป็นคำตอบ (Class) มีการแทนค่าช่วงผลคะแนนรวม (Score) ออกเป็น 4 ระดับ คือช่วงผลคะแนนรวมระหว่าง 0.00 – 46.77 โอกาสระดับน้อย แทนค่าเป็น (Low), ช่วงผลคะแนนรวมระหว่าง 46.78 – 62.93 โอกาสระดับปานกลาง แทนค่าเป็น (Moderate), ช่วงผลคะแนนรวมระหว่าง 62.94 – 79.09 โอกาสระดับมาก แทนค่า

เป็น (High) และช่วงผลคะแนนรวมระหว่าง 79.10 – 100 โอกาสระดับมากที่สุด แทนค่าเป็น (Most) ตัวอย่างการแทน

ค่าข้อมูลในการทดลองในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ B.Eng. (Engineering) ดัง Table 2

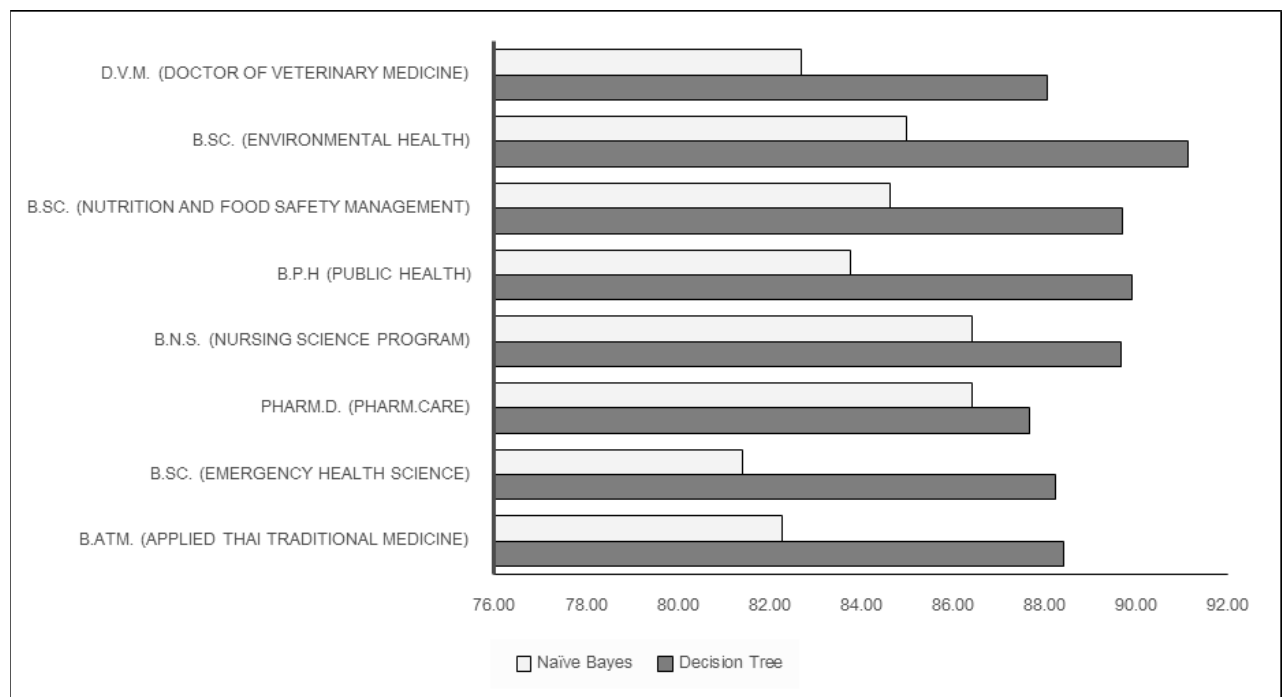
**Table 2** Variable sample of B.Eng. (Engineering)

GPAX	GPA1	GPA2	GPA3	GPA4	GPA8	GAT	PAT1	PAT3	Score
VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	VH	Most
VH	VH	VH	VH	VH	VH	H	VH	VH	Most
VH	VH	M	VH	VH	VH	VH	H	VH	High
L	H	L	M	L	L	L	M	M	Low
VH	VH	VH	H	VH	VH	H	M	H	High
H	H	H	H	H	H	H	H	M	Moderate
L	L	L	L	M	L	L	M	L	Low

### ผลการศึกษาริวิจัย

จากการทดลองข้อมูลในแต่ละสาขาวิชาทั้งหมด 70 สาขาวิชา โดยใช้วิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree C4.5) และวิธีการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayes) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองในแต่ละวิธีการ โดยใช้โปรแกรม

WEKA ในการทดลองวิเคราะห์ข้อมูล โดยการหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) จากผลการศึกษาตามกลุ่มประกันคุณภาพการศึกษาของมหาวิทยาลัย รายละเอียดผลการทดลองโดยแยกตามกลุ่มดัง Figure 4 – 6



**Figure 4** Results of Group Health Science

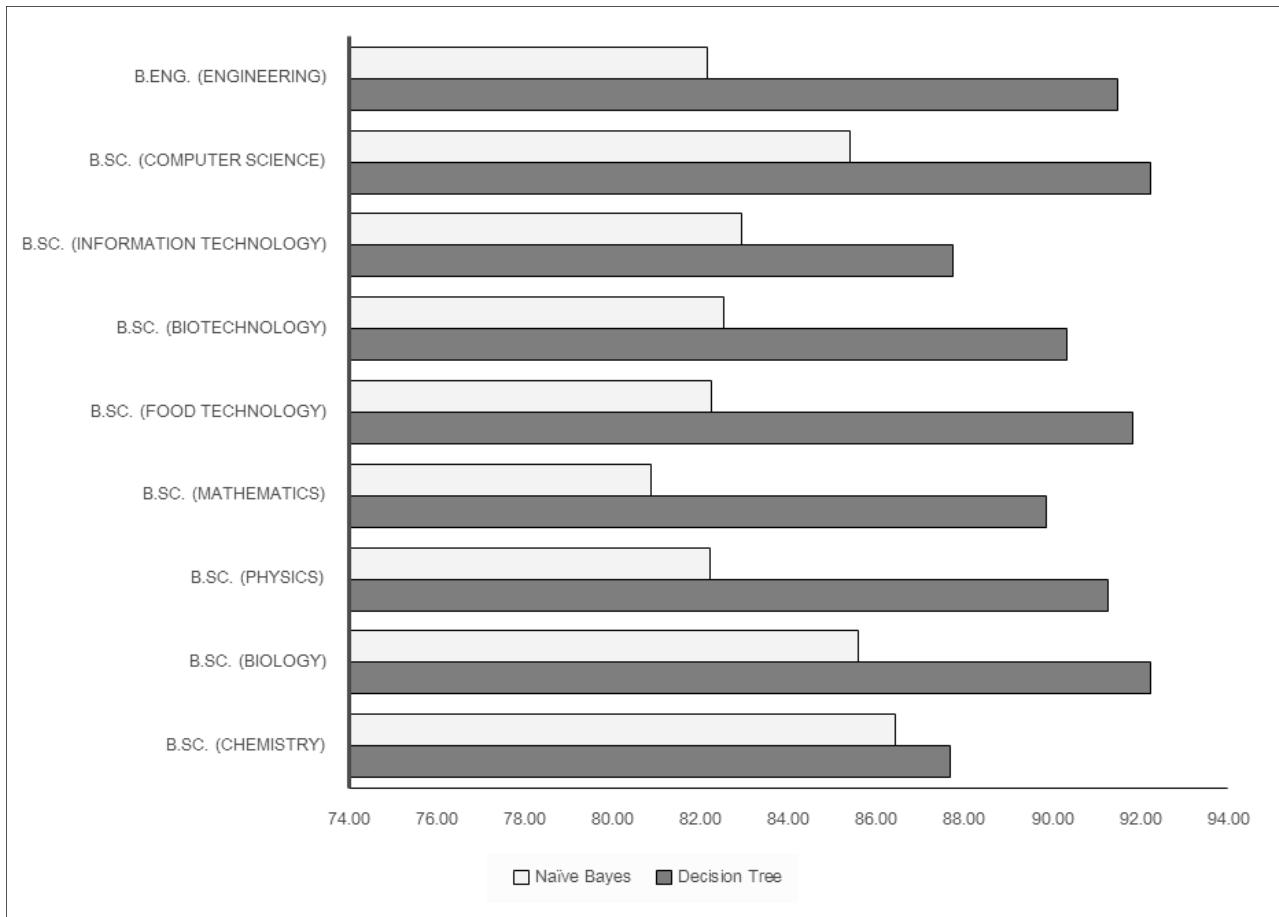


Figure 5 Results of Group Science and Technology

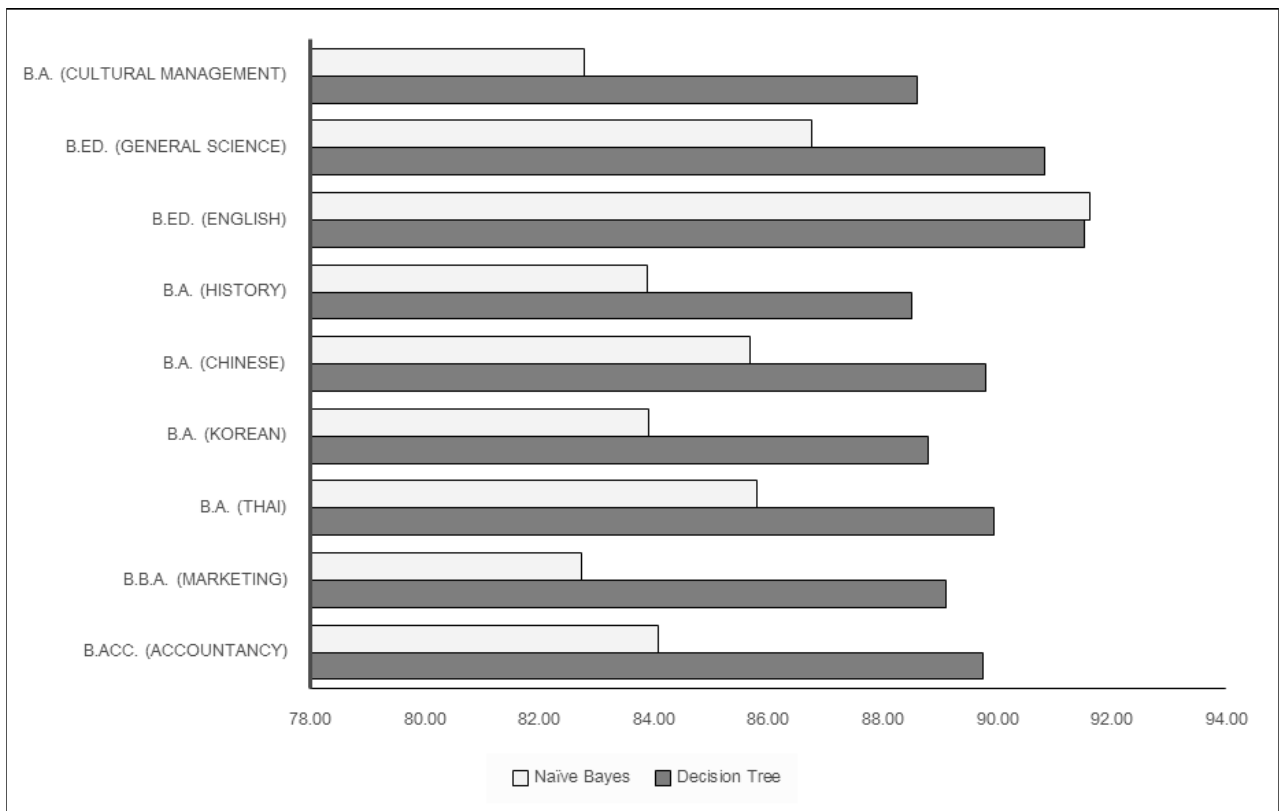


Figure 6 Results of Group Humanities and Social Sciences

จากผลการทดลองด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และวิธีการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayes) จากข้อมูลการทดลองในแต่ละสาขาวิชาจำนวนทั้งหมด 70 สาขาวิชาสามารถอธิบายการทดลองได้ว่าการทดลองด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) มีค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงสุดใน 69 สาขาวิชา และมีเพียงสาขาวิชาเดียวที่การทดลองด้วยวิธีการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayes) ที่มีค่าความถูกต้องสูงสุด คือสาขาวิชา กศ.บ. ภาษาอังกฤษ คณะศึกษาศาสตร์ (B.Ed. English)

ผลการทดลองสามารถสร้างเป็นกฎการตัดสินใจ (Decision Rule) ในแต่ละสาขาวิชาเพื่อนำรูปแบบที่ได้ไปพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีจากตัวอย่างสาขาวิชา ศศ.บ. ภาษาจีน รายละเอียดกฎการตัดสินใจดังนี้

- IF GAT85=VH Then Score=High
- IF GAT85=M Then Score=Moderate
- IF GAT85=L And GPAX=L Then Score=Low
- IF GAT85=L And GPAX=(VH Or H) Then Score=Moderate
- IF GAT85=L And GPAX=M And GPA1=L Then Score=Low
- IF GAT85=L And GPAX=M And GPA1=(VH Or H) Then Score=Moderate
- IF GAT85=L And GPAX=M And GPA1=M And GPA8=(VH Or H) Then Score=Moderate
- IF GAT85=L And GPAX=M And GPA1=M And GPA8=(M Or L) Then Score=Low
- IF GAT85=H And GPAX=VH Then Score=High
- IF GAT85=H And GPAX=(M Or L) Then Score=Moderate
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=(VH Or H) Then Score=High
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=L Then Score=Moderate
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=M And GPA8=VH Then Score=High
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=M And GPA8=(M Or L) Then Score=Moderate
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=M And GPA8=H And GPA4=VH Then Score=High
- IF GAT85=H And GPAX=H And GPA1=M And

GPA8=H And GPA4=(H Or M Or L)  
Then Score=Moderate

จากรูปแบบที่ได้ในแต่ละสาขาวิชาสามารถนำมาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีโดยมีรายละเอียดดัง Figure 7



Figure 7 Home Program

ตัวอย่างการทดสอบข้อมูลผ่านระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี รายละเอียดดัง Figure 8

ผลการเรียน (GPAX) และผลการเรียนต่อ (GPA)				คะแนนการสอบ GAT/PAT		
วิชา	ค่าเฉลี่ย	ผลรวม	ผลเฉลี่ย	วิชา	คะแนน	ผลรวม
GPAX	10.00	3.55	8.8750	GAT (ข้อที่ 1)	0.00	64.33
ภาษาไทย	2.00	3.00	1.5000	GAT (ข้อที่ 2)	0.00	63.56
คณิตศาสตร์	6.00	3.60	5.4000	GAT (รวม)	20.00	64.00
วิทยาศาสตร์	6.00	3.45	5.1750	PAT 1	29.00	68.02
สังคมศึกษา ๑	2.00	3.88	1.9400	PAT 2	0.00	60.55
สังคมศึกษา ๒	0.00	4.00	0.0000	PAT 3	30.00	67.55
ศิลปะ	0.00	4.00	0.0000	PAT 4	0.00	0.00
การงานอาชีพ ๑	0.00	4.00	0.0000	PAT 5	0.00	0.00
ภาษาต่างประเทศ	4.00	3.56	3.5600	PAT 6	0.00	0.00

Figure 8 Test Results

**อภิปรายผลการวิจัย**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแบบจำลองการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี ระหว่างอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) และอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบอย่างง่าย (Naïve Bayesian Learning) และพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีจากรูปแบบ หรือแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการวิจัยพบว่าอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจมีความถูกต้อง (Accuracy) สูงสุด และนำแบบจำลองที่ได้ในแต่ละสาขาวิชามาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรีได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในแต่ละสาขาวิชาต้องมีจำนวนมากพอที่ใช้สำหรับการทดลอง
2. ข้อมูลในการทดลองการวิจัยนี้ เป็นข้อมูลแบบทศนิยมแบบต่อเนื่อง (Binning data) การแทนค่าข้อมูลควรแทนค่าช่วงระหว่างข้อมูลให้มีความเหมาะสม
3. ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองคือข้อมูลการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ระหว่างปีการศึกษา 2557 – 2559 หากมีจำนวนข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้นผลการทดลองอาจจะมีการปรับเปลี่ยน

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### เอกสารอ้างอิง

1. กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคามระเบียบการการสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรีระบบรับตรงประจำปีการศึกษา 2557 - 2559.
2. บุญมา เฟ่งชวน. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาตรี. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2548.
3. Han J, Kamber M, Data Mining Concepts and Techniques; The Morgan Kaufmann Publishers, 2001.
4. Olson D, Shi Y. Introduction to Business Data Mining; McGraw Hill International Edition, 2007.
5. จัตุรเกล้า เจริญผล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Introduction to Data Mining 2013.
6. บุญเสริม กิจศิริกุล. อัลกอริธึมการทำเหมืองข้อมูล. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยร่วมภาครัฐและเอกชน ปีงบประมาณ. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546
7. อนันต์ ปินะเต. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสมัครในสาขาวิชาโดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่ 35, ฉบับที่ 4, ประจำเดือน : กรกฎาคม – สิงหาคม 2559.
8. อนันต์ ปินะเต, จัตุรเกล้า เจริญผล, แกมกาญจน์ สมประเสริฐศรี. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือกกลุ่ม

สาขาวิชาที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่ 33, ฉบับที่ 6, ประจำเดือน : พฤศจิกายน – ธันวาคม 2557.

9. Remco, R. Bouckert, et al WEKA Manual for Version 3-6-4. (Online). Available : <http://cdnetworks-kr~1.dl.sourceforge.net/project/wekadocumentation/3.6.x/WekaManual-3-6-4.pdf>
10. Zdravko M, Ingrid R, An Introduction to the WEKA Data Mining System.



# ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

## A Simulated Annealing Algorithm for Travel Itinerary Planning under Time Constraints

ปิยรัตน์ งามสนิท<sup>1</sup>, ธรา อังสกุล<sup>2</sup>, จิติมนต์ อังสกุล<sup>3</sup>

Piyarat Ngamsanit, Thara Angskun, Jitimon Angskun

Received: 23 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

### บทคัดย่อ

ปัญหาด้านการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางท่องเที่ยวให้เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขบังคับที่แตกต่างกัน โดยเงื่อนไขบังคับที่นักท่องเที่ยวต่างมีเหมือนกันคือ ด้านเวลา เพราะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและมีจำกัด ส่งผลให้ไม่สามารถไปเที่ยวได้ครบทุกสถานที่ตามที่อยากไปได้ บทความนี้จึงนำเสนอขั้นตอนวิธีการวางแผนการเดินทางที่มุ่งเน้นการวางแผนการเดินทางตามสถานที่ที่ผู้ใช้ระบุว่าจะอยากไปได้ครบหรือหลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาที่ผู้ใช้กำหนด โดยใช้แนวคิดจากขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็นพื้นฐานในการพัฒนา และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีจึงได้เสนอการใช้เทคนิคการเลือกเส้นทางที่พิจารณาจากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุด (เอสพีเอส) มาใช้ในการสร้างคำตอบเบื้องต้นและการปรับปรุงแผนการเดินทาง นอกจากนี้ ยังได้แทรกส่วนพิเศษเพื่อการเพิ่มสถานที่ที่อาจจะยังเหลือให้ได้อยู่ในแผนการเดินทางซึ่งจะทำให้มีโอกาสได้แผนการเดินทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้หลายแห่งมากขึ้นในการทดสอบประสิทธิภาพทำโดยการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีอื่นในการทดสอบประสิทธิภาพด้านเวลาในการประมวลผล ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่มีพื้นฐานจากการค้นหาตามระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุด (เอสเอ\_เอสพีเอส) ที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าทุกขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนในการทดสอบประสิทธิภาพด้านคุณภาพของคำตอบเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้คุณภาพของคำตอบที่แยกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้คุณภาพของคำตอบที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวแบบดั้งเดิม

**คำสำคัญ:** ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว การค้นหาตามระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุด การวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา

### Abstract

A travel planning problem was invented for the purpose of determining a workable itinerary under different travel constraints. The typical constraint most travelers encounter is the limited time constraint. It often means a traveler cannot reach all desired destinations. In this article, we propose a travel itinerary planning algorithm focused on facilitating travelers to reach their destinations as often as possible under given time constraints. The proposed algorithm is based on a simulated annealing algorithm and applies a shortest path search technique (SPS) to increase the efficiency of the algorithm. The SPS technique was used to find a minimized travel time scenario for an initial solution and then improve the travel itinerary. In addition, a special search procedure was used to add the remaining destinations into itineraries. With this procedure, we will have the opportunity to add even more destinations into the itinerary. The performance of the proposed algorithm (SA\_SPS) was compared with other travel itinerary planning algorithms in two aspects. The first aspect was to test CPU time to run the algorithms. The experimental results reveal that the proposed SA\_SPS spends

<sup>1</sup> นักศึกษาปริญญาเอก, <sup>2,3</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

<sup>1</sup> doctoral degree student, <sup>2,3</sup>Assist. Prof., Faculty of Social Technology, Suranaree University of Technology, Mueng District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

less CPU time than other methods. The second aspect was to test the quality of the solution. The results indicate that the quality of the solution of the SA\_SPS algorithm is slightly worse than an exhaustive routing algorithm. However, the SA\_SPS provided more quality in the solution than a traditional simulated annealing algorithm.

**Keywords:** Simulated Annealing Algorithm, Shortest Path Search, Travel Itinerary Planning, Time Constraints

**บทนำ**

ในการนำเสนอสารสนเทศเพื่อตอบสนองความต้องการด้านการท่องเที่ยวได้ส่งผลให้เกิดการพัฒนาระบบที่ทำหน้าที่ช่วยสนับสนุนการให้ข้อมูลตลอดจนช่วยวางแผนการเดินทางแก่นักท่องเที่ยว โดยคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับที่หลากหลายและแตกต่างกันในการวางแผน แต่เงื่อนไขบังคับหนึ่งที่นักท่องเที่ยวมีเหมือนกันทุกคน คือเงื่อนไขบังคับด้านเวลา<sup>1</sup> เนื่องจากเป็นความจริงที่ว่า เวลาเป็นสิ่งที่มีความสำคัญและนักท่องเที่ยวล้วนมีเวลาสำหรับการเดินทางที่จำกัด ซึ่งทำให้ไม่สามารถเดินทางไปเที่ยวครบทุกแห่งตามที่ต้องการไปได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในกระบวนการวางแผนการเดินทางของระบบจึงควรต้องมีการพิจารณาถึงการใช้เวลาในการเดินทางให้คุ้มค่า กล่าวคือ เมื่อนักท่องเที่ยวได้เลือกสถานที่ที่อยากไปแล้ว ระบบควรมีการพิจารณาถึงแผนการเดินทางว่ามีสถานที่ท่องเที่ยวแห่งใดบ้าง ใช้ระยะเวลาในการเดินทางเท่าไร สามารถเดินทางครอบคลุมทุกสถานที่ตามที่ผู้ใช้อยากไปได้หรือไม่ หรือหากไปได้ไม่ครบก็ควรจะไปให้ได้หลายแห่งมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ภายใต้เวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด เพราะนั่นหมายถึงการตอบสนองให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้อย่างหนึ่ง ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบวางแผนสำเร็จนั่นก็คือ ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่ใช้ในการวางแผนการเดินทาง<sup>2</sup>

สำหรับปัญหาการวางแผนการเดินทาง จัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาที่ซับซ้อนยากต่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด<sup>3</sup> (NP-Hard Problems) เพราะต้องมีการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่เหมาะสมจากรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวนมาก ตัวอย่างของรูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการท่องเที่ยว 3 สถานที่แสดงดัง (Table 1) จำนวนได้จากสมการที่ 1

$$\sum_{l=0}^{n-1} \frac{n!}{l!} \tag{1}$$

$n$  คือ จำนวนสถานที่ท่องเที่ยว  
 $l$  มีค่าเริ่มต้นตั้งแต่ 0 ถึง  $n-1$

จากสมการที่ 1 ถ้ามีสถานที่ท่องเที่ยวจำนวน 7 แห่ง รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้คือ 13,699 รูปแบบและถ้ามี 15 แห่ง จะมีรูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ถึง 3 ล้านรูปแบบ จะเห็นได้ว่า หากต้องการแผนการเดินทางที่ดีที่สุด ในสถานที่ 7 แห่ง อาจมีความเป็นไปได้ แต่อาจเป็นไปได้ไม่ในสถานที่ 15 แห่ง เนื่องจากปริภูมิการค้นหา (Search Space) มีขนาดใหญ่มาก ส่งผลให้ใช้เวลาประมวลผลนานจนเป็นไปได้ในทางปฏิบัติยิ่งไปกว่านั้น ในการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวแต่ละครั้ง เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่ายิ่งมีเงื่อนไขบังคับประกอบอื่นที่ต้องพิจารณาในการวางแผน ซึ่งล้วนส่งผลให้รูปแบบการคำนวณของขั้นตอนวิธีที่ความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นจนไม่สามารถใช้ขั้นตอนวิธีแบบค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ (Exhaustive Routing Algorithm: ER) ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimum)

จากปัญหาดังกล่าว เมื่อศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้ในปัญหาการวางแผนการเดินทางจากหลากหลายแขนงพบว่า วิธีแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Methods) สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาลักษณะนี้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นวิธีการที่คำนวณหาเพียงบางส่วนของรูปแบบที่คาดว่าเป็นคำตอบ จึงลดเวลาในการคำนวณลงได้ อีกทั้งยังมีเทคนิคช่วยในการพิจารณาคุณภาพของคำตอบ ทำให้คำตอบที่ได้มีคุณภาพดีเพียงพอที่จะนำไปใช้ภายในระยะเวลาการคำนวณที่เหมาะสม ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing Algorithm: SA) เป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีแบบเมตาฮิวริสติกที่นิยมนำมาเป็นพื้นฐาน (Base) ในการพัฒนาต่อยอดเพื่อแก้ปัญหาในกลุ่มของการวางแผนการเดินทางอย่างกว้างขวาง ในปัญหาการวางแผนการเดินทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ก็เช่นเดียวกัน ได้มีงานวิจัยที่ยืนยันว่าสามารถประยุกต์ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเพื่อใช้ในปัญหาการวางแผนการขนส่งภายใต้กรอบเวลา<sup>4,5,6</sup> (VRP with Time Windows) ได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากขั้นตอนวิธีนี้มีกระบวนการค้นหาที่ไม่มีเฉพาะเจาะจงกับ

**Table 1** An example of travel patterns in order to reach all destinations

Destinations	Travel patterns
1	(0-1-0), (0-2-0), (0-3-0)
2	(0-1-2-0), (0-1-3-0), (0-2-1-0), (0-2-3-0), (0-3-1-0), (0-3-2-0)
3	(0-1-2-3-0), (0-1-3-2-0), (0-2-1-3-0), (0-2-3-1-0), (0-3-1-2-0), (0-3-2-1-0)

แบบจำลองหรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง จึงทำให้ไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของปัญหาใด ๆ ได้โดยตรงซึ่งจะเห็นได้จากในหลาย ๆ งานวิจัยที่ได้มีการปรับปรุงขั้นตอนวิธีดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยวิธีการที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวร่วมกับขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค<sup>7</sup> (Particle Swarm Optimization: PSO) การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวร่วมกับขั้นตอนวิธีแบบละโมภ (Greedy-Algorithm)<sup>8</sup> การใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่<sup>9</sup> (Local Search) ฯลฯ)

จากรูปแบบปัญหาการวิจัยในครั้งนี้ที่ต้องการแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่เน้นการบริหารเวลากับจุดหมายปลายทางให้เหมาะสม คือไปเที่ยวในสถานที่ที่ผู้ใช้เป็นผู้ระบุว่าจะอยากไปให้ได้ครบหรือหลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาที่ผู้ใช้เองเป็นผู้กำหนดซึ่งในการเลือกเยือนสถานที่หากนำแนวคิดการค้นหาจากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดมาใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวในการวางแผน ก็มีความน่าจะเป็นที่จะทำได้แผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ประกอบด้วยสถานที่ท่องเที่ยวครบหรือหลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาการคำนวณที่เหมาะสม จึงนำมาสู่บทความนี้ ที่นำเสนอขั้นตอนวิธีการจำลองการอบ-เหนียวที่มีพื้นฐานจากการค้นหาตามระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาหรือเรียกชื่อย่อว่า เอสเอ\_เอสพีเอส (Simulated Annealing Algorithm Based on Shortest Path Search: SA\_SPS)

## วิธีการวิจัย

สำหรับวิธีการวิจัยประกอบด้วยรูปแบบปัญหา การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธีและสภาพแวดล้อมในการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

## รูปแบบปัญหา

สำหรับปัญหาในการวิจัยครั้งนี้ คือปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาจำกัด ซึ่งหมายถึงปัญหาการตัดสินใจหนึ่งที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่ที่กำหนดสถานที่ละหนึ่งครั้ง โดยที่ระยะเวลาในการเดินทางไปและกลับระหว่างสองสถานที่ใช้เวลาไม่เท่ากัน (Asymmetrical Distance) ผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ไขปัญหานี้ คือแผนการเดินทางที่อาจเยือนสถานที่ปลายทางได้ครบหรือไม่ครบทุกแห่งก็ได้โดยที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดเป็นจุดเดียวกัน แต่ทั้งนี้ แผนการเดินทางจะต้องคำนึงถึงการเยือนสถานที่ให้ได้หลายแห่งมากที่สุดเท่า

ที่จะเป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาและแผนการเดินทางต้องสามารถแสดงลำดับการผ่านสถานที่ที่ได้โดยในการประมวลผลแต่ละครั้ง แผนการเดินทางที่ได้อาจมีจำนวนสถานที่ปลายทางมากน้อยต่างกัน ในที่นี้ถือว่าจำนวนสถานที่ที่อยู่ในแผนการเดินทางคือคุณภาพของคำตอบ โดยแผนการเดินทางใดที่มีจำนวนสถานที่ปลายทางตามที่ผู้ใช้ระบุหลายแห่งมากกว่า จะถือว่าเป็นคำตอบที่มีคุณภาพดีกว่า

เป็นที่ทราบกันดีว่า มีเงื่อนไขบังคับด้านเวลามากมายที่มีผลต่อการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยว ในบทความนี้ได้นำเสนอเงื่อนไขบังคับด้านเวลาบางส่วนตามงานวิจัยของศศิวิมล กอบัว<sup>1</sup> ที่ได้มีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้านเวลาในการท่องเที่ยวเชิงลึกลงมาใช้ประกอบการวางแผนการเดินทางได้แก่ 1) *เงื่อนไขบังคับด้านระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ (Travelling Time between Locations)* หมายถึง ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสองสถานที่ 2) *เงื่อนไขบังคับด้านเวลาที่ใช้ ณ สถานที่ท่องเที่ยว (Visiting Time)* หมายถึง ระยะเวลาที่แวะเที่ยว ณ สถานที่นั้น และ 3) *เงื่อนไขบังคับด้านเวลาของแผนการเดินทาง (Time of Itinerary)* หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดในการท่องเที่ยวตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการเดินทางท่องเที่ยว

โดยการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวนี้ เป็นการวางแผนแบบล่วงหน้าด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล และผู้ใช้เป็นผู้ระบุจุดเริ่มต้น สถานที่ท่องเที่ยว เวลาที่ใช้ ณ สถานที่ และวันเวลาเริ่มต้น/สิ้นสุดการเดินทางด้วยตนเองสำหรับข้อมูลพิกัดของแต่ละสถานที่ ความเร็วของรถยนต์ที่สามารถเดินทางได้ระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ ได้จากการคำนวณโดยการเดินทางด้วยรถยนต์ของบริการส่วนต่อประสานโปรแกรมประยุกต์แผนที่กูเกิล หรือที่เรียกว่า กูเกิลแมป เอพีไอ (Google Maps API)

## การออกแบบและพัฒนาขั้นตอนวิธี

ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว เป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบจากการสุ่มจุดตามที่สำรวจซ้ำจากการพัฒนา คำตอบเบื้องต้นเพื่อหาผลเฉลยอื่นที่ดีกว่า<sup>10, 11</sup> กระบวนการทำงานพื้นฐานหลัก ๆ ได้แก่ การสร้างคำตอบเบื้องต้น (Initial Solution) โดยการวนสุ่มจุดขึ้นมาจนได้หนึ่งคำตอบ จากนั้นเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคำตอบด้วยการสุ่มจุด (Random Swap) เพื่อค้นหาคำตอบใหม่ (Candidate Solution) ที่คาดว่าจะดีขึ้นด้วยวิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood Function) ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ โดยใช้คำตอบที่ดีที่สุดที่รู้มา เป็นฐานในการคำนวณต่ออย่างไรก็ตาม วิธีการค้นหาคำตอบใกล้เคียงที่ใช้การสุ่มจุดอาจไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด

เสมอไป ดังนั้น บทความนี้จึงได้เสนอการใช้เทคนิคเอสพีเอส (Shortest Path Search Technique: SPS) ในการปรับวิธีการค้นหาคำตอบแทนการสุ่ม

สำหรับภาพรวมของการทำงานของขั้นตอน-วิธีที่นำเสนอแสดงดัง Figure 1 และรหัสเทียม (Pseudo code) แสดงดัง Table 2

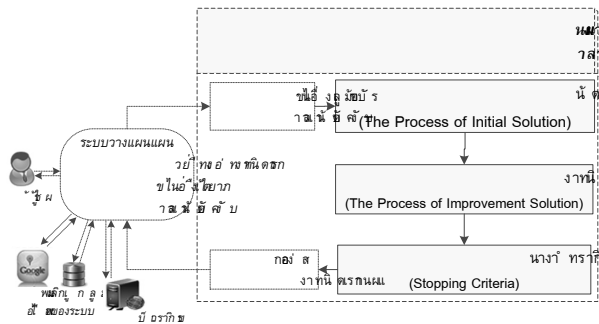


Figure 1 Overview of SA\_SPS for the travel itinerary planner under time constraints

ในส่วนปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้เพื่อนำเข้าข้อมูล ติงข้อมูลด้านเวลา และอธิบายแผนการเดินทาง (Figure 1) จะใช้ความสามารถจากระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวใด ๆ ที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาจากนั้นนำข้อมูลเข้าสู่กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้นและกระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทางตามหลักการดำเนินงานพื้นฐานของขั้นตอนวิธีจำลองการอบเหนียวโดยมีกระบวนการยุติการทำงานคอยตรวจสอบความเหมาะสมในการยุติ โดยรายละเอียดของกระบวนการทำงานมี 3 กระบวนการหลัก มีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น (The Process of Initial Solution)

เมื่อรับข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้แล้ว จะเข้าสู่การสร้างเงื่อนไขบังคับด้านเวลาทั้งหมดและกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามแนวคิดของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียว (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อการกำหนดพารามิเตอร์) จากนั้นเริ่มการค้นหาแผนการเดินทางเบื้องต้นจากการที่ปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้มีปริมาณการค้นหาขนาดใหญ่ การใช้วิธีสุ่มในการสร้างคำตอบเบื้องต้นไม่สามารถทำให้ได้คำตอบเบื้องต้นที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด จึงได้เสนอการใช้เทคนิคเอสพีเอสในการหาลำดับการผ่านสถานที่แทนการสุ่ม

Table 2 The pseudo code of SA\_SPS for travel itinerary planning under time constraints

```

SA_SPS(place demands, time constraints)
create constraints, initialize parameter
generate the initial solution as current solution (S) by using SPS_Technique ()
while stopping criteria not met do //improve solution
    assign Layer for the places in S, based on the least position, start swap on the first Layer
    for i=1 to max Iterdo
        while accept the S' as Snotmet do
            generate a new candidate solution (S') based on S, by using the priority queue in SPS_Technique () for selecting remaining places to swap with the place at the current Layer
            S will be swapped as a new solution (S')
            If check constraints f(S') valid then
                get a feasible solution
                if S' is better than the current one then
                    accept S' as S
                    accept the f(S') as current Cost of S, C(S)
                    modified a heuristic f, h, g of places in priority queue
                else
                    accept the new solution through the acceptance probability function
            end if
        else
            go to generate S' again
        end if
    end while
    Add_remaining_place () by using SPS_Technique () for push remaining places into S as new solution (S'')
    If check constraints f(S'') valid then
        get a new feasible solution
        if S'' is better than the best onethen
            replace the current solution with this new one
        end if
        update the best solution when the solution is better than it
    end if
end for
set cooling schedule, Iter=Iter+1, Layer= Layer+1
endwhile
return the best solution
    
```

เนื่องจากคำตอบเบื้องต้นที่ได้นั้น มักจะเป็นคุณภาพต่ำในการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีการแบบเมตา-ฮิวริสติกส์สำหรับการเลือกสถานที่ให้มาอยู่ในแผนการเดินทาง จะมีการตรวจสอบให้อยู่ในเงื่อนไขและพิจารณาความเป็นไปได้ในการเดินทางกลับสู่จุดเริ่มต้นเสมอ ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือ แผนการเดินทางเบื้องต้น1 แผนการเดินทางที่คิดว่าเยือนสถานที่ได้หลายแห่งมากที่สุดและใช้เวลาของแผนการเดินทางน้อยที่สุดภายในกรอบเวลาที่ผู้ใช้กำหนด

เทคนิคเอสพีเอส เป็นเทคนิคการหาลำดับการผ่านสถานที่ในแผนการเดินทางที่พิจารณาเลือกสถานที่จากระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดจากสถานที่ปัจจุบันและต้องเป็นสถานที่ที่ยังไม่เคยไปมาก่อนให้มาอยู่ในแผนการเดินทางเนื่องจากไปปัญหาการวิจัยครั้งนี้ที่ต้องการเยี่ยมชมสถานที่ให้ได้หลายแห่งมากที่สุดภายในกรอบเวลาที่จำกัด ในการเลือกแผนการเดินทางเบื้องต้นที่ใช้ระยะเวลาในการเดินทางโดยรวมน้อยที่สุดก็มีความน่าจะเป็นที่จะทำให้ได้แผนการเดินทางที่ประกอบไปด้วยสถานที่ท่องเที่ยวหลายแห่งมากที่สุด ดังนั้นการที่เลือกสถานที่ที่อยู่ใกล้ที่สุดกับสถานที่ที่อยู่ปัจจุบันแล้วเดินทางไปสถานที่นั้นก่อน เมื่อไปถึงสถานที่นั้นแล้วค่อยทำในทำนองเดียวกันอีกกว่าจะเดินทางไปยังสถานที่ที่ใกล้ที่สุดสถานที่ถัดไป ทำเช่นนี้ก็จะได้แผนการเดินทางเบื้องต้นที่มีสถานที่หลายแห่งมากที่สุด

โดยเทคนิคเอสพีเอสนี้ ประยุกต์มาจากแนวทางการค้นหาของขั้นตอนวิธีเอสสตาร์ (A\* Algorithm) และได้ปรับแต่งฟังก์ชันฮิวริสติกให้มีความเหมาะสมเข้ากับรูปแบบปัญหาที่แสดงในสมการที่ 2 ภาพรวมของเทคนิคเอสพีเอสแสดงดัง (Figure 2) และหลักการทำงานอธิบายด้วยรหัสเทียมดัง (Table 3)

$$f(x) = h(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) + g(x_1, \dots) \quad (2)$$

เมื่อ  $f$  คือ ค่าฮิวริสติกของเวลาในการเดินทางระหว่างสถานที่ที่จนกลับไปยังจุดเริ่มต้น

$h$  คือ ค่าฮิวริสติกของเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่ปัจจุบันถึงสถานที่เป้าหมาย

$g$  คือ ค่าฮิวริสติกของเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากสถานที่สุดท้ายกลับไปยังสถานที่เริ่มต้น

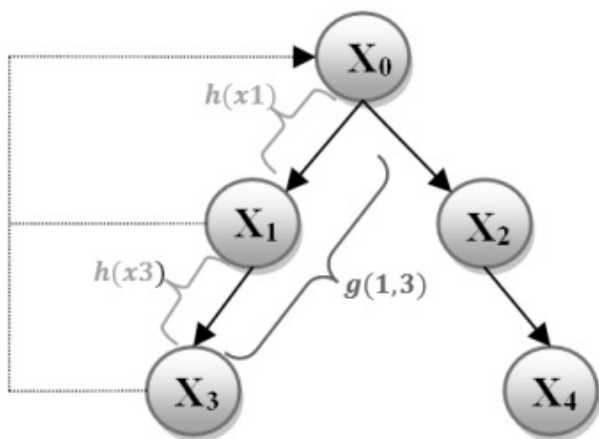


Figure 2 An overview of SPS technique.

Table 3 The pseudo code for SPS technique

```

SPS_Technique(Itinerary)
prioritize all places x in priority queue based on the least value of f(x),
sort ascending
while stopping criteria not met do
    for i=1 to count_all_places do
        pop the first place x from priority queue which is not visited
        push the place x into the Route, modified Route
        f(route)=f(x) + Visiting Time
    if check constraints f(route) valid then
        accept the Route as current solution (S)
        accept the f(route) as current Cost of S, C(S)
        modified a heuristic f, h, g of all places in priority queue
    else
        go to pop the first place x from priority queue again
    end if
end for
end while
return generated solution, priority queue
    
```

Table 4 An example of assigning places into initial itinerary

Iteration	Candidate Solution	f(x)	S
1	0-1-0	205	0-1-0
	0-2-0	139	0-2-0
	0-3-0	178	0-3-0
	0-4-0	<b>74</b>	<b>0-4-0 P</b>
2	0-4-1-0	258	0-4-1-0
	0-4-2-0	<b>150</b>	<b>0-4-2-0 P</b>
	0-4-3-0	247	0-4-3-0
3	0-4-2-1-0	328	0-4-2-1-0
	0-4-2-3-0	<b>321</b>	<b>0-4-2-3-0 P</b>

ในการทำงานจะเริ่มต้นสร้างเส้นทางการเดินทางที่สถานที่  $x_0$  จากนั้นใช้แถวคอยลำดับความสำคัญ (Priority Queue) จัดอันดับให้สถานที่  $x$  ที่เหลืออยู่ โดยสถานที่  $x$  ใดมีค่า  $f(x)$  น้อยกว่าจะถือว่ามีความสำคัญมากกว่า ในแต่ละรอบของการทำงาน จะเลือกสถานที่  $x$  ที่ไม่เคยไปมาก่อนและมีค่า  $f(x)$  ต่ำที่สุดให้มาอยู่ในเส้นทาง (Route) จากนั้นคำนวณค่า  $f(route)$  ซึ่งหมายถึงค่าของเวลาทั้งหมดของแผนการเดินทางในขณะนั้น โดยบวกระยะเวลาที่แวะเที่ยว ณ สถานที่นั้น (Visiting Time) เข้าไปด้วยในการยอมรับให้สถานที่  $x$  มาอยู่ในเส้นทาง จะต้องตรวจสอบกับเงื่อนไขบังคับด้านเวลาของแผนการเดินทางหากอยู่ในเงื่อนไขบังคับก็จะยอมรับให้เป็นคำตอบปัจจุบัน (S) จากนั้นปรับค่าฮิวริสติก  $f, h$  และ  $g$  ของสถานที่ที่จะถูกพิจารณาต่อและปรับคิวน้อยคอย แต่หากไม่อยู่ใน

เงื่อนไขบังคับก็จะวนกลับไปสร้างเส้นทางใหม่ด้วยการเลือกสถานที่  $x$  ที่อยู่ในแถวคอยในลำดับถัดไปขึ้นมาจนกว่าจะได้แผนการเดินทางที่เหมาะสม กล่าวคือ หยุดเมื่อค่า  $f(\text{route})$  มีค่ามากกว่าค่าเวลาของแผนการเดินทาง หรือเมื่อแถวคอยไม่มีสถานที่แล้ว

ตัวอย่างการประมวลผลเพื่อค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้เบื้องต้นตามเทคนิคเอสพีเอสแสดงดัง (Table 4) ซึ่งหลังจากจบการประมวลผลจะได้แผนการเดินทางเบื้องต้น (S) ซึ่งอธิบายได้ว่า เริ่มต้นเดินทางออกจากสถานที่ 0 ไปยังสถานที่ 4 2 และ 3 ตามลำดับ จากนั้นสิ้นสุดการเดินทางและกลับมายังจุดเริ่มต้นสถานที่ 0 เวลาของแผนการเดินทางเท่ากับ 321 นาที

## 2. กระบวนการปรับปรุงแผนการเดินทาง (The Process of Improvement Solution)

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการหลักที่สำคัญที่จะทำให้ได้มาซึ่งคุณภาพของคำตอบที่ดีกว่าเดิม ประกอบด้วยการทำงาน 3 ส่วนหลักดังนี้

### 1) ส่วนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง

เป็นขั้นตอนการค้นหาคำตอบใหม่ (S') ที่น่าจะดีกว่าเดิม ซึ่งใช้หลักในการสับเปลี่ยน<sup>12</sup>(Swap) มาช่วยในการค้นหาซึ่งอาจเปลี่ยนทิศทาง (Vector) ในการค้นหาให้เข้าไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้ สำหรับการเลือกสถานที่ที่จะมาสับเปลี่ยนนั้น ได้เสนอการใช้เทคนิคเอสพีเอสแทนการสุ่ม โดยมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1: เริ่มสร้างคำตอบใหม่ S'** โดยใช้คำตอบปัจจุบัน S เป็นฐานในการคำนวณสับเปลี่ยน

**ขั้นตอนที่ 2: สับเปลี่ยนคำตอบใน S เพื่อค้นหา S'** ตามหลักการพื้นฐานของการค้นหาคำตอบใกล้เคียงที่ว่า คำตอบใหม่คือคำตอบใกล้เคียงที่อยู่รอบ ๆ คำตอบปัจจุบัน ดังนั้น สถานที่ที่จะสับเปลี่ยนกันจึงต้องเป็นสถานที่ที่บรรจุอยู่ใน S แล้วโดยเริ่มการสับเปลี่ยนจากสถานที่  $x$  ในระดับที่ 1 หรือ Layer 1 ก่อน (แทนด้วย L1) ในการเลือกว่าสถานที่  $x$  นั้นจะสับเปลี่ยนกับสถานที่ใด จะใช้เทคนิคเอสพีเอสในการเลือก (ทำเหมือนกับกระบวนการสร้างแผนการเดินทางเบื้องต้น) กล่าวคือ เลือกสถานที่ที่ใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุดจากสถานที่ที่อยู่ในปัจจุบันมาสับเปลี่ยน โดยพิจารณาค่า  $h(x)$  ที่น้อยที่สุดในขณะนั้น หากสถานที่ที่อยู่ในแถวคอยใน L1 หมดยุติให้ย้ายไปสับเปลี่ยนคำตอบที่ L2, L3 จนถึง Ln ต่อไปสุดท้ายเมื่อการสับเปลี่ยนสำเร็จจะได้เส้นทางที่เป็นคำตอบใหม่ S'

**ขั้นตอนที่ 3: ตรวจสอบ S' ว่าอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลาใช้หรือไม่** หากใช่ ให้ไปขั้นตอนที่ 4 แต่หากไม่ใช่ให้คงคำตอบไว้ที่ S เหมือนเดิม และทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ต่อไปจนกว่าจะได้ S' ที่อยู่ในเงื่อนไขบังคับ

**ขั้นตอนที่ 4: พิจารณาการยอมรับ S'** ให้เป็นคำตอบปัจจุบัน ซึ่ง S' จะถูกยอมรับได้หากคำตอบใหม่ดีกว่าเดิมหรือมีค่าความน่าจะเป็นในการเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อขั้นตอนการพิจารณาการยอมรับคำตอบ) หากยอมรับให้ S' เป็น S ให้ปรับปรุงค่าวิริสติก  $f, h, g$  และลำดับในแถวคอยและไปยังขั้นตอนที่ 5 แต่หากไม่ยอมรับให้คงคำตอบไว้ที่ S เหมือนเดิมและวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ใหม่

**ขั้นตอนที่ 5: ค้นหา S''** ก่อนที่จะเคลื่อนย้ายคำตอบ ส่วนพิเศษเพื่อค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้มากขึ้นจะทำงาน ซึ่งส่วนพิเศษนี้จะค้นหาเส้นทาง S'' ที่เยือนสถานที่ได้มากกว่าคำตอบเดิม (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อส่วนพิเศษเพื่อค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้มากขึ้น) จากนั้นตรวจสอบว่า S'' อยู่ในเงื่อนไขใช่หรือไม่ หากใช่ ก็จะยอมรับให้ S'' เป็น S แต่หากไม่ใช่ ให้คงคำตอบไว้ที่เดิม

**ขั้นตอนที่ 6: บันทึกเส้นทางคำตอบในตัวแปรที่ใช้ในการจัดเก็บคำตอบ** จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-5 จนกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือครบจำนวนครั้งของการทำซ้ำที่ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า ขั้นตอนนี้จะทำให้มีคำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum)

**ขั้นตอนที่ 7: ปรับลดค่าพารามิเตอร์ T** ตามฟังก์ชัน  $\alpha(T)$  ที่ได้กำหนดไว้ตามตารางการจัดการการอบเหนียว (Set Cooling Schedule) แล้วเริ่มทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 1-5 ใหม่อีกครั้ง กระบวนการยุติเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งในกระบวนการยุติการทำงานเป็นจริง

2) ส่วนพิเศษเพื่อค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้มากขึ้น

ในปัญหาวิจัยครั้งนี้ที่มีการคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ส่งผลให้บางแผนการเดินทางไม่สามารถเยือนทุกสถานที่ที่ผู้ใช้ระบุได้เพราะใช้เวลาของแผนการเดินทางเกินกรอบที่กำหนด เพื่อให้แผนยังอยู่ในเงื่อนไขบังคับด้านเวลา ขั้นตอนวิธีจึงต้องพิจารณาตัดบางสถานที่ออกทำให้ในแต่ละรอบของการวนซ้ำมีบางสถานที่ที่ยังเหลืออยู่และยังไม่ถูกรวบรวมในแผนการเดินทาง (แทนด้วยสถานที่  $y$ ) ดังนั้น จึงได้เสนอส่วนพิเศษเพื่อค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้มากขึ้น ซึ่งอยู่ในขั้นตอนที่ 5 ของส่วนการค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Table 2; procedure Add\_remaining\_place ()) วัตถุประสงค์คือ เพื่อเพิ่มคุณภาพของคำตอบจากการที่แผนการเดินทางสามารถเยือนสถานที่ได้หลายแห่งมากขึ้นนั่นเอง

หลักการการทำงานใช้หลักการสำรวจว่า หากมีสถานที่  $y$  ที่ยังเหลืออยู่และยังไม่ถูกรวบรวมใน S แล้ว สามารถ

เพิ่มสถานที่  $y$  ต่อท้าย (Push) เข้าไปใน  $S'$  ได้อีกหรือไม่ หลักในการพิจารณาเลือกสถานที่  $y$  ใช้เทคนิคเอสพีเอสในการเลือก กล่าวคือ เลือกสถานที่  $y$  จากค่า  $f(y)$  ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งส่วนพิเศษนี้จะสร้างเส้นทางคำตอบใหม่อีกหนึ่งเส้นทางนั่นคือ  $S''$  ที่เยือนสถานที่ได้มากกว่าเส้นทางคำตอบเดิม

3) ส่วนการพิจารณายอมรับคำตอบ

ส่วนการทำงานนี้เป็นแนวคิดพื้นฐานของขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวเป็นส่วนใหญ่ที่ใช้พิจารณาว่าควรจะใช้คำตอบใหม่เป็นคำตอบหรือสถานะใหม่ของระบบหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบคำตอบเพื่อที่จะกระจายความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนสถานะของระบบไป ซึ่งทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการติดอยู่ในคำตอบที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขแต่มีคุณภาพของคำตอบไม่ดีหรือที่เรียกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะที่ โดยส่วนการทำงานนี้จะแทรกอยู่ในทุก ๆ การสร้างเส้นทางคำตอบใหม่ที่เป็นไปได้ขึ้นมา (ทั้ง  $S'$  และ  $S''$ ) หลักการทำงานคือ ในการที่จะพิจารณายอมรับให้  $S'$  หรือ  $S''$  เป็นคำตอบ  $S$  ของระบบจะทำโดยเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของต้นทุน (Cost) (ในที่นี้ต้นทุน คือจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในแผนการเดินทาง) แทนด้วย  $\Delta E$  ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3

$$\Delta E = C(S) - C(S') \tag{3}$$

เมื่อ  $C(S)$  คือ จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในแผนการเดินทางปัจจุบัน

$(S')$  คือ จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในแผนการเดินทางใหม่

$\Delta E$  คือ ค่าความแตกต่างระหว่างจำนวนสถานที่

ถ้า  $\Delta E < 0$  ก็จะยอมรับให้คำตอบใหม่เป็นคำตอบปัจจุบันแทน และย้ายสถานะการค้นหาไปที่จุดที่คำตอบนั้นอยู่ แต่ถ้าคำตอบใหม่ไม่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันก็อาจจะถูกยอมรับหรือไม่ยอมรับก็ได้โดยพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบใหม่ (Acceptance Probability Function:  $prob(\Delta E)$ ) ซึ่งหาได้จากสมการที่ 4 เปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann's Probability:  $\beta$ ) ที่ได้จากการสุ่มตัวเลข  $\beta$  ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมา

$$prob(\Delta E) = e^{-\Delta E/kT} \tag{4}$$

เมื่อ  $e$  คือ มีค่าประมาณ 2.718

$k$  คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์

$T$  คือ ค่าอุณหภูมิของระบบ

ถ้า  $prob(\Delta E) > \beta[0,1]$  แล้ว จะยอมรับให้  $S'$  เป็นคำตอบปัจจุบัน แต่หากไม่ใช่ให้คงคำตอบไว้ที่  $S$  เหมือนเดิม โดยที่  $prob(\Delta E)$  ขึ้นอยู่กับ  $\Delta E$  ในขณะนั้นกับค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิ  $T$  ในช่วงแรกของการค้นหา ความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบที่แย่กว่าจะมีมาก แต่เมื่อค้นหาไประยะหนึ่งค่า  $T$  ถูกปรับลดลงความน่าจะเป็นในการยอมรับคำตอบใหม่ที่แย่กว่าคำตอบปัจจุบันที่สร้างขึ้นในระยะหลังมักจะไม่ถูกยอมรับจนนำไปสู่การยุติการทำงานต่อไป

3. ภาวะจบการยุติการทำงาน (Stopping Criteria)

ในกระบวนการนี้ จะมีการพิจารณาการยุติการทำงานซึ่งจะยุติเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 0.01 หรือจำนวนครั้งของการค้นหาคำตอบที่ไม่มีการปรับปรุงค่าคำตอบให้ดีขึ้นเท่ากับ 200 ครั้ง หรือเมื่อค้นหาทุกเส้นทางแล้ว (อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อ พารามิเตอร์กำหนดการหยุดทำงาน)

การออกแบบการทดลอง

สำหรับการออกแบบการทดลองประกอบด้วย การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองกับเทคนิคที่พัฒนามาจากพื้นฐานของวิธีการจำลองการอบเหนียวจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องซึ่งจะใช้สำหรับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม การกำหนดพารามิเตอร์นี้ประกอบด้วย

1. พารามิเตอร์กำหนดการลดลงของอุณหภูมิ  $\alpha (T)$

โดยที่  $\alpha$  เป็นค่าคงที่ที่มีค่าใกล้เคียงและน้อยกว่า 1 และ  $T$  คืออุณหภูมิ ซึ่ง  $\alpha$  นี้ใช้กำหนดการปรับลดลงของอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการค้นหาคำตอบ ถ้า  $\alpha$  มีค่าน้อย การลดลงของ  $T$  จะไวขึ้น ทำให้การเข้าสู่คำตอบเร็วในทางตรงข้ามเมื่อ  $\alpha$  มีค่ามาก การลดลงของ  $T$  ก็จะช้าลง ส่งผลให้เวลาการค้นหาคำตอบก็จะเพิ่มมากขึ้นจากการสังเกตการทดลองเบื้องต้น พบว่า เมื่อพื้นที่การค้นหาใหญ่ขึ้นแต่ยังใช้เวลาเพียงไม่กี่ไมโครวินาที ดังนั้นเวลาไม่กี่ไมโครวินาทีจึงไม่เป็นปัญหา จึงกำหนดค่า  $\alpha$  เท่ากับ  $0.9^{13}$  หรือ  $\alpha (T) = 0.9 * \alpha (T_{-1})$

2. พารามิเตอร์อุณหภูมิเริ่มต้น  $T_0$

ใช้กำหนดความน่าจะเป็นของการยอมรับคำตอบที่ได้จากการเริ่มแก้ไขปัญหาดังด้วยกระบวนการจำลองการอบเหนียว กำหนด  $T_0$  ที่  $0.8^{14}$

3. พารามิเตอร์กำหนดการหยุดทำงานกำหนดให้

เพื่อพิจารณาการยุติการทำงานดังต่อไปนี้

1) ยุติการทำงานเมื่อพารามิเตอร์อุณหภูมิสุดท้ย  $T_{min}$  เท่ากับ 0.01 เมื่อมีการปรับค่า  $T$  ตาม  $\alpha(T)$  ค่า  $T$  จะถูกลดต่ำลงเรื่อย ๆ ในการทดลองนี้ จึงกำหนดใช้  $T_{min}$  เพื่อเป็นเกณฑ์ในการหยุดการทำงานของระบบ โดยกำหนด  $T_{min}$  ที่ 0.01 ให้เป็นอุณหภูมิสุดท้ยซึ่งเป็นค่าที่เพียงพอแล้วก่อนที่  $T$  ลดต่ำลงจนมีค่าเป็นศูนย์<sup>14</sup>

2) ยุติการทำงานเมื่อพารามิเตอร์ Max\_noimprove เท่ากับ 200 ครั้งโดยปกติแล้วจำนวนครั้งของการค้นหาคำตอบที่ไม่มีการปรับปรุงค่าคำตอบให้ดีขึ้นหรือ Max\_noimprove จะถูกกำหนดไว้ก่อนล่วงหน้าและต้องเพียงพอกับจำนวนครั้งในการวนรอบค้นหาคำตอบแต่ต้องไม่มากจนเกินไป<sup>13</sup> เพราะจะส่งผลต่อเวลาในการประมวลผลให้มากขึ้น ในการทดลองนี้ ด้วยเวลาในการค้นหาคำตอบที่ไม่ได้แตกต่างกันมากนักแต่ยังสามารถให้คุณภาพคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงที่ดีที่สุดได้ ดังนั้น จึงกำหนด Max\_noimprove ที่ 200 ครั้ง กล่าวคือ หากการค้นหาไม่พบคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่ดีที่สุดที่รู้มา 200 ครั้ง ก็ จะยุติกระบวนการทั้งหมด

3) ยุติการทำงานเมื่อค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้แล้วโดยเมื่อค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้แล้ว กระบวนการทั้งหมดก็สามารถยุติการทำงานทั้งหมดได้

**วิธีการทดลอง**

ในการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพทำโดยเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้และขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวดั้งเดิม ในปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาจำกัด ซึ่งทำโดยการประมวลผลขั้นตอนวิธีละ 100 ครั้งตามข้อมูลและพารามิเตอร์ที่ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาเดียวกันในแต่ละสถานการณ์จำลองซึ่งสร้างจากจำนวนสถานที่ที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3-25 แห่ง ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองในสถานการณ์ที่มีจำนวนสถานที่ 3 แห่งแสดงดัง (Table 5)

เนื่องจากแผนการเดินทางที่ได้จากการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธีมีความแตกต่างกันกล่าวคือ ในสถานการณ์จำลองเดียวกัน

การประมวลผลครั้งแรกใช้เวลาในการประมวลผล 0.05 วินาที โดยมีจำนวนสถานที่ที่ไปได้มากที่สุดคือ 15 แห่งในขณะที่การประมวลผลครั้งที่สองใช้เวลาในการประมวลผล 0.04 วินาที โดยมีจำนวนสถานที่ที่ไปได้มากที่สุดคือ 12 แห่ง ซึ่งถือว่าแผนการเดินทางดังกล่าวมีความแตกต่างกัน ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์ข้อมูลเป็นไปอย่างถูกต้อง ในการทดลองของงานวิจัยนี้จึงเก็บผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์จาก 3 รูปแบบ

แบบ ได้แก่ จากกรณีเฉลี่ย (Average Case) จากกรณีที่ดีที่สุด (Best Case) และจากกรณีที่แย่ที่สุด (Worse Case) จากนั้นนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ใน ด้านเวลาในการประมวลผล ซึ่งหากขั้นตอนวิธีใดใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าจะถือว่าขั้นตอนวิธีนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่าและด้านคุณภาพของคำตอบที่หากขั้นตอนวิธีใดประมวลผลแล้วได้จำนวนสถานที่หลายแห่งมากกว่าจะถือว่าขั้นตอนวิธีนั้นมีประสิทธิภาพดีกว่า โดยกำหนดการทดลองในแต่ละรูปแบบดังนี้

**Table 5** An example of dataset with 3 places.

Place	Travel Time between Place (Sec)				Visiting Time(Sec)
	0	1	2	3	
0	0	100	69	90	0
1	105	0	143	187	120
2	70	140	0	153	35
3	85	185	165	0	60

*รูปแบบที่ 1 การวิเคราะห์จากกรณีเฉลี่ย*

*ด้านเวลาในการประมวลผล* วิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้านคุณภาพของคำตอบ วิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของจำนวนสถานที่ที่อยู่ในแผนการเดินทาง ซึ่งทั้งสองด้านวิเคราะห์จากการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีโดยเฉลี่ยจากการคำนวณ 100 ครั้ง ในแต่ละสถานการณ์จำลอง

*รูปแบบที่ 2 การวิเคราะห์จากกรณีที่ดีที่สุด*

*ด้านเวลาในการประมวลผล* วิเคราะห์จากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อพบแผนการเดินทางที่ให้จำนวนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดจากการประมวลผล 100 ครั้ง หากพบคำตอบที่ดีที่สุดหลายครั้งจะเลือกจากครั้งที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุดสำหรับด้านคุณภาพของคำตอบวิเคราะห์จากจำนวนสถานที่ที่ได้จากการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อพบแผนการเดินทางที่ให้จำนวนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดจากการประมวลผล 100 ครั้ง

*รูปแบบที่ 3 การวิเคราะห์จากกรณีที่แย่ที่สุด*

*ด้านเวลาในการประมวลผล* วิเคราะห์จากเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อพบแผนการเดินทางที่ให้จำนวนสถานที่น้อยแห่งที่สุดจากการประมวลผล 100 ครั้ง หากพบคำตอบที่แย่ที่สุดหลายครั้งจะวิเคราะห์จากครั้งที่ใช้เวลาในการประมวลผลมากที่สุดสำหรับด้านคุณภาพของคำตอบ วิเคราะห์จากจำนวนสถานที่ที่ได้จากการประมวลผลของ



แต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อพบแผนการเดินทางที่ให้จำนวนสถานที่น้อย  
แห่งที่สุดจากการประมวลผล 100 ครั้ง

### เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของ  
ขั้นตอนวิธี เขียนด้วยภาษาPHP3ประมวลผลการทดลองบน  
เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางชนิด Intel(R)  
Core(TM) i5 M560 ความถี่ 2.76 กิกะเฮิรตซ์หน่วยความจำ  
สำรองขนาด 4 กิกะไบท์ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window 7 แบบ  
32 บิต

### ผลการทดลอง

ผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอน  
วิธีที่เสนอปรากฏใน (Table 6-8) และ (Figure 3-11) โดยที่  
*place* หมายถึง จำนวนสถานที่ *SA\_SPS* หมายถึง ขั้นตอน  
วิธีที่นำเสนอ *SA* หมายถึง ขั้นตอนวิธีการค้นหาการรอบเหนียว  
ดั้งเดิม *ER* หมายถึง ขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้  
*S* หมายถึง ผลลัพธ์ (จำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่มากที่สุดที่พบ  
ในแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่แต่ละขั้นตอนวิธีคำนวณได้)  
 $Sec_{tot}$  หมายถึง เวลาในการประมวลผลของแต่ละขั้นตอนวิธี  
 $\%gap S$  หมายถึง ร้อยละความแตกต่างของ *S* ระหว่างขั้นตอน  
วิธีที่นำเสนอกับขั้นตอนวิธีอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ และ  $\%gap$   
 $Sec_{tot}$  หมายถึง ร้อยละความแตกต่างของ  $Sec_{tot}$  ระหว่าง  
ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกับขั้นตอนวิธีอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

### ผลการวิเคราะห์จากกรณีเฉลี่ย

จากการทดลองเพื่อที่จะวิเคราะห์ข้อมูลจากกรณี  
เฉลี่ยทั้งหมดที่เกิดขึ้น ปรากฏผลการทดลองดัง (Table 6) และ

(Figure 3-4) รายละเอียดดังต่อไปนี้

#### ด้านเวลาในการประมวลผล

ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ (*SA\_SPS*) ใช้เวลาในการ  
ประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธี *SA* และขั้นตอนวิธี *ER* โดยมี  
ค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล  
( $\%gap Sec_{tot}$ ) น้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 13.83 และร้อยละ  
99.95 ตามลำดับ (Table 6)

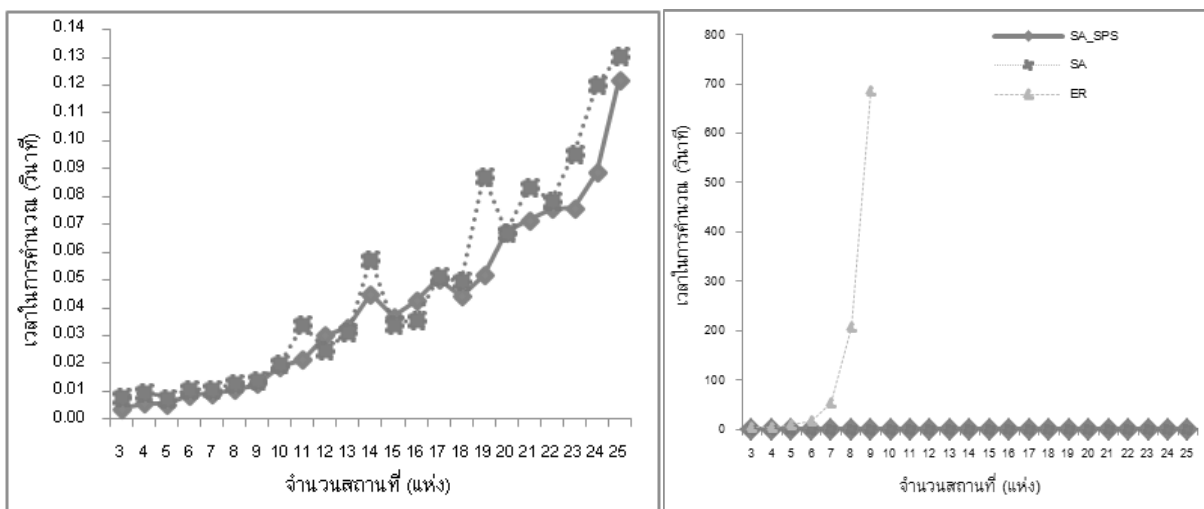
#### ด้านคุณภาพของคำตอบ

ขั้นตอนวิธี *SA\_SPS* ให้คำตอบที่มีคุณภาพเท่ากับ  
หรือดีกว่าขั้นตอนวิธี *SA* ในทุกสถานการณ์จำลองโดยมีค่า  
เฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของคุณภาพคำตอบ ( $\%gap S$ )  
ที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 37.21 (Table 6)

สำหรับการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี *ER* พบว่า  
ขั้นตอนวิธี *SA\_SPS* ได้คำตอบที่มีคุณภาพแยกว่าเล็กน้อย  
โดยมีค่า  $\%gap S$  ที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 9.48 (Table 6)  
สาเหตุเนื่องมาจาก ขั้นตอนวิธี *ER* เป็นการค้นหาทุกรูปแบบ  
เส้นทางที่สามารถไปได้ จึงเป็นการค้นห่าพื้นที่การค้นหาและ  
ให้คำตอบที่ดีที่สุดเสมอ ดังนั้น คำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธี *ER*  
จึงดีกว่า แต่ในทางกลับกัน การที่ขั้นตอนวิธี *ER* ต้องค้นหา  
ทุกรูปแบบการเดินทางจึงใช้เวลาในการประมวลผลสูง และเมื่อ  
มีการเพิ่มจำนวนสถานที่ รูปแบบการเดินทางที่เป็นไปได้ก็เพิ่ม  
มากขึ้นเป็นหลายเท่าตัว ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผล  
เพื่อสร้างรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดสำหรับการค้นหาของขั้น  
ตอนวิธี *ER* เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ด้วยข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์  
ที่ใช้ในการทดลองที่ไม่สามารถประมวลผลได้ การทดลองของ  
ขั้นตอนวิธี *ER* จึงยุติการทดลองที่จำนวนสถานที่ 9 แห่ง

**Table 6** Comparison results for the average case.

place	S			Sec <sub>tot</sub>			%gap S		%gap Sec <sub>tot</sub>	
	SA_SPS	SA	ER	SA_SPS	SA	ER	SA	ER	SA	ER
3	3	3	3	0.00378	0.00798	3.44355	0	0	52.69735	99.89035
4	4	4	4	0.00571	0.00971	5.34347	0	0	41.21134	99.89321
5	4.60	2.92	5	0.00552	0.00763	10.23446	36.52	-8.70	27.65979	99.94603
6	6	4.69	6	0.00865	0.01096	16.34231	21.83	0	21.07648	99.94706
7	6	4.75	7	0.00912	0.01057	54.34546	20.83	-16.67	13.75417	99.98322
8	6	3.82	8	0.01056	0.01300	208.45435	36.33	-33.33	18.73071	99.99493
9	8.36	4.89	9	0.01281	0.01373	685.34523	41.51	-7.66	6.69327	99.99813
10	9.69	7.5	-	0.01892	0.02001	-	22.60	-	5.43726	-
11	11	9.96	-	0.02145	0.03395	-	9.45	-	36.83880	-
12	10.95	5.94	-	0.03005	0.02510	-	45.75	-	-19.69004	-
13	12	7.12	-	0.03303	0.03132	-	40.67	-	-5.45971	-
14	14	11.34	-	0.04512	0.05751	-	19.00	-	21.53882	-
15	13	6.12	-	0.03694	0.03412	-	52.92	-	-8.24258	-
16	13.18	5.85	-	0.04259	0.03594	-	55.61	-	-18.51917	-
17	15.09	7.46	-	0.05050	0.05136	-	50.56	-	1.68204	-
18	15	7.48	-	0.04424	0.04961	-	50.13	-	10.82421	-
19	19	11.46	-	0.05190	0.08722	-	39.68	-	40.49529	-
20	19	8.94	-	0.06733	0.06721	-	52.95	-	-0.18363	-
21	21	12.48	-	0.07168	0.08350	-	40.57	-	14.16337	-
22	21	10.5	-	0.07561	0.07861	-	50.00	-	3.81536	-
23	21.50	9.929	-	0.07583	0.09550	-	53.82	-	20.59956	-
24	22.36	9.792	-	0.08867	0.12019	-	56.21	-	26.22071	-
25	23	9.46	-	0.12194	0.13063	-	58.87	-	6.65691	-
<b>Avg.</b>							<b>37.21</b>	<b>-9.48</b>	<b>13.82610</b>	<b>99.95042</b>



**Figure 3** CPU time compare for the average case of SA\_SPS, SA and ER.

**ผลการวิเคราะห์จากกรณีที่ดีที่สุด**

จากการทดลองเพื่อที่จะวิเคราะห์ข้อมูลจากกรณีที่พบแผนการเดินทางที่ให้คำตอบที่มีจำนวนสถานที่หลายแห่ง

มากที่สุด ปรากฏผลการทดลองดัง (Table 7) และ (Figure5-6) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

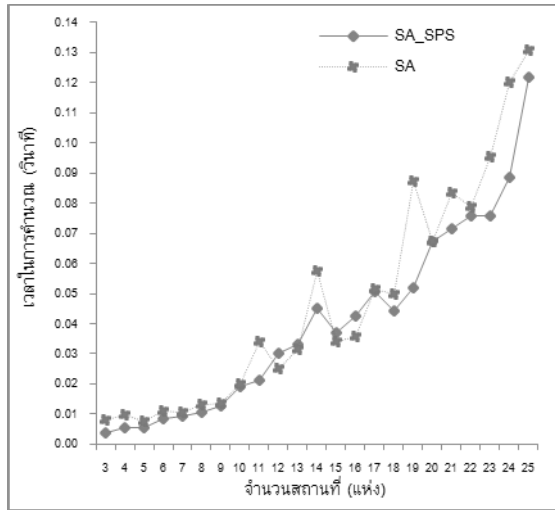


Figure 4 Extension fig.3for CPU time compare for the average case of SA\_SPS and SA.

ด้านเวลาในการประมวลผล  
ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธี SA และขั้นตอนวิธี ER โดยมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (%gap Sec<sub>tot</sub>) น้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 38.58 และร้อยละ 99.97 ตามลำดับ (Table 7)

Table 7 Comparison results for the best case.

place	S			Sec <sub>tot</sub>			%gap S		%gap Sec <sub>tot</sub>	
	SA_SPS	SA	ER	SA_SPS	SA	ER	SA	ER	SA	ER
3	3	3	3	0.00164	0.00297	3.52845	0	0	44.75454	99.95344
4	4	4	4	0.00187	0.00265	5.74324	0	0	29.18715	99.96739
5	5	4	5	0.00220	0.00301	9.23436	20.00	0	26.94611	99.97622
6	6	5	6	0.00371	0.00454	15.23455	16.67	0	18.17981	99.97563
7	6	6	7	0.00434	0.00590	52.45657	0	-16.67	26.32740	99.99172
8	6	6	8	0.00569	0.01564	172.32535	0	-33.33	63.65090	99.99670
9	9	7	9	0.00739	0.01073	580.34230	22.22	0	31.14632	99.99873
10	10	10	-	0.01162	0.02540	-	0	-	54.25771	-
11	11	11	-	0.01236	0.13746	-	0	-	91.01193	-
12	11	9	-	0.01537	0.06286	-	18.18	-	75.54530	-
13	12	10	-	0.01660	0.03808	-	16.67	-	56.40985	-
14	14	14	-	0.02079	0.06387	-	0	-	67.45217	-
15	13	9	-	0.02153	0.02864	-	30.77	-	24.82369	-
16	14	9	-	0.02515	0.02141	-	35.71	-	-17.45202	-
17	16	11	-	0.03819	0.07022	-	31.25	-	45.60926	-
18	15	11	-	0.02926	0.04200	-	26.67	-	30.33593	-
19	19	15	-	0.03631	0.05935	-	21.05	-	38.82262	-
20	19	13	-	0.03887	0.05638	-	31.58	-	31.05412	-
21	21	17	-	0.04141	0.05269	-	19.05	-	21.39617	-
22	21	16	-	0.04607	0.22712	-	23.81	-	79.71645	-
23	22	14	-	0.05219	0.05850	-	36.36	-	10.78706	-
24	23	14	-	0.05771	0.08480	-	39.13	-	31.95052	-
25	23	15	-	0.05784	0.06114	-	34.78	-	5.39581	-
<b>Avg.</b>							<b>18.43</b>	<b>-7.14</b>	<b>38.57864</b>	<b>99.97997</b>

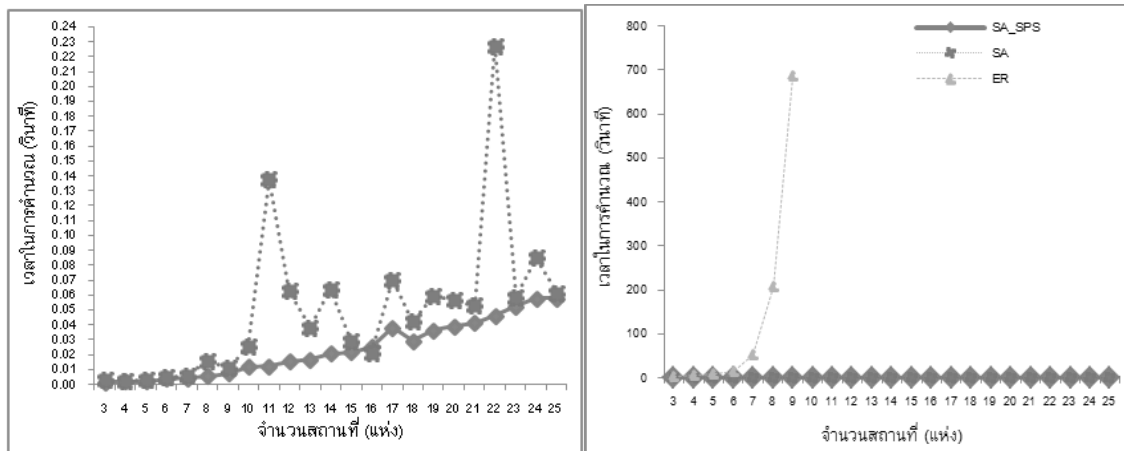


Figure 5 CPU time compare for the best case. of SA\_SPS, SA and ER.

ด้านคุณภาพของคำตอบ

ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ให้คำตอบที่มีคุณภาพเท่ากับหรือดีกว่าขั้นตอนวิธี SA ในทุกสถานการณ์จำลองโดยมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของคุณภาพคำตอบ (%gap S) ที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 18.43 (Table 7) นอกจากนี้ ผลการทดลองยังชี้ให้เห็นว่าถึงแม้ขั้นตอนวิธี SA จะค้นเจอคำตอบที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในหลายชุดข้อมูล แต่หากพิจารณาเวลาที่ใช้ในการประมวลผลรวมด้วยจะพบว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่ามาก

สำหรับการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี ER ผลการทดลองเป็นไปในลักษณะเดิมคือ ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ให้คำตอบที่มีคุณภาพแย่กว่าโดยมีค่า %gap S ที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.14 (Table 7)

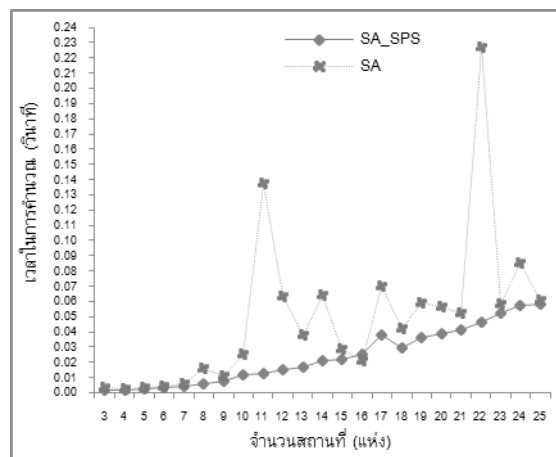
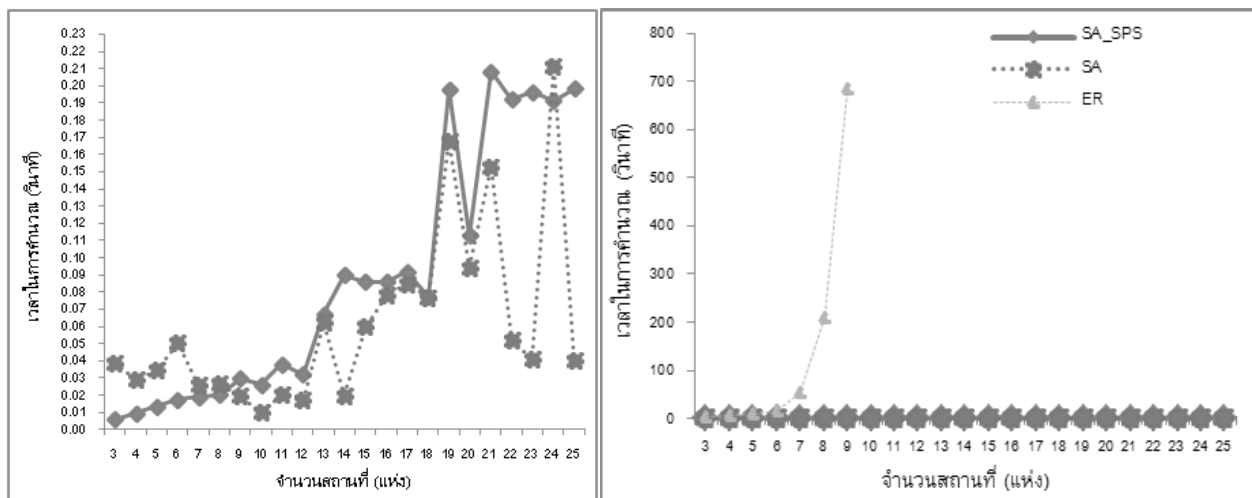


Figure 6 Extension fig.5 for CPU time compare for the best case of SA\_SPS and SA.

**Table 8** Comparison results for the worse case.

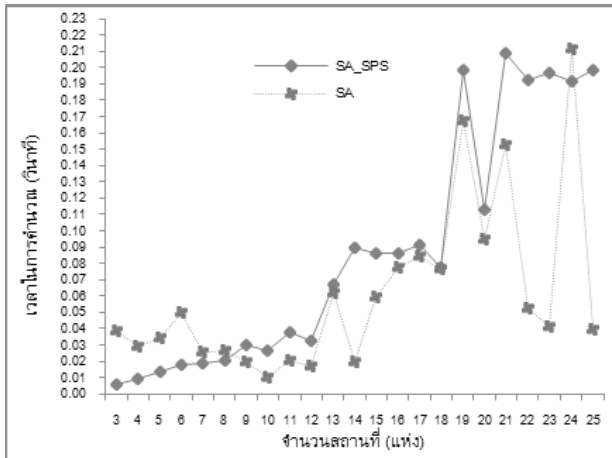
place	S			Sec <sub>tot</sub>			%gap S		%gap Sec <sub>tot</sub>	
	SA_SPS	SA	ER	SA_SPS	SA	ER	SA	ER	SA	ER
3	3	3	3	0.00581	0.03895	5.34237	0	0	85.08601	99.89127
4	4	4	4	0.00943	0.02876	7.34236	0	0	67.19750	99.87151
5	4	2	5	0.01348	0.03436	12.34357	50.00	-25.00	60.75846	99.89077
6	6	4	5	0.01758	0.05030	18.34524	33.33	0	65.05437	99.90418
7	6	4	7	0.01893	0.02586	64.43253	33.33	-16.67	26.77701	99.97061
8	6	2	8	0.02024	0.02648	280.43523	66.67	-33.33	23.55363	99.99278
9	8	2	8	0.02990	0.01948	690.43523	75.00	-12.50	-53.49386	99.99567
10	9	5	-	0.02618	0.01003	-	44.44	-	-160.96710	-
11	11	7	-	0.03823	0.02040	-	36.36	-	-87.44423	-
12	10	2	-	0.03225	0.01689	-	80.00	-	-90.98662	-
13	12	5	-	0.06722	0.06212	-	58.33	-	-8.21475	-
14	14	8	-	0.09002	0.01980	-	42.86	-	-354.59274	-
15	13	4	-	0.08608	0.05980	-	69.23	-	-43.94629	-
16	13	4	-	0.08595	0.07798	-	69.23	-	-10.21235	-
17	15	5	-	0.09182	0.08465	-	66.67	-	-8.47037	-
18	15	5	-	0.07745	0.07671	-	66.67	-	-0.96467	-
19	19	8	-	0.19824	0.16750	-	57.89	-	-18.35577	-
20	19	5	-	0.11289	0.09447	-	73.68	-	-19.50437	-
21	21	7	-	0.20849	0.15286	-	66.67	-	-36.39807	-
22	21	6	-	0.19223	0.05221	-	71.43	-	-268.17912	-
23	21	5	-	0.19640	0.04095	-	76.19	-	-379.63465	-
24	22	6	-	0.19126	0.21158	-	72.73	-	9.60436	-
25	23	4	-	0.19852	0.03986	-	82.61	-	-398.04566	-
<b>Avg.</b>							<b>56.23</b>	<b>-12.50</b>	<b>-69.62519</b>	<b>99.93097</b>



**Figure 7** CPU time compare for the worse case of SA\_SPS, SA and ER.

ผลการวิเคราะห์จากกรณีที่แย่ที่สุด

จากการทดลองโดยการประมวลผล 100 ครั้งของแต่ละขั้นตอนวิธี เพื่อที่จะวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละขั้นตอนวิธีเมื่อพบแผนการเดินทางที่ให้จำนวนสถานที่น้อยแห่งที่สุดปรากฏผลการทดลองดัง Table 8 และ Figure 7-8 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



**Figure 8** Extension fig.5for CPU time compare for the worse case of SA\_SPS and SA.

#### ด้านเวลาในการประมวลผล

ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าขั้นตอนวิธี SA โดยมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ( $\%gap_{Sec_{tot}}$ ) มากกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 69.62 (Table 8) แต่ยังคงใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธี ER โดยมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลน้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 99.93

#### ด้านคุณภาพของคำตอบ

ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ให้คำตอบที่มีคุณภาพเท่ากับหรือดีกว่าขั้นตอนวิธี SA ในทุกสถานการณ์จำลองโดยมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความแตกต่างของคุณภาพคำตอบ ( $\%gap_S$ ) ที่ดีกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 56.23 (Table 8)

สำหรับการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี ER ให้ผลเหมือนเดิมคือขั้นตอนวิธี SA\_SPS ให้คำตอบที่มีคุณภาพแย่กว่าโดยมีค่า  $\%gap_S$  ที่น้อยกว่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 12.50 (Table 8)

จากผลการทดลองในกรณีนี้ที่เมื่อแต่ละขั้นตอนวิธีพบแผนการเดินทางที่ให้คำตอบที่แย่ที่สุดจะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าขั้นตอนวิธี SA โดยเฉลี่ยร้อยละ 69.62 สาเหตุเนื่องจากถึงแม้จะเป็นกรณีคำตอบที่แย่ที่สุด แต่ขั้นตอนวิธี SA\_SPS ยังสามารถให้แผนการเดินทางที่มีจำนวนสถานที่หลายแห่งกว่าขั้นตอนวิธี SA มาก

โดยจะเห็นได้จากค่า  $\%gap_S$  ที่มีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ยถึงร้อยละ 56.23 นั้นหมายถึงจำนวนสถานที่ที่ขั้นตอนวิธีทั้งสองหาได้มีความแตกต่างกันมากนั่นเอง (Table 8) เมื่อมีจำนวนสถานที่ 24 แห่ง ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอสามารถวางแผนการเดินทางให้ไปเยือนสถานที่ได้ถึง 22 แห่ง ในขณะที่ขั้นตอนวิธี SA สามารถวางแผนการเดินทางให้ไปเยือนได้เพียง 6 แห่ง ด้วยสาเหตุนี้ จึงส่งผลให้ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าขั้นตอนวิธี SA

#### การอภิปรายและสรุปผล

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในการทดลองจึงทำโดยเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่นำเสนอกับขั้นตอนวิธีอื่น ได้แก่ ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวกับขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหาการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวที่ต้องการเดินทางไปเยือนสถานที่หลายแห่งมากที่สุดภายในระยะเวลาจำกัดโดยออกแบบให้ทดลองกับสถานการณ์จำลองซึ่งสร้างจากจำนวนสถานที่ท่องเที่ยวที่แตกต่างกันตั้งแต่ 3 ถึง 25 แห่งทำให้งานได้ทั้งสิ้น 23 สถานการณ์จำลอง จากนั้นทำการประมวลผล 100 ครั้งในแต่ละสถานการณ์จำลองในแต่ละขั้นตอนวิธี

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ จากกรณีเฉลี่ยจากกรณีที่ดีที่สุด และจากกรณีที่แย่ที่สุด จากนั้นนำผลการทดลองจากทั้ง 3 รูปแบบไปวิเคราะห์ในด้านเวลาในการประมวลผลและด้านคุณภาพของคำตอบ

ในด้านเวลาในการประมวลผล ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 รูปแบบชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าทุกขั้นตอนวิธีที่นำมาเปรียบเทียบโดยใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ค่อนข้างมาก เนื่องจากขั้นตอนวิธีที่นำเสนอได้ใช้เทคนิคเอสพีเอสแทนการสุ่มจุดในการหาลำดับการผ่านสถานที่ในกระบวนการค้นหาคำตอบเบื้องต้นและใช้สำหรับหลักการสับเปลี่ยนในกระบวนการปรับปรุงคำตอบ ทำให้สามารถจำกัดปริมาณการค้นหาให้แคบลงกว่าเดิมได้จากการที่ได้เริ่มต้นค้นหาในจุดที่ถือว่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด ส่งผลให้ระยะเวลาในการคำนวณลดน้อยลง

ในด้านคุณภาพของคำตอบ ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอให้คุณภาพแย่กว่าขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้เล็กน้อย เนื่องจากขั้นตอนวิธีค้นหาทุกเส้นทางที่เป็นไปได้เป็นการค้นหาทุกรูปแบบเส้นทางและประกันคำตอบที่ดีที่สุดทุกครั้งที่ประมวลผล ดังนั้น คำตอบที่ได้จากขั้นตอนวิธีนี้ย่อมดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอก็ยังให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ การเพิ่มส่วนพิเศษในการค้นหาเส้นทางที่อาจไปเยือนสถานที่ได้ขึ้น ที่ใช้หลักการสำรวจเพื่อหาโอกาสในการเพิ่มสถานที่ท่องเที่ยวที่ผู้ใช้ระบุเข้ามาแต่ยังไม่ถูกจัดลงในแผนการเดินทาง (เนื่องจากบางแผนการเดินทางใช้ระยะเวลาในการท่องเที่ยวเกินกรอบที่กำหนด) ที่ได้นำเสนอในบทความนี้นั้น ยังสามารถปรับปรุงคำตอบให้มีคุณภาพดีขึ้นกล่าวคือ ทำให้ได้แผนการเดินทางที่สามารถไปเยือนสถานที่ได้มากกว่าเดิม

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่มีพื้นฐานจากการค้นหาตามระยะเวลาการเดินทางที่น้อยที่สุดสำหรับการวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลาหรือเรียกชื่อย่อว่า เอสเอ-เอสพีเอสที่ได้มีการดัดแปลงนำเทคนิคเอสพีเอสมาช่วยในการสร้างคำตอบเริ่มต้นและใช้ในหลักการสับเปลี่ยนเพื่อสร้างคำตอบใกล้เคียง โดยประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวที่นำเสนอในบทความนี้ เป็นวิธีที่พบว่ามีความเหมาะสมและใช้งานได้ดีสำหรับปัญหาวิจัยครั้งนี้ ดังผลการวิจัยที่รายงาน

### เอกสารอ้างอิง

- ศศิวิมล กอบัว. การพัฒนาระบบวางแผนการเดินทางท่องเที่ยวภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านเวลา [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
- จิตินันต์ อังสกุล และ ธรา อังสกุล. Online Trip Planners for the Tourism Industry.วารสารเทคโนโลยีสุรนารี 2551;2(1):33-45.
- Blondel V, Tsitsiklis JN. NP-hardness of some linear control design problems. SIAM Journal on Control and Optimization 1997 Nov;35(6):2118-27.
- Banos R, Ortega J, Gil C, Fernandez A, De Toro F. A simulated annealing-based parallel multi-objective approach to vehicle routing problems with time windows. Expert Systems with Applications 2013 Apr 30;40(5):1696-707.
- Tavakkoli-Moghaddam R, Gazanfari M, Alinaghian M, Salamatkahsh A, Norouzi N. A new mathematical model for a competitive vehicle routing problem with time windows solved by simulated annealing. Journal of manufacturing systems 2011 Apr 30;30(2):83-92.
- สุพรรณ สุตสนธิ์, สรายุทธ กรวิรัตน์และนคร สุตสนธิ์. วิธีซิมมูลเตดแอลเนลลิ่งสำหรับการจัดเส้นทางขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่ยืดหยุ่น. Engineering and Applied science Research 2557;41(4): 449-461.
- Fang L, Chen P, Liu S. Particle swarm optimization with simulated annealing for TSP. In: Charles AL, Valeri MM, Zoran B, editors. AIKED 07.Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Artificial Intelligence, Knowledge Engineering and Data Bases; 2007 Feb 16-19; Corfu Island, Greece. Wisconsin USA: WSEAS; 2007. P.206-210.
- Geng X, Chen Z, Yang W, Shi D, Zhao K. Solving the traveling salesman problem based on an adaptive simulated annealing algorithm with greedy search. Applied Soft Computing 2011 Jun 30;11(4):3680-9.
- Leung SC, Zhang Z, Zhang D, Hua X, Lim MK. A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints. European Journal of Operational Research 2013 Mar 1;225(2):199-210.
- Cerny V. Thermodynamical approach to the traveling salesman problem: An efficient simulation algorithm. Journal of optimization theory and applications 1985 Jan 1;45(1):41-51
- Kirkpatrick S, Gelatt CD, Vecchi MP. Optimization by simulated annealing. Science 1983 May 13;220(4598):671-680.
- Waters CD. A solution procedure for the vehicle-scheduling problem based on iterative route improvement. Journal of the Operational Research Society 1987 Sep 1;38(9):833-839.
- กิตติภาพ คนดี. การพัฒนาเทคนิคการกำหนดตำแหน่งติดตั้งโหนดอ้างอิงสำหรับระบบระบุตำแหน่งไร้สายภายในอาคารหลายชั้น [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2557.
- Kirkpatrick S. Optimization by simulated annealing: Quantitative studies. Journal of statistical physics 1984 Mar 1;34(5-6):975-86.

## การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่เติมจุลินทรีย์จาวปลวกและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

### Treatment of Synthetic Wastewater by Up-flow Anaerobic Filter Seeded with Termite Comb Microbes and Purple Non Sulfur Bacteria

กฤษวรรณ อุดมศรี<sup>1</sup>, พีรศักดิ์ หนองคำ<sup>1</sup>, เพชร เพ็งชัย<sup>2\*</sup>

Kritworarot Udomsri<sup>1</sup>, Peerasak Thonkam<sup>1</sup>, Petch Pengchai<sup>2\*</sup>

Received: 9 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของ ซีโอดี ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย และฟอสเฟต ในระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter; UAF) ที่ใช้เชือกเส้นใยไนลอนเป็นตัวกลางน้ำเสียเข้าระบบเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากแป้ง นม และน้ำประปาให้มีความเข้มข้นซีโอดีอยู่ในช่วง 525 - 766 มก./ล. UAF ที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1. UAF ที่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวก (TM-UAF) 2. UAF ที่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (PNB -UAF) และ 3. UAF ที่ไม่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (NON-B-UAF) โดยน้ำเสียบำบัดแล้วถูกปล่อยออกจากถัง 3 ถังที่ระดับความสูง 0.9 เมตร คิดเป็นระยะเวลาพักเก็บ 5.1 ชั่วโมง อัตราการระบรทุกซีโอดี 2.8 กิโลกรัม-ซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ผลการทดลองพบว่า TM-UAF และ PNB -UAF มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 68-75 % ไนเตรท 74-81 % แอมโมเนีย 60-62 % และฟอสเฟต 77-81 % ซึ่งสูงกว่า NON-B-UAF อย่างไรก็ตาม สำหรับการบำบัดไนเตรท พบว่า NON-B-UAF และ PNB -UAF มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน คือ 33-34% ซึ่งสูงกว่า TM-UAF

**คำสำคัญ:** ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น จุลินทรีย์จาวปลวก จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง ซีโอดี ไนเตรท ไนไตรท์ แอมโมเนีย ฟอสเฟต

#### Abstract

This research investigated removal efficiencies of COD, nitrate, nitrite, ammonia, and phosphate in Upflow Anaerobic Filters (UAFs). Nylon ropes were applied as UAFs' filter media. Synthetic wastewater with COD concentrations of 525 - 766 mg/l was prepared from a mixture of milk, flour and tap water. Three types of UAFs were operated in this study, 1) UAF with termite-microbes addition (TM-UAF), 2) UAF with purple non sulfur bacteria addition (PNB -UAF), 3) UAF without microbial addition (NON-B-UAF). Effluent of the UAFs was discharged at 0.9 meters height outlet. COD loading rate of 2.8 kgCOD/m<sup>3</sup>-day with hydraulic retention time of 5.1 hours were applied. The result revealed that TM-UAF and PNB -UAF had higher removal efficiencies compared to NON-B-UAF. They could remove 68-75% of COD; 74-81% of nitrite; 60-62% of ammonia; and 77-81% of phosphate. However, for nitrate removal, NON-B-UAF and PNB-UAF showed higher removal efficiencies of 33-34%.

**Keywords:** Upflow Anaerobic Filter, termite-microbes, purple non sulfur bacteria, COD, nitrite, nitrate, ammonia, phosphate

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาตรี, <sup>2</sup> อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Undergraduate Student, <sup>2</sup> Lecturer, Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

\*Corresponding author: Petch Pengchai, Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.



## บทนำ

การบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพเป็นการบำบัดแบบต้นทุนต่ำ เพราะไม่สิ้นเปลืองพลังงานและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี อย่างไรก็ตามหากเป็นการบำบัดทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Treatment) ก็ยังจัดว่าต้องใช้ต้นทุนสูง เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในการดำเนินงานให้กับเครื่องเติมอากาศ ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic Treatment) ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากไม่ต้องเติมอากาศ รูปแบบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีอยู่ 2 แบบ คือแบบเติบโตแขวนลอย (suspended growth) และแบบฟิล์มชีวภาพ (fixed film growth) ในกรณีนี้คณะผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นซึ่งเป็นระบบฟิล์มชีวภาพชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่ติดตั้งตามสำนักงานและที่พักอาศัยทั่วไป ระบบนี้มีข้อดีคือความเสี่ยงที่จะเกิด Dead Zone น้อยกว่าระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลลง น้ำเสียจึงมีโอกาสสัมผัสตัวกลางได้อย่างทั่วถึง ส่วนข้อเสียของระบบนี้คือ ต้องใช้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียนานพอสมควรเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสูง จึงจำเป็นต้องใช้ถังบำบัดขนาดใหญ่ นักวิจัยได้ใช้วิธีต่างๆ เช่น ใช้วัสดุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสหรือความพรุนมาก<sup>2,3</sup> ใช้จุลินทรีย์ชนิดพิเศษ เช่น thermophilic bacteria<sup>4</sup> หรือ anammox bacteria<sup>5</sup> ซึ่งสามารถย่อยสลายสิ่งสกปรกชนิดที่สนใจได้เร็วขึ้นเพื่อพัฒนาข้อจำกัดในส่วนนี้ ทรงยศ<sup>6</sup> และธรรมบุญ<sup>7</sup> ได้ทดลองเติมจุลินทรีย์จากปลวก (จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในช่องแข็งบริเวณใจกลางรังปลวก) และจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงลงในระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นในช่วงตั้งต้นระบบ พบว่าสามารถบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ร้อยละ 80-90 ที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.6-2.9 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ซึ่งสูงกว่ากรณีไม่เติมจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด<sup>6,7</sup> อย่างไรก็ตามในด้านการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั้นยังมีข้อจำกัดทรงยศพบว่าที่อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ 2.6-2.9 กิโลกรัมซีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วัน ถังที่เติมจุลินทรีย์จากปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนรวม (TN : Total Nitrogen) สูงสุด 37% ซึ่งน้อยกว่าถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จากปลวกซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัด 58%<sup>6</sup> เป็นที่น่าสนใจว่ารูปไนโตรเจนชนิดที่ถูกบำบัดได้ดีในถังที่ไม่เติมจุลินทรีย์จากปลวกเป็นชนิดเดียวกันกับถังที่เติมจุลินทรีย์จากปลวกหรือไม่ ในส่วนของฟอสฟอรัสทรงยศพบว่าทั้งที่เติมและไม่เติมจุลินทรีย์จากปลวกมีประสิทธิภาพการบำบัดฟอสฟอรัสรวมสูงสุดใกล้เคียงกันคือ 68 และ 62% ตามลำดับ<sup>6</sup> เป็นที่น่าสนใจว่าฟอสฟอรัสที่ถูกบำบัดในสองถังดังกล่าวอยู่ในรูปฟอสเฟตเหมือนระบบบำบัดฟอสฟอรัสระบบอื่นๆ<sup>8,9</sup> หรือไม่ การทราบชนิดของไนโตรเจน

และฟอสฟอรัสที่ถูกบำบัดได้ในถังเติมและไม่เติมจุลินทรีย์จากปลวกย่อมจะเป็นประโยชน์ในดูแลและพัฒนาระบบต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองต่อยอดจากงานวิจัยของทรงยศ<sup>6</sup> และ ธรรมบุญ<sup>7</sup> โดยวิเคราะห์ชนิดของไนโตรเจน (แอมโมเนีย ไนโตรที่ไนเตรท) และฟอสฟอรัส (ฟอสเฟต) ในน้ำเสียทั้งก่อนและหลังบำบัดด้วยระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น แล้วนำข้อมูลมาประกอบการพิจารณาสมรรถนะการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีเติมและไม่เติมจุลินทรีย์จากปลวกและจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

## วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ไนโตรที่ไนเตรท แอมโมเนีย และฟอสเฟตของระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น (Upflow Anaerobic Filter) ที่ใช้เชื้อเส้นใยในลอนเป็นตัวกลาง โดยเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่เติมจุลินทรีย์จากปลวกและจุลินทรีย์สังเคราะห์กับกรณีที่ไม่เติมจุลินทรีย์

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 1. วัสดุกรอง

ใช้วัสดุกรอง 1,440 ชิ้นต่อถังกรอง โดยวัสดุกรองแต่ละชิ้นทำจากเชือกในลอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ยาว 10 เซนติเมตร จำนวน 20 เส้นมัดรวมกัน มีพื้นที่ผิว 0.92 ตารางเมตรต่อชิ้น<sup>6,7,10</sup> เมื่อวางลงจนเต็มถึงที่ความสูง 0.9 เมตร พบว่ามีปริมาตรประมาณ 5.76 ลูกบาศก์เมตร

### 2. ระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น

ใช้ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นทำจากท่อ PVC รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร จำนวน 3 ถัง ถังหนึ่งไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง NON-B-UAF) ถังหนึ่งเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (ถัง PNB-UAF) ส่วนอีกถังหนึ่งเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากปลวก (ถัง TM-UAF) ดังแสดงใน Figure 1 แต่ละถังถูกเจาะรูที่ความสูงถึง 0.3 เมตร 0.6 เมตร และ 0.9 เมตรด้านบนของถังกรองทั้ง 2 ถังต่อกับถังพักน้ำเสียปริมาตร 60.3 ลิตรโดยให้ท่อน้ำเข้าถังกรองยาวลงไปถึงก้นถังเพื่อให้ น้ำเสียไหลเข้าระบบแบบไหลขึ้นเช่นเดียวกับที่ระบุไว้ในงานวิจัยของทรงยศ<sup>6</sup> ธรรมบุญ<sup>7</sup> และ ชันวานี<sup>10</sup>

### 3. น้ำเสีย

ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ เตรียมจากแป้งประกอบอาหาร (ตราโกกิ บริษัท เอ็มแอนด์อาร์ โกกิ จำกัด ผลิตในประเทศไทย) 900 กรัม ต่อ นมวัว (แบบ ยู.เอช.ที. รสหวาน ตราวัวแดง บริษัท ไทย-เดนมาร์ค ผลิตในประเทศไทย) 150 กรัม ผสมกับน้ำประปาปริมาตร 600 ลิตร มีค่าซีโอดีอยู่ระหว่าง

400-900 มิลลิกรัม/ลิตร



Figure 1 Up-flow Anaerobic Filter

4. เงื่อนไขการเดินระบบ

4.1 ช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (start-up)

กรณีถึง TM-UAF เริ่มจากการผลิตหัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวกโดยนำจาวปลวก (ของแข็งมีรูปพรุนอยู่ใจกลางรังปลวก) 2 กำมือมาผสมกับข้าวเหนียวหนึ่งสุก 2 กิโลกรัม หมักไว้ในถังที่ผสมน้ำสะอาด 20 ลิตรเป็นเวลา 7 วันจึงได้หัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวกจากนั้นนำหัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวก 7.95 ลิตรใส่ลงในถัง TM-UAF แล้วเติมอาหารเลี้ยงเชื้อและน้ำประปา 7.95 ลิตร เพื่อให้ได้ความเข้มข้น Peptone 5 กรัมต่อลิตร NaCl 5 กรัมต่อลิตร Beef extract 3 กรัมต่อลิตร และ Yeast extract 3 กรัมต่อลิตร หลังจากแช่ตัวกลางทิ้งไว้ในถังกรอง 7 วันจึงเวียนน้ำออกจากถังที่จุดน้ำออกสูงจากกันถึง 0.9 เมตรแล้วนำกลับเข้าถังใหม่เป็นเวลา 7 วันเพื่อให้จุลินทรีย์เกาะกับตัวกลาง จากนั้นปล่อยน้ำเข้าออกระบบโดยไม่เวียนกลับอีก 7 วันก่อนเริ่มเก็บตัวอย่างมาตรวจวัดกรณีถึง PNB-UAF นั้นทำทุกอย่างเหมือนถึง TM-UAF เพียงแต่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงเพื่อการเกษตร (ชื่อผลิตภัณฑ์สยามโรโต) ลงไปแทนหัวเชื้อจุลินทรีย์จาวปลวก ส่วนถึง NON-B-UAF นั้นทำทุกอย่างเหมือนถึง TM-UAF เพียงแต่ใส่น้ำประปาลงไปแทนหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

4.2 ช่วงบำบัดน้ำเสีย

เดินระบบโดยใช้อัตราการไหล 47.7 ลิตร/วัน โดยปล่อยน้ำออกด้านบนสุดของถังที่ความสูง 0.9 เมตรคิดเป็นระยะเวลาที่เก็บ 5.1 ชั่วโมง และอัตราการบรรทุกชีโอดีเฉลี่ย 8.5 กิโลกรัมชีโอดี/ลูกบาศก์เมตร-วันเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าถังกรองและออกจากถังกรองแต่ละถังที่ระยะความสูง

ทั้ง 3 ค่า แล้วตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถังกรอง

5. วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

วิเคราะห์ความเข้มข้น COD โดยวิธี Close Reflux Method วิเคราะห์ความเข้มข้นไนโตรเจนโดยวิธีอัลตราไวโอเลตสเปคโตรโฟโตเมทริกสแกนนิ่ง<sup>11</sup> วิเคราะห์ความเข้มข้นไนเตรทโดยวิธีการทำให้เกิดสี<sup>11</sup> วิเคราะห์ความเข้มข้นแอมโมเนียโดยวิธีเนสเลอโรเซชัน<sup>11</sup> และวิเคราะห์ความเข้มข้นฟอสเฟตโดยวิธีเวนาโดโมลิบโดฟอสฟอริกแอซิด<sup>11</sup>

ผลการทดลอง

ความเข้มข้นชีโอดีในน้ำเข้าและน้ำออกจากถังกรองไว้รออากาศทั้ง 3 ถังเป็นดังแสดงใน Figure 2 กล่าวได้ว่าระบบเริ่มอยู่ในสภาวะคงที่ในช่วงวันที่ 35 ของการเดินระบบเป็นต้นไป

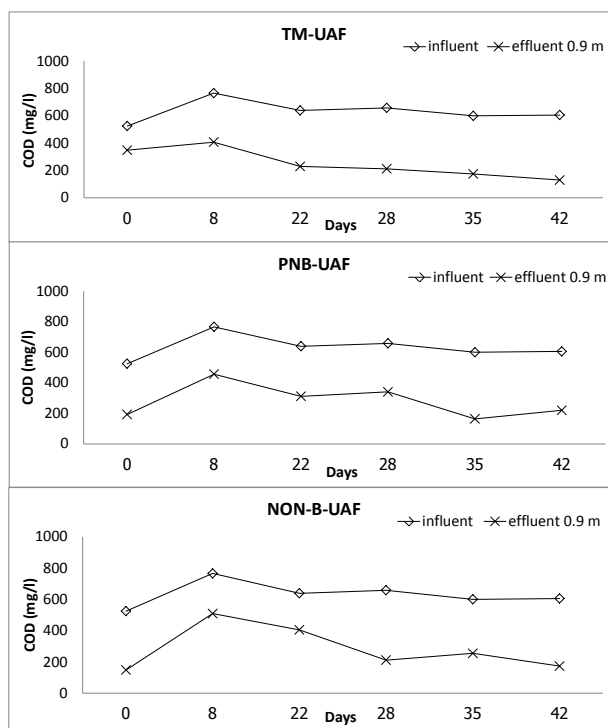


Figure 2 COD concentrations in UAFs

เมื่อนำความเข้มข้น COD ในช่วงดังกล่าวมาคำนวณค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดพบว่าที่ระดับความสูง 0.9 เมตร ถึง TM-UAF มีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงสุด (75%) รองลงมาคือถึง PNB-UAF (68%) ตามด้วยถึง NON-B-UAF (64%) ตามลำดับดังแสดงใน Figure 3 แม้ประสิทธิภาพการบำบัดในงานวิจัยนี้จะมีค่าน้อยกว่าที่พบในงานวิจัยของทรงยศและ ธรรมบุญแต่ก็กล่าวได้ว่า การเติมจุลินทรีย์มีผลเพิ่มความสามารภในการบำบัด COD ของถังกรองไว้รออากาศ

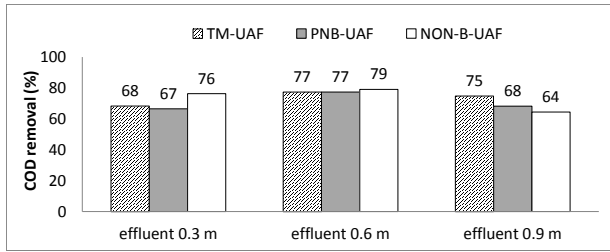


Figure 3 Average COD removal efficiencies

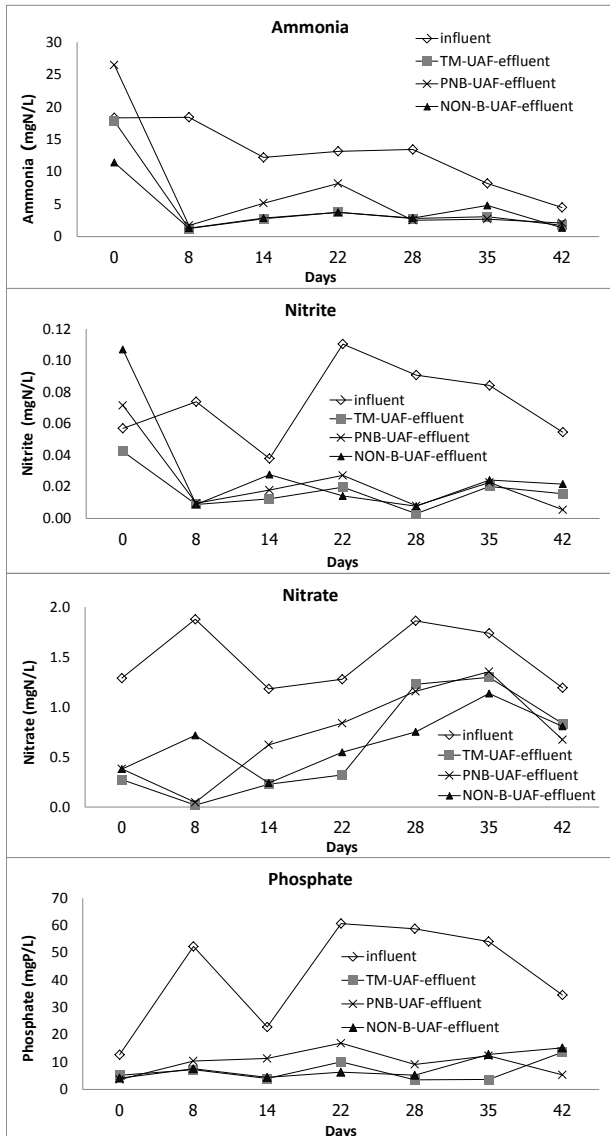


Figure 4 Ammonia, nitrite, nitrate and phosphate concentrations of effluents of various reactors

สำหรับการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสนั้นจาก Figure 4 พบว่าในช่วง 35-42 วัน ของการเดินระบบ น้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นแอมโมเนีย 4-8 มิลลิกรัม/ลิตร ไนไตรท์ 0.05-0.08 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรต 1.2-1.7 มิลลิกรัม/ลิตร และฟอสเฟตเท่ากับ 34-54 มิลลิกรัม/ลิตร ถือว่ามีสารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจนค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับน้ำเสียในงานวิจัย

อื่น เช่น ในงานวิจัยของอรุณวรรณ หวังกอบเกียรติและคณะ<sup>11</sup> จากผลการทดลองพบว่าทั้ง 3 ถังสามารถบำบัดได้ทั้งแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนเตรต และฟอสเฟต โดยถัง TM-UAF บำบัดแอมโมเนียได้ดีที่สุด (62%) ถัง PNB-UAF บำบัดไนไตรท์และฟอสเฟตได้ดีที่สุด (81%) ส่วนถัง NON-B-UAF นั้น บำบัดไนเตรต (34%) ได้ในระดับใกล้เคียงกับถัง PNB-UAF (33%) และสูงกว่าถัง TM-UAF (28%) ดังแสดงใน Figure 5 กล่าวได้ว่าชนิดของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ถูกบำบัดในถังที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์เป็นชนิดเดียวกับที่ถูกบำบัดในถังที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ โดยถังที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและถังที่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์จำพวกมีแนวโน้มจะบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ และฟอสเฟต ได้ดีกว่าถังที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในหัวเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและหัวเชื้อจุลินทรีย์จำพวกมีจุลินทรีย์ที่สามารถบำบัดสารประกอบข้างต้นได้ดังนี้ จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงสามารถบำบัดแอมโมเนีย ไนไตรท์ ไนโตรเจนอนินทรีย์ และไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียได้<sup>12</sup> นอกจากนี้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงยังจัดเป็นจุลินทรีย์สะสมฟอสเฟต (PAOs : Polyphosphate-Accumulating Organisms)<sup>9</sup> ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถบำบัดฟอสฟอรัสได้โดยการสะสมฟอสเฟตไว้ในตัว<sup>13</sup> และแม้อยู่ในภาวะไร้ออกซิเจนก็สามารถบำบัดฟอสเฟตได้<sup>14</sup> ส่วนจุลินทรีย์ที่พบในรังหรือลำไส้ปลวกนั้น มีทั้งชนิดที่กำจัดไนเตรตด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน ชนิดตรึงไนโตรเจนไว้ในตัว ชนิดย่อยสลายกรดยูริกเพื่อผลิตแอมโมเนีย<sup>15</sup> ตลอดจนชนิดที่กำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้ เช่น *Enterobacter*<sup>16,17</sup> ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าจุลินทรีย์ชนิดที่อาศัยอยู่ในถังที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ เช่น จุลินทรีย์ชนิดผลิตก๊าซมีเทน สามารถปะปนเข้าไปอาศัยอยู่ในถังกรองอีก 2 ถังด้วยเช่นกัน

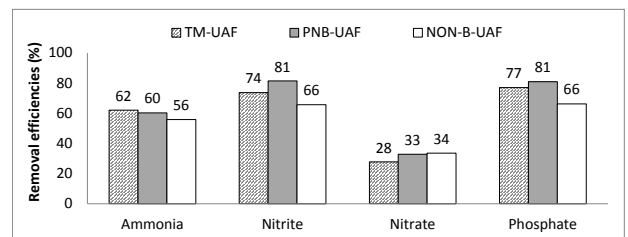


Figure 5 Average removal efficiencies

สำหรับการบำบัดฟอสฟอรัสในรูปฟอสเฟตของระบบนั้น พบว่าเมื่อสัดส่วน COD/PO<sub>4</sub> น้อยกว่า 15 (Figure 6) ถัง TM-UAF และถัง NON-B-UAF จะมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 70 % เสมือนว่าสัดส่วน COD/PO<sub>4</sub> ในน้ำเสียจะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตของระบบ ซึ่งมีแนวโน้มสอดคล้องกับที่ระบุในงานวิจัยของ Panswad และคณะว่า สัดส่วน COD/PO<sub>4</sub> ที่มีค่าต่ำจะกระตุ้นการเจริญเติบโตของ

จุลินทรีย์สะสมฟอสเฟต (PAOs : Polyphosphate-Accumulating Organisms)<sup>๑</sup> แต่ก็เป็นที่น่าทึ่งที่ว่า PAOs จะปล่อยฟอสเฟตออกมาในสภาวะไร้อากาศและกินฟอสเฟตกลับเข้าไปในปริมาณที่มากกว่าเมื่อกลับมาอยู่ในสภาวะมีอากาศ ดังนั้นจึงยังไม่สามารถอธิบายได้ว่าฟอสเฟตในถังกรองถูกกำจัดด้วย PAOs ตามกระบวนการ Enhanced Biological Phosphorus Removal (EBPR) ที่รู้จักกันทั่วไป ทั้งนี้ความเป็นไปได้ที่ฟอสเฟตในน้ำเสียจะถูกบำบัดด้วยการทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำเกิดเป็นตะกอนนั้นยังคงมีอยู่ แต่ไม่น่าเป็นปฏิกิริยาหลักเนื่องจากหากเป็นเช่นนั้นก็น่ามีความแตกต่างระหว่างถังกรองและปริมาณแคลเซียมกับฟอสเฟตไฮดรอกไซด์ในน้ำก็ไม่มากนักพอจะกำจัดฟอสเฟตได้ถึง 70 % ดังจะเห็นได้จากผลวิจัยของ Carlaon และคณะ<sup>๑</sup> ที่พบว่า เมื่อน้ำเสียมีค่าพีเอชเป็นกลาง ฟอสเฟตในน้ำต้องมีความเข้มข้นอย่างน้อย 50 มิลลิกรัม/ลิตร ต่อความเข้มข้นแคลเซียม 100 มิลลิกรัม/ลิตร จึงจะเกิดการตกตะกอนได้<sup>๑</sup>

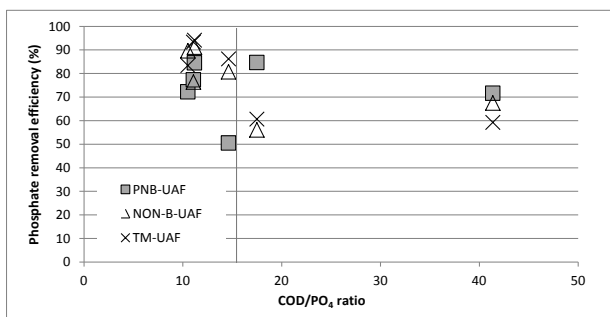


Figure 6 COD/PO<sub>4</sub> ratios vs phosphate removal efficiencies

### สรุปผลการทดลอง

ถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นภายใต้ระยะเวลาพักเก็บ 5.1 ชั่วโมง ในงานวิจัยนี้สามารถบำบัด ซีโอดีไนโตรเจนในเนตรทแอมโมเนีย และฟอสเฟต ได้โดยถึงที่เติมจุลินทรีย์จากปลวกและถึงที่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 68-75 % ไนโตรเจน 74-81% แอมโมเนีย 60-62 % และฟอสเฟต 77-81% ซึ่งสูงกว่าถังที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์อย่างไรก็ตาม สำหรับการบำบัดในเนตรท พบว่าถังที่ไม่เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์และถึงที่เติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน คือ 33-34%

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์เจ้าหน้าที่ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทุกประการ และขอขอบคุณ คุณทรงยศ มงคลพิศ และ คุณธรรมบุญ ม้าวิเศษ ที่ให้คำแนะนำมาโดยตลอด

### เอกสารอ้างอิง

1. ทรงยศ มงคลพิศ, เพชร เพ็งชัย. ความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์จากปลวกในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นโดยใช้เชื้อในถ่อนและตัวกรองไม้ไผ่เป็นตัวกลาง. วารสารวิจัย มข. (บศ.)2559;16 (1): 12-20.
2. Joo-Hwa T, Kuan-Yeow S, Jeyaseelan S. Media Factors Affecting the Performance of Upflow Anaerobic Packed-Bed Reactors. Environmental Monitoring and Assessment 1997; 44(1): 249-261.
3. Bandara W MKRTW, Nanayakkara KGN, Premananth P, Werellagama DRIB. Development of an upflow anaerobic biological filter for domestic use in tropical countries. Annual Research Journal of SLSAJ 2008; 8 ([https://www.researchgate.net/profile/Wasala\\_Bandara/publications](https://www.researchgate.net/profile/Wasala_Bandara/publications)).
4. Tang Y Q, Fujimura Y, Shigematsu T, Morimura S, Kida K. Anaerobic treatment performance and microbial population of thermophilic upflow anaerobic filter reactor treating awamori distillery wastewater. Journal of Bioscience and Bioengineering 2007; 104(4): 281-287.
5. Babaei AA, Azadi R, Jaafarzadeh N, Alavi N. Application and kinetic evaluation of upflow anaerobic biofilm reactor for nitrogen removal from wastewater by Anammox process. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering 2013; 10:20(<http://www.ijehse.com/content/10/1/20>).
6. ทรงยศ มงคลพิศ. การบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยจุลินทรีย์จากปลวกในระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2558.
7. ธรรมบุญ ม้าวิเศษ. การใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2558.
8. Panswad T, Tongkhammak N, Anotai J. Estimation of intracellular phosphorus content of phosphorus-accumulating organisms at different P:COD feeding ratios. Journal of Environmental Management 2007; 84: 141-145.
9. Carlsson H, Aspegren H, Lee N, Hilmer A. Calcium phosphate precipitation in biological phosphorus removal systems. Water Research 1997; 31(5): 951-

1250.

10. ชันวานี จีใจ. การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์แบบยัดเกาะตัวกลางชนิดเส้นใยไผ่ลอยน้โดยระบบถังกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
11. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ. น้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและมาตรฐานคุณภาพน้ำ; 2548.
12. Zhang X, Shu M, Wang Y, Fu L, Li W, Deng B, Liang Q, Shen W. Effect of photosynthetic bacteria on water quality and microbiota in grass carp culture. *World J Microbiol Biotechnol* 2014;30(9):2523-31.
13. Liang CM, Hung CH, Hsu SC, Yeh IC. Purple nonsulfur bacteria diversity in activated sludge and its potential phosphorus-accumulating ability under different cultivation conditions. *Appl Microbiol Biotechnol* 2010; 86(2):709-719.
14. Kim M K, Choi K M, Yin C R, Lee K Y, Im W T, Lim J H, Lee S T. Odorous swine wastewater treatment by purple non-sulfur bacteria, *Rhodospseudomonas palustris*, isolated from eutrophicated ponds. *Biotechnology Letters* 26: 819–822, 2004.
15. Golichenkov M V, Kostina N V, Ul'yanova T A, Dobrovolskaya T G, Umarov M M. Specific Features of Nitrogen Fixation and Denitrification in Termites *Neotermes castaneus*, *Zootermopsis angusticollis*, and *Reticulitermes lucifugus*. *Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences* 2002; 29(2): 172–175.
16. Eutick M L, O'Brien R W, Slaytor M. Bacteria from the Gut of Australian Termites. *Applied and Environmental Microbiology* 1978. 823-828.
17. Usharani K, Muthukumar M, Lakshmanaperumalsamy P. Studies on the Efficiency of the Removal of Phosphate Using Bacterial Consortium for the Biotreatment of Phosphate Wastewater. *European Journal of Applied Sciences* 2009; 1(1): 06-15.

## ผลของโมลิบดีนัมต่อความแข็งของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน

### Effect of Molybdenum on Hardness of Multi-alloyed White Cast Iron following Heat Treatment

ไพบุณย์ โคตรพรหม<sup>1</sup>, สูดสาคร อินธิเดช<sup>2\*</sup>

Paiboon Khoatepome<sup>1</sup>, Sudsakorn Inthidech<sup>2\*</sup>

Received: 11 January 2017 ; Accepted: 21 March 2017

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมโมลิบดีนัม (Mo) ในปริมาณ 0 - 7.5% โดยน้ำหนัก (แทนด้วย %) ต่อการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนทำการชุบแข็งขึ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิ 1323K เป็นเวลา 3.6ks เย็นตัวโดยใช้พัดลมเป่าทำการอบคืนตัวที่ 673-873K เป็นเวลา 12ks พบว่าโครงสร้างเนื้อพื้นในสภาพชุบแข็งประกอบด้วย ออสเทนไนต์ เหลือค้าง มาร์เทนไซต์ และคาร์ไบด์ลำดับที่สอง ความแข็งในสภาพชุบแข็งเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ Mo ความแข็งในสภาพอบคืนตัวแสดงการเกิดการแข็งขึ้นอันดับที่สองเนื่องจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองและการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนต์เป็นมาเทนไซต์ ค่าความแข็งหลังการอบคืนตัวสูงสุด ( $H_{T_{max}}$ ) เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 798K ในทุกส่วนผสมค่า  $H_{T_{max}}$  เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงจุดสูงสุดที่ 4.98%Mo จากนั้นลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณ Mo โดยค่า  $H_{T_{max}}$  สูงสุดคือ 915HV30 ได้รับในชิ้นงานที่เติม 4.98%Mo

**คำสำคัญ:** เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิด กรรมวิธีทางความร้อน ความแข็ง ผลของ Mo

#### Abstract

The effect of 0-7.5 wt%Mo (as shown by %) addition on the hardness of multi-alloyed white cast iron following heat treatment was investigated. The test specimens were hardened at 1323K for 3.6ks and subsequently cooled by forced air. The hardened specimens were tempered at 673-873K for 12 ks and then cooled by still air. It was found that the matrix in the as-hardened state consisted of retained austenite, martensite and secondary carbides. The hardness increased gradually with an increase in Mo content. In the tempered state, the hardness showed a secondary hardening due to the precipitation of secondary carbides and the transformation of austenite to martensite. The maximum tempered hardness ( $H_{T_{max}}$ ) was obtained at 793K in all specimens. The  $H_{T_{max}}$  increased gradually to the maximum value at 4.98%Mo and afterward decreased with an increase in the Mo content. The highest value of  $H_{T_{max}}$ , 915 HV30, was obtained in the 4.98%Mo specimen.

**Keywords:** Multi-alloyed white cast iron, heat treatment, hardness, Mo effect

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup>รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Graduate student, <sup>2</sup>Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand., <sup>\*</sup> Corresponding author, Email: suksakorn.i@msu.ac.th

**บทนำ**

เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิด (Multi-alloyed white cast iron) เป็นหนึ่งในกลุ่มเหล็กหล่อทนการสึกหรอแบบชนิดที่ใช้งานในปัจจุบัน<sup>1</sup> เหล็กหล่อชนิดนี้ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่ในประเทศญี่ปุ่นช่วงระยะเวลา 30 ปีที่ผ่านมา โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้ทดแทนเหล็กหล่อโครเมียมสูง<sup>2</sup> เนื่องจากเหล็กหล่อชนิดนี้มีความแข็งแรงและทนต่อการสึกหรอดีกว่าเหล็กหล่อโครเมียมสูง 3-5 เท่า<sup>2,3</sup> การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ในอุตสาหกรรมหนักได้แก่ ชิ้นส่วนหลักของเครื่องบดในอุตสาหกรรมซีเมนต์และลูกรีดสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้า นอกจากนี้ยังใช้เป็นชิ้นส่วนทนการสึกหรอในอุปกรณ์อื่น ๆ<sup>2,4</sup>

เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดมีปริมาณคาร์บอน (C) ระหว่าง 1.5-2.5% โดยน้ำหนัก (จากนี้ไปแทนด้วย %) และมีส่วนผสมของธาตุที่สามารถฟอร์มคาร์ไบด์ได้แรงเช่น โครเมียม (Cr) วาเนเดียม (V) โมลิบดีนัม (Mo) และทังสเตน (W)<sup>5</sup> ในบางกรณีจะเติมธาตุโคบอล (Co) เพื่อความแข็งแรงและทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ธาตุแต่ละชนิดที่ฟอร์มคาร์ไบด์จะเกิดเป็นคาร์ไบด์ชนิดพิเศษที่มีความแข็งแรงสูงกว่าคาร์ไบด์ที่พบในเหล็กกล้าหรือในเหล็กหล่อโครเมียมสูง<sup>3</sup> ทำให้มีความแข็งแรงและทนการสึกหรอได้ดี นอกจากนี้เหล็กหล่อชนิดนี้มีปริมาณคาร์ไบด์ประมาณ 15-20% โดยปริมาตร<sup>3</sup> ซึ่งต่ำกว่าเหล็กหล่อโครเมียมสูงที่มีปริมาณคาร์ไบด์ประมาณ 25-30% โดยปริมาตร<sup>1</sup> ทำให้เหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดมีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กหล่อโครเมียมสูง สมบัติเด่นที่สำคัญของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดคือมีความแข็งแรงสูงกว่า 850 HV<sup>4-8</sup> มีความสามารถในการคงสภาพผิวเรียบได้สูง ทนการสึกหรอดีเยี่ยมที่สำคัญคือมีความแข็งแรงและความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กหล่อทนการสึกหรอชนิดอื่น<sup>2,3</sup>

โดยทั่วไปพบว่าความต้านทานต่อการสึกหรอไม่ได้ขึ้นกับความแข็งเพียงอย่างเดียวเนื่องจากวัสดุที่แข็งจะทนต่อการสึกหรอแบบชนิดที่กัดดี แต่ในขณะเดียวกันก็มีความเปราะสูงทำให้เกิดการสึกหรอแบบหลุดร่วงได้ง่ายเมื่อมีการกระแทก ดังนั้นในงานที่มีการกระแทกสูงจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้านทานต่อการกระแทกร่วมด้วย

ในงานรีดเหล็กกล้าพบว่าอายุการใช้งานของลูกรีดเป็นตัวแปรที่สำคัญต่ออัตราการผลิต โดยความแข็งของลูกรีดมีผลโดยตรงต่ออายุการใช้งาน<sup>1</sup> ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของลูกรีด เช่น ความแข็งและความต้านทานการสึกหรอแบบชนิดที่กัดจึงจำเป็นอย่างยิ่ง โดยปกติสมบัติดังกล่าวของเหล็กหล่อต้านทานการสึกหรอจะได้รับเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่เหมาะสมเท่านั้น ซึ่งขั้นตอนของกรรมวิธีทางความร้อนได้แก่ การชุบแข็งและอบคืนตัวคล้ายกับเหล็กกล้าเครื่องมือโดย

ทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1273-1373K และเย็นตัวโดยใช้ลมเป่า<sup>4,8</sup> จากนั้นทำการอบคืนตัวในช่วงอุณหภูมิ 673-873K ซึ่งการทำกรรมวิธีทางความร้อนนี้จะช่วยปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคของเนื้อพื้นให้เหมาะสมกับการใช้งาน

โมลิบดีนัม (Mo) จัดอยู่ในกลุ่มของธาตุที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการชุบแข็ง นอกจากนี้ยังสามารถฟอร์มคาร์ไบด์ชนิด M<sub>2</sub>C ที่มีความแข็งสูงและส่งเสริมการเกิดความแข็งขึ้นอันดับที่สอง (Secondary hardening) ในระหว่างอบคืนตัวได้ดี<sup>9</sup> ทำให้เหล็กหล่อมีความแข็งสูงหลังการอบชุบ<sup>1</sup> แต่ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลของ Mo ต่อพฤติกรรมทางกรรมวิธีทางความร้อนในเหล็กหล่อขาวที่เติมธาตุผสมหลายชนิดยังไม่มียางาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแข็งของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่เติม Mo ในปริมาณ 0-7.5% ในสภาพที่ผ่านการทำกรรมวิธีทางความร้อนเนื่องจากเป็นส่วนผสมที่ใช้งานจริงสำหรับผลิตลูกรีดในงานรีดเหล็กกล้า

**กระบวนการทดลอง**

**การเตรียมชิ้นงานทดสอบ**

ทำการเตรียมวัสดุดิบได้แก่ เศษเหล็กกล้า เหล็กดิบ เหล็กหล่อและ Ferro-alloy ให้ได้ส่วนผสมตามเป้าหมายจำนวน 10 กิโลกรัม หลอมวัสดุดิบในเตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าความถี่สูงที่อุณหภูมิ 1853K เหนือโลหะที่อุณหภูมิ 1773-1793K ลงในแบบหล่อทรายที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm ยาว 65 mm ทำการตัดชิ้นงานให้มีขนาดความหนา 7mm โดยใช้การตัดด้วยลวด (Wire-cutting EDM) ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานทดสอบแสดงดัง Table 1

**Table 1** Chemical composition of test specimens.

	Element ( wt% )							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co
No.1	2.05	0.51	0.48	5.13	0.12	4.95	5.09	1.99
No.2	2.08	0.47	0.48	5.09	1.17	4.92	5.03	2.01
No.3	2.09	0.52	0.50	5.11	3.02	5.06	5.10	2.01
No.4	2.00	0.53	0.49	4.96	4.98	4.98	5.01	2.03
No.5	2.06	0.50	0.47	5.00	7.66	4.98	5.01	1.98

**กรรมวิธีทางความร้อน**

ทำการอบอ่อนชิ้นงานที่ 1173K เป็นเวลา 18 ks และเย็นตัวในเตา ทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1323K เป็นเวลา 3.6ks จากนั้นทำให้เย็นตัวโดยใช้ลมเป่าทำการอบคืนตัวชิ้นงานที่อุณหภูมิ 673-873K เป็นเวลา 12 ks เย็นตัวในอากาศ

## การวัดความแข็งและการทดสอบโครงสร้างจุลภาค

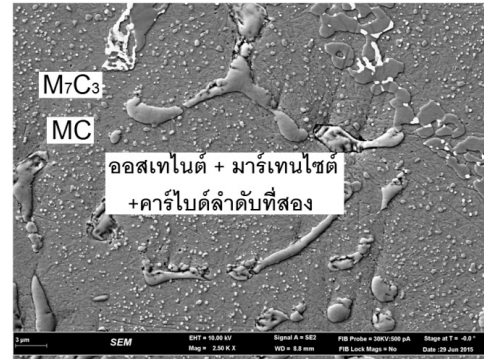
เตรียมผิวชิ้นงานทดสอบโดยการขัดหยาบด้วยกระดาษทรายและขัดละเอียดด้วยผงอะลูมินาทำการทดสอบความแข็งแบบมาโครโดยใช้เครื่อง Vickers hardness ด้วยแรงกดทดสอบขนาด 30 กิโลกรัมและทดสอบความแข็งแบบไมโครโดยใช้เครื่อง Micro-Vickers hardness ด้วยแรงกดทดสอบขนาด 0.1 กิโลกรัมทำการทดสอบ 5 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย ทำการกัดผิวชิ้นงานที่ผ่านการขัดละเอียดด้วยน้ำยา Villella's reagent ที่มีส่วนผสมของ 1 g Picric Acid, 5 cc HCl และ 95 cc Alcohol ทดสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อยืนยันผลการทดลอง

## ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

### สภาพชุบแข็ง

โครงสร้างจุลภาคของทุกชิ้นงานทดสอบประกอบด้วยเดนไดรต์ของออสเทนไนต์และกลุ่มยูเทคติกตัวอย่างของโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานทดสอบที่เติม 0.12 และ 7.66% Mo แสดงดัง Figure 1 พบว่าโครงสร้างยูเทคติกของชิ้นงานทดสอบ 0.12% Mo จะประกอบด้วย ออสเทนไนต์+คาร์ไบด์ชนิด MC และ  $M_7C_3$  ส่วนชิ้นงานทดสอบ 7.66% Mo จะพบโครงสร้างยูเทคติกของออสเทนไนต์+คาร์ไบด์ชนิด MC และ  $M_2C$  ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hashimoto et al<sup>3</sup> ที่รายงานว่าไม่พบคาร์ไบด์ชนิด  $M_7C_3$  ในเหล็กหล่อที่เติม Mo มากกว่า 3% โดยจะพบคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  เกิดขึ้นมาทดแทนโครงสร้างที่ประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ (สีดำ) เป็นส่วนใหญ่ มีออสเทนไนต์เหลือค้าง (สีเทา) บางส่วน และมีคาร์ไบด์ลำดับที่สอง (ก้อนสีขาว) ที่มีขนาดเล็กกระจายอยู่ในบริเวณเดนไดรต์เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามการแยกแยะเฟสออสเทนไนต์กับมาร์เทนไซต์จะไม่ชัดเจนเนื่องจากรูปถ่ายมีกำลังขยายต่ำคาร์ไบด์ลำดับที่สองเกิดการตกตะกอนขึ้นในระหว่างการอบที่อุณหภูมิสูง ชิ้นงานที่มี Mo สูงจะพบการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองในปริมาณที่สูง เนื่องจาก Mo จะฟอร์มคาร์ไบด์ได้แรง และช่วยส่งเสริมการตกตะกอนของคาร์ไบด์ได้ดี

ผลของธาตุ Mo ต่อความแข็งในสภาพชุบแข็งแสดงดัง Figure 2 โดยค่าความแข็งที่แสดงทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน  $\pm 10$  HV<sub>30</sub> พบว่าความแข็งเพิ่มขึ้นช้าๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ Mo โดยความแข็งแบบมาโครและความแข็งแบบไมโครมีพฤติกรรมคล้ายกัน ความแข็งแบบไมโครต่ำกว่าความแข็งแบบมาโคร เนื่องจากความแข็งแบบไมโครเป็นความแข็งของเนื้อพื้น ส่วนความแข็งแบบมาโครเป็นความแข็งรวมระหว่างเนื้อพื้นและยูเทคติกคาร์ไบด์



(a) 0.12% Mo



(b) 7.66% Mo

Figure 1 As-hardened microstructure of specimens with 0.12% and 7.66% Mo.

จากผลการทดลองใน Figure 2 พบว่าการเพิ่มขึ้นของความแข็งเนื่องจากการเพิ่มปริมาณ Mo เกิดจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณยูเทคติกคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  ที่มีความแข็งประมาณ 1500-3000 HV<sup>3</sup> ซึ่งสูงกว่าคาร์ไบด์ประเภท  $M_7C_3$  ที่มีความแข็งประมาณ 1100-1500 HV<sup>3</sup> นอกจากนี้การเพิ่ม Mo ยังทำให้เหล็กหล่อมีความสามารถในการชุบแข็งดีขึ้น และทำให้เกิดการตกตะกอนคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่มีความแข็งสูงเพิ่มขึ้น การเกิดคาร์ไบด์ลำดับที่สองจะทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพและทำให้อุณหภูมิการเกิดมาร์เทนไซต์ (Ms) สูงขึ้น ส่งผลให้ออสเทนไนต์เปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ในขั้นตอนการชุบแข็งมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ความแข็งเพิ่มขึ้น

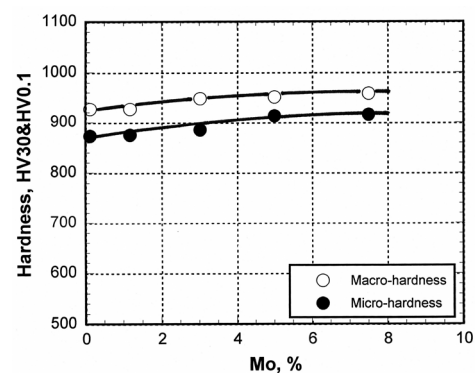


Figure 2 Effect of Mo content on hardness in the as-hardened state.

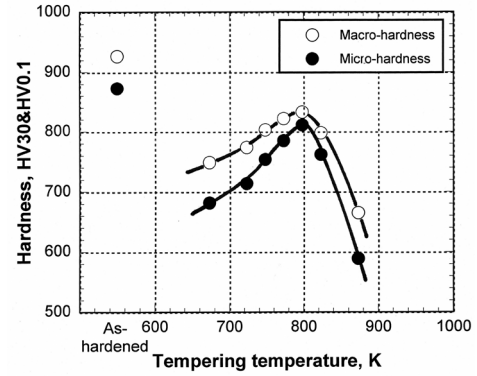


**สภาพอบคืนตัว**

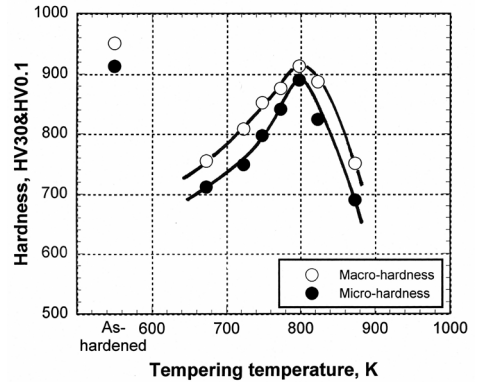
ในระหว่างการอบคืนตัวพบว่าโครงสร้างจุลภาคจะเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพชุบแข็ง โดยเกิดการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่มีขนาดเล็กในออสเทนไนต์โดยคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่เกิดขึ้นนี้จะลดธาตุผสมในออสเทนไนต์เหลือค้างลง ทำให้ออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพอีกครั้งหนึ่งและเปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์ได้ง่ายขึ้น ส่วนมาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการชุบแข็งจะคลายความเค้นและมีความแข็งลดลง

ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและอุณหภูมิในการอบคืนตัวแสดงดัง Figure 3 พบว่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นในตอนแรกและจากนั้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิในการอบคืนตัวสูงขึ้น หรือเรียกว่าเกิดการแข็งขึ้นลำดับที่สอง (Secondary hardening) เนื่องจากการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองและการเปลี่ยนเฟสจาก ออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์คาร์ไบด์ลำดับที่สองที่เกิดขึ้นในชิ้นงานที่เติม 0-1%Mo เป็นชนิด  $M_{23}C_6^{1,4,7,8}$  โดยส่วนใหญ่ส่วนชิ้นงานที่เติม 3-7.6%Mo จะเป็นคาร์ไบด์ชนิด  $M_2C$  และ  $M_{23}C_6^{1,4,7,8}$  เนื่องจากมีปริมาณ Mo สูงทั้งนี้คาร์ไบด์ลำดับที่สองที่ตกตะกอนจะเพิ่มความแข็งให้กับเนื้อพื้นอย่างไรก็ตามการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองประเภท  $M_2C$  จะเพิ่มความแข็งของเนื้อพื้นได้มากกว่าชนิด  $M_{23}C_6$  เนื่องจากมีความแข็งสูงกว่ากราฟความแข็งแบบไมโครแสดงพฤติกรรมคล้ายกับความแข็งแบบมาโคร ซึ่งเป็นที่ยืนยันได้ว่าการเปลี่ยนเฟสของเนื้อพื้นในระหว่างการอบคืนตัวจะส่งผลต่อความแข็งโดยรวมของเหล็กหล่อ ความแข็งลดลงเมื่อผ่านจุดที่ให้ค่าความแข็งสูงสุดในการอบคืนตัว ( $H_{Tmax}$ ) เนื่องจากการเกิด Over-tempering โดยออสเทนไนต์เปลี่ยนเฟสเป็นเพอร์ไลต์ที่มีความแข็งต่ำ นอกจากนี้มีมาร์เทนไซต์ที่ได้จากการชุบแข็งถูกอบคืนตัวเปลี่ยนเฟสเป็นเฟไรต์และคาร์ไบด์ลำดับที่สองขนาดใหญ่ อุณหภูมิการอบคืนตัวที่ให้ค่า  $H_{Tmax}$  คือ 798K ในทุกส่วนผสม

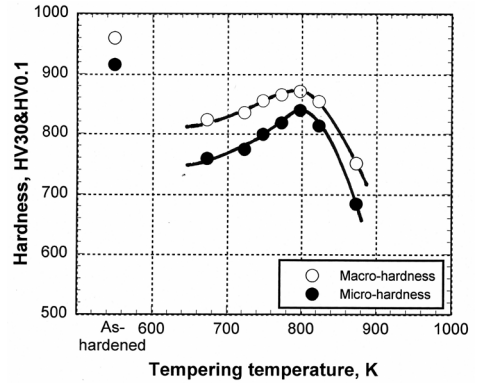
ผลของธาตุ Mo ต่อค่า  $H_{Tmax}$  แสดงดัง Figure 4 ค่า  $H_{Tmax}$  มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณ Mo ในช่วง 0.12 - 4.98% การเพิ่มขึ้นของความแข็งนี้เกิดจากการเปลี่ยนเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ของออสเทนไนต์เหลือค้างและการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สองที่มีความ



(a) 0.12%Mo



(b) 4.98%Mo

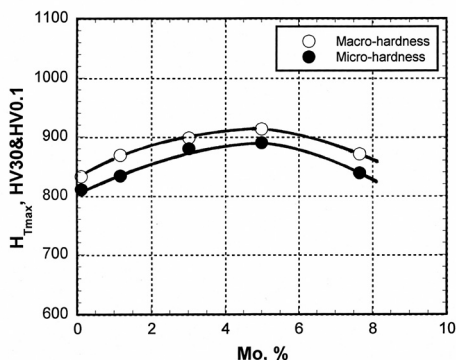


(c) 7.66%Mo

**Figure 3** Relationship between hardness and tempering temperature of specimens.

แข็งสูงเพิ่มมากขึ้น ค่า  $H_{Tmax}$  ลดลงเมื่อปริมาณ Mo เพิ่มขึ้นเกินกว่า 4.98% เนื่องจากการเติม Mo มากเกินไปจะทำให้เกิดยูเทคติกคาร์ไบด์  $M_2C$  ในปริมาณมาก ทำให้เหลือธาตุผสมเช่น C และ Mo ในออสเทนไนต์ต่ำ เมื่อทำการชุบแข็งทำให้ออสเทนไนต์เหลือค้างน้อยเพราะออสเทนไนต์ขาดเสถียรภาพเนื่องจากออสเทนไนต์เหลือค้างจะส่งเสริมการเกิดการแข็งขึ้นลำดับที่สอง<sup>4,8</sup> การที่มีปริมาณออสเทนไนต์เหลือค้างต่ำในสภาพชุบแข็งจะทำให้เกิดการแข็งขึ้นลำดับที่สองน้อยลง นอกจากนี้การลดลงของธาตุ C และ Mo ในออสเทนไนต์จะทำให้มาร์เทนไซต์ที่เกิดขึ้นมีความแข็งต่ำลงเพราะมีคาร์บอนต่ำ ดังนั้นค่า

$H_{Tmax}$  ของชิ้นงานที่เติม Mo สูงกว่า 4.98% จึงลดลง ค่า  $H_{Tmax}$  สูงสุดได้รับในงานวิจัยนี้คือ 915 HV30 และ 893 HV0.1 ในชิ้นงานที่เติม 4.98%Mo



**Figure 4** Effect of Mo content on maximum tempered hardness ( $H_{Tmax}$ ).

### สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความแข็งขณะทำการมวรีทางความร้อนของเหล็กหล่อขาวเติมธาตุผสมหลายชนิดที่เติม Mo ระหว่าง 0 - 7.5% ได้ทำการชุบแข็งชิ้นงานทดสอบที่ 1323K เป็นตัวโดยการใช้น้ำมันเป่าและอบคืนตัวที่ 673-873K เป็นตัวในอากาศ ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยคาร์ไบด์ยูเทคติกชนิด MC และ  $M_7C_3$  ในชิ้นงานที่เติม Mo น้อยกว่า 3% และพบคาร์ไบด์ชนิด MC และ  $M_2C$  ในชิ้นงานที่เติม Mo มากกว่า 3% เนื้อพื้นของทุกชิ้นงานทดสอบในสภาพชุบแข็งประกอบด้วยมาร์เทนไซต์ออสเทนไนต์เหลือค้าง และคาร์ไบด์ลำดับที่สอง
2. ความแข็งในสภาพชุบแข็งเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Mo โดยความแข็งแบบมาโครแสดงพฤติกรรมคล้ายกับความแข็งแบบไมโคร
3. ความแข็งในสภาพอบคืนตัวแสดงการเกิดการแข็งอันดับที่สองเนื่องการเปลี่ยนเฟสจากออสเทนไนต์เป็นมาร์เทนไซต์และการตกตะกอนของคาร์ไบด์ลำดับที่สอง ค่าความแข็งหลังการอบคืนตัวสูงสุด ( $H_{Tmax}$ ) ได้รับเมื่อทำการอบที่อุณหภูมิ 798K
4. ค่า  $H_{Tmax}$  เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณ Mo ถึง 4.98% จากนั้นจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่ม Mo สูงขึ้นโดยค่า  $H_{Tmax}$  สูงสุดคือ 915HV 30 ได้รับในชิ้นงานที่เติม 4.98%Mo

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และบริษัทพานาพลัสจำกัด (โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม-พวอ. ปี 2558 สัญญาเลขที่ MSD

5810083) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ Prof. Dr. Yasuhiro Matsubara, National Institute of Technology-Kurume ประเทศญี่ปุ่นและคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยมหาสารคามสำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

1. Laird, G, Gundlach, R, Röhring, K. Abrasion-Resistant Cast Irons Handbook. USA: American Foundry Society. 2000.
2. Matsubara Y, Sasaguri N, Wu H.Q., Honda Y, Hashimoto M. A new material for rolling mill rolls-multi-component white cast iron. Proceedings of the International Symposium on Tribology; 1993 Oct 19-22; Beijing: China: 1993. P. 501-510.
3. HASHIMOTO M, KUBO O, MATSUBARA Y. Analysis of Carbides in Multi-component White Cast Iron for Hot Rolling Mill Rolls, ISIJ International. 2004;44:372-380
4. Matsubara Y, Yokomizo Y, Sasaguri N, Hashimoto M. Effect of Carbon Content and Heat-treating Condition on Retained Austenite and Hardness of Multi-component White Cast Iron. J. JFS. 2000;72:471-477.
5. Chang W, Pan Y, Sasaguri N, Matsubara Y. Effect of C and W content and heat treatment condition on microstructure and wear resistance of multi-component white cast iron, Proceedings of the International Conference ABRASION 2008 ABRASION WEAR RESISTANT ALLOYED WHITE CAST IRONS FOR ROLLING AND PULVERIZING MILLS; 2008 Aug 21-24; UNIVERSITY OF TRENTO: Italy; 2008. P. 35-48.
6. Bocallini M Jr, Correa AVO, Sinatoro A. Niobium in multi-component white cast iron, Proceedings of the International Conference ABRASION 2008 ABRASION WEAR RESISTANT ALLOYED WHITE CAST IRONS FOR ROLLING AND PULVERIZING MILLS; 2008 Aug 21-24; UNIVERSITY OF TRENTO: Italy; 2008. P. 49-64.
7. Sasaguri N, Matsubara Y. Effect of Cobalt Content on Air-oxidation behavior of multi-component white cast iron, Proceedings of the International Conference ABRASION 2008 ABRASION WEAR RESIST-

ANT ALLOYED WHITE CAST IRONS FOR ROLLING AND PULVERIZING MILLS; 2002 Aug 16-20, Fukuoka: Japan; 2002. P.119-126.

8. Matsubara Y, Sasaguri N. Heat Treatment characteristic of multi-component white cast iron for cold work roll, Proceedings of the International Conference ABRASION 2008 ABRASION WEAR RESISTANT ALLOYED WHITE CAST IRONS FOR ROLLING AND PULVERIZING MILLS; 2002 Aug 16-20, Fukuoka: Japan; 2002. P.207-216

## การคัดแยกพฤติกรรมโคโดยไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง

### Classification of Cattle Behavior using Dynamic Time Warping

กฤตานน ประเทพา,<sup>1</sup> อภินันท์ อูร์โสภณ,<sup>2</sup>

Krittanon Prathepha,<sup>1</sup> Apinan Aurasopon,<sup>2</sup>

Received: 26 January 2017 ; Accepted: 28 March 2017

#### บทคัดย่อ

การพัฒนาเครื่องมือสำหรับติดตามพฤติกรรมของโคเพื่อช่วยเกษตรกรผู้เลี้ยงในกรณีที่โคมีจำนวนมากหรือดูแลไม่ทั่วถึงมีอยู่หลายวิธี แต่มีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคหรือวิธีการคัดแยกพฤติกรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบอัลกอริทึมใช้คัดแยกพฤติกรรมโคด้วยวิธีไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง โดยการนำสัญญาณเซนเซอร์ความเร่งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของโคติดตั้งบนตัวโคเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงของแต่ละพฤติกรรม ประกอบด้วยพฤติกรรมยืนนิ่ง นอน เดิน และกินหญ้า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อใช้ในการคัดแยกคือนำสัญญาณความเร่งในขณะโคเคลื่อนไหว เปรียบเทียบความเหมือนกับฐานข้อมูลของแต่ละพฤติกรรม คะแนนระยะทางสะสมที่น้อยที่สุด ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้กลุ่มพฤติกรรม เพื่อจะได้ค่าความเที่ยงตรงสูงสุดในการจำแนกพฤติกรรมโคของระบบที่พัฒนาขึ้น ผลการทดลองด้วยระบบการคัดแยกพฤติกรรมของโคเมื่อเปรียบเทียบกับ การสังเกตด้วยคน พบว่าค่าความเที่ยงตรงสูงสุดของการคัดแยกพฤติกรรมยืนนิ่ง 100% นอน 100% เดิน 99% และกินหญ้า 99%

**คำสำคัญ:** เซนเซอร์วัดความเร่ง การสังเกตพฤติกรรมโค ไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง

#### Abstract

There are many ways to develop tools that are designed to help farmers monitor cattle behavior fulltime. Existing tools however, are limited in their ability due to technical issues and/or inaccurate classification methods. This research aimed to develop a classification algorithm by using dynamic time warping to collect the accelerometer signal, which is related to cattle movement, and compare it with a reference signal of each behavior: standing, lying, walking and grazing. The data were the group of scores. The lowest one will specify each cattle behavior which is compared with human observation. The results of the experiment showed the maximum accuracy of each behavior, including standing, lying, walking and grazing was 100%, 100%, 99% and 99%, respectively.

**Keywords:** accelerometer, cattle behavior observation, dynamic time warping

#### บทนำ

โคเป็นสัตว์เศรษฐกิจปัจจุบันมีฟาร์มจำนวนมาก เลี้ยงเพื่อจำหน่ายเนื้อและน้ำนม เพื่อให้ผลผลิตของเนื้อและน้ำนมโคมีคุณภาพ เกษตรกรจึงให้ความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการเลี้ยงและดูแลสุขภาพโค<sup>1</sup> โดยทั่วไปการเลี้ยงโคมีอยู่สองลักษณะคือการเลี้ยงแบบยืนโรง และการเลี้ยงแบบปล่อยทุ่ง ซึ่งการเลี้ยงแบบยืนโรงนั้นเป็นการเลี้ยงโคให้อยู่ภายในบริเวณโรงเรือน

ทำให้ผู้เลี้ยงสามารถดูแลสุขภาพโคได้ทั่วถึงเมื่อโคเกิดอาการเจ็บป่วยเกษตรกรสามารถวินิจฉัยและคัดแยกออกมาได้ทันที เพื่อป้องกันการแพร่กระจายเชื้อโรค แต่การเลี้ยงในลักษณะนี้เกษตรกรต้องใช้ต้นทุนสูงทำให้เกษตรกรส่วนหนึ่งนิยมเลี้ยงโคแบบปล่อยทุ่ง โดยที่เกษตรกรปล่อยโคลงแปลงเพื่อให้โคกินหญ้า การเลี้ยงรูปแบบนี้ทำให้โคได้ออกกำลังกาย มีสุขภาพแข็งแรง อย่างไรก็ตาม กรณีเลี้ยงโคจำนวนมาก เมื่อ

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup>รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150, Email : shadow\_keizer@hotmail.com.

<sup>1</sup> Master degree, <sup>2</sup> Assoc. Prof., Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand, Email: shadow\_keizer@hotmail.com.

โคมีอาการผิดปกติ เกษตรกรไม่สามารถทราบได้ทันท่วงที ทำให้เกิดความล่าช้าในการรักษา โคอาจจะตายและสูญเสียรายได้ทางเศรษฐกิจ<sup>2,3</sup>

การสังเกตสุขภาพโคแบ่งออกเป็นสองวิธี วิธีที่หนึ่งคือโคมีจำนวนจำกัดดูแลทั่วถึง เกษตรกรใช้การสังเกตทางด้านสรีระ เช่น ผิวหนัง ตา หู จมูก ปาก กีบเท้ารวมถึงอุณหภูมิและอัตราการเต้นของหัวใจ เกษตรกรต้องอาศัยความรู้และความชำนาญการวินิจฉัยโรคส่วนวิธีที่สองคือ โคมีจำนวนมาก เกษตรกรใช้การสังเกตพฤติกรรมของโค โดยสังเกตระยะเวลาของแต่ละพฤติกรรม สำหรับวินิจฉัยสุขภาพโค ซึ่งพื้นฐานการดำรงชีวิตของโคประกอบด้วยสี่พฤติกรรมคือ การยืน การเดิน การนอน และการกินหญ้าเมื่อโคเกิดความผิดปกติทางพฤติกรรม เช่น เมื่อปล่อยแปลงจะยืนนิ่งหรือนอนได้ต้นไม้ตลอดเวลา โดยไม่กินหญ้าและเคี้ยวเอื้องปัสสาวะมีสีเหลืองเข้มหรือมีเลือดปน อูจจะระหลว เหล่านี้ทำให้เกษตรกรทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโค และนำมาใช้เป็นข้อมูลดูแลสุขภาพเบื้องต้นได้<sup>4</sup>

เพื่อช่วยเหลือเกษตรกรในการสังเกตระยะเวลาของพฤติกรรมโคตั้งนั้นงานวิจัย<sup>5-12</sup> จึงพัฒนานาเซนเซอร์ความเร่งวัดการเคลื่อนไหวของโค ซึ่งถูกติดตั้งที่ขา และคอ สัญญาณของเซนเซอร์ความเร่งถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์สำหรับคัดแยกพฤติกรรม ถึงแม้ว่าผลการคัดแยกมีความแม่นยำสูง ในกรณีติดตั้งเซนเซอร์ความเร่งที่ขา แต่ในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยาก ในขณะที่เซนเซอร์ความเร่งติดที่คอโคนั้น สามารถใช้งานได้จริง แต่เนื่องด้วยสัญญาณของเซนเซอร์ความเร่งในแต่ละพฤติกรรมมีความคล้ายคลึงกันมาก นี้ทำให้ยากต่อการคัดแยก ดังนั้นงานวิจัย<sup>9-10</sup> จึงใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Neural network) ถึงแม้ว่าความถูกต้องของผลการคัดแยกสูง ระบบต้องการข้อมูลของเซนเซอร์ความเร่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมโคจำนวนมากสำหรับสอนโครงข่ายประสาทเทียม งานวิจัย<sup>11</sup> ใช้ระดับแรงดันของแต่ละแกนเป็นอินพุทของกระบวนการตัดสินใจต้นไม้ (Decision tree) อย่างไรก็ตาม ค่าอ้างอิงที่ใช้ในกระบวนการคัดแยกของโคแต่ละตัวมีระดับที่แตกต่างกัน ซึ่งในทางปฏิบัติเป็นไปได้ยากที่จะใช้ค่าอ้างอิงเพียงชุดเดียว งานวิจัย<sup>11</sup> ใช้สัญญาณเซนเซอร์ความเร่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรม เก็บเป็นฐานข้อมูล ใช้สำหรับเปรียบเทียบกับสัญญาณเซนเซอร์ความเร่งที่ต้องการคัดแยก โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบสัญญาณด้วยไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง(Dynamic Time Warping) อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้คัดแยกกลุ่มพฤติกรรมโคออกเป็นสามกลุ่มเท่านั้นคือ เดินแทะเล็มหญ้า ยืน และนอน วิธีการนี้อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ต้องการรู้ปริมาณการกินหญ้าซึ่งมีผลต่อการทำนายสุขภาพโค<sup>12</sup>

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอการคัดแยกพฤติกรรมโค ออกเป็นสี่กลุ่มคือ ยืนนิ่ง เดิน นอนและกินหญ้า โดยใช้หลักการเปรียบเทียบสัญญาณด้วยวิธีไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง โดยที่ผู้เขียนจะได้อธิบายรายละเอียดตามหัวข้อตั้งนี้การติดตั้งและการเก็บสัญญาณเซนเซอร์ความเร่งสามแกน วิธีการไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิง การเก็บฐานข้อมูลของแต่ละพฤติกรรม ผลการทดสอบกับโค และสรุปผลการทดลอง

**เครื่องมือและวิธีการคัดแยก**

**การติดตั้งและการวัดสัญญาณความเร่ง**

Figure 1 แสดงตำแหน่งติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวถูกติดบริเวณด้านข้างของคอโค โดยที่สามารถติดตั้งได้ทั้งคอ ด้านซ้ายและขวาแกน X ทำมุมขนานกับลำตัวโค แกน Y ทำมุมตั้งฉากกับตัวโค และแกน Z ทำมุมพุ่งออกจากตัวโคตั้งแสดงทิศทางตามรูป โดยที่แกน X และแกน Y วัดการการผกงหัวของโค ในขณะที่แกน Y และแกน Z วัดการหมุนของคอ

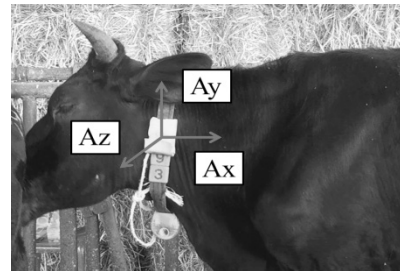


Figure 1 Installation of embedded system

สัญญาณเซนเซอร์ความเร่งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของโคถูกส่งผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ทุกวินาที ไปยังคอมพิวเตอร์ และถูกคำนวณเป็นเวกเตอร์ตามสมการ

$$S_r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \tag{1}$$

โดยที่  $S_r$  คือ เวกเตอร์อนุกรมเวลาของสัญญาณเซนเซอร์ความเร่งสามแกน เวกเตอร์นี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับความเหมือนกับเวกเตอร์อ้างอิงของแต่ละกลุ่มพฤติกรรมผลลัพธ์คือคะแนนน้อยที่สุดถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้กลุ่มพฤติกรรม

**ไดนามิกส์ไทม์วอร์ปิงสำหรับคัดแยกพฤติกรรม**

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการคัดแยกพฤติกรรมโคออกเป็นสี่กลุ่มคือ ยืนนิ่ง เดิน นอน และกินหญ้า สัญญาณความเร่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมถูกรวบรวมเป็นฐานข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบความเหมือนกับสัญญาณความเร่งของการเคลื่อนไหวโค การเปรียบเทียบความเหมือนระหว่างสอง

สัญญาณ สามารถทำได้โดยวิธีการวัดระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean distance) คือการวัดความแตกต่างของสัญญาณทั้งสองโดยที่คะแนนความเหมือน (Similarity score) คือรากกำลังสองของผลรวมของความแตกต่างระหว่างจุดต่อจุด

$$d(a, b) = \sqrt{\sum_i^n (a_i - b_i)^2} \tag{2}$$

อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์คะแนนความเหมือนที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ในกรณีที่สัญญาณทั้งสองมีเฟสต่างกัน และจำนวนจุดไม่เท่ากัน

ไดนามิกส์โทมวอร์ปปีง<sup>13</sup> เป็นขั้นตอนวิธีสำหรับการเปรียบเทียบเหมือนของอนุกรมเวลาที่มีความแตกต่างกันในด้านเวลาหรือความเร็ว เช่น รูปแบบการเดินของคนๆ หนึ่งจะถูกนับว่ามีความคล้าย ไม่ว่าคนๆ นั้นจะเดินอย่างรวดเร็ว เดินอย่างเชื่องช้า หรือแม้แต่เดินด้วยความเร่ง เมื่อพิจารณาจากผู้สังเกตเดียวกัน ซึ่งไดนามิกส์โทมวอร์ปปีงสามารถนำไปประยุกต์ได้กับวิดีโอ เสียง และภาพ รวมไปถึงข้อมูลต่างๆ ที่สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงเส้นได้ ตัวอย่างหนึ่งของการประยุกต์ขั้นตอนวิธีนี้ไปใช้คือ การรู้จำคำพูด โดยใช้ไดนามิกส์โทมวอร์ปปีง เพื่อจัดการกับคำพูดที่มีความเร็วไม่เท่ากัน แม้จะสื่อความหมายเดียวกัน จากจุดเด่นดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้สำหรับการวัดความเหมือนของสัญญาณความเร่ง ซึ่งสัญญาณทั้งคู่อาจมีแตกต่างในแง่ความเร็วสมมุติมีอนุกรมเวลาสองชุด  $A$  และ  $B$  ที่มีความยาว  $N$  และ  $M$

$$B = b_1, b_2, \dots, b_j \dots b_M \tag{3}$$

ขั้นตอนเริ่มต้นเมตริกซ์ต้นทุนเฉพาะส่วน (Local cost matrix) ถูกสร้างขึ้น โดยที่แต่ละเซลล์ของเมตริกซ์คำนวณได้ตามสมการที่ (4)

$$d(i, j) = \sqrt{(a_i - b_j)^2} \tag{4}$$

เซลล์แต่ละเซลล์ของเมตริกซ์  $d$  คือ คะแนนความเหมือนกันระหว่างจุด  $i$  และ  $j$  ของ  $A$  และ  $B$  ซึ่งหมายถึงแต่ละจุดของ  $A$  ถูกจับคู่กับทุกจุดของ  $B$  ในการวัดความเหมือน

หลังจากคำนวณเมตริกซ์ต้นทุนเฉพาะส่วน  $d$  ขั้นตอนที่สองคือคำนวณเมตริกซ์ต้นทุนสะสม  $D$  ดังสมการที่ (5)

$$D(i, j) = d(i, j) + \min\{D(i-1, j-1), D(i, j-1), D(i-1, j)\} \tag{5}$$

$i \in N, j \in M$

โดยที่เมตริกซ์  $D$  คือเมตริกซ์ที่เก็บต้นทุนสะสมที่น้อยที่สุด ซึ่งการคำนวณ ใช้หลักการค้นหาค่าความเหมือนของเซลล์ที่น้อยที่สุดจากแนวตั้ง แนวนอน และแนวแยง โดยทำการคำนวณเริ่มต้นที่ (1,1) ถึง (N, M)

ขั้นตอนสุดท้ายคือการหาเส้นทางบิดเบือน (Warp path) ซึ่งคือเส้นทางที่สั้นที่สุดของเมตริกซ์ต้นทุนสะสม  $D$  จาก (N, M) ถึง (1,1) โดยใช้หลักการค้นหาค่าความเหมือนของเซลล์จากแนวตั้ง แนวนอน และแนวแยง Figure 2 แสดงเมตริกซ์ต้นทุนสะสม  $D$  และเส้นทางบิดเบือน โดยที่แกนตั้งคือฐานข้อมูลความเร่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมโค และแกนนอนคือข้อมูลความเร่งของการเคลื่อนไหวโคที่ต้องการคัดแยกพฤติกรรม ในขณะที่คะแนนความเหมือน หรือระยะทางสะสม (Accumulated distance) หาได้จากเซลล์ (N, M) ของเมตริกซ์  $D$  ซึ่งเป็นคะแนนที่เราใช้สำหรับคัดแยกพฤติกรรม

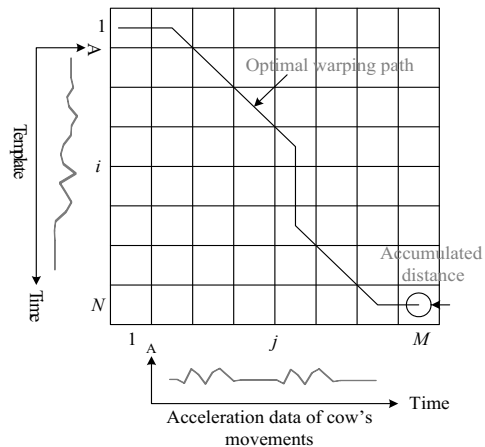


Figure 2 Accumulated cost matrix

**กระบวนการคัดแยก**

หลักการคัดแยกคือนำสัญญาณความเร่งในขณะโคเคลื่อนไหว เปรียบเทียบความเหมือนกับฐานข้อมูลของแต่ละกลุ่มพฤติกรรม คะแนนระยะทางสะสมที่น้อยที่สุด ถูกใช้เป็นตัวบ่งชี้กลุ่มพฤติกรรม

**ฐานข้อมูล**

ในแต่ละพฤติกรรม โคอาจมีการเคลื่อนไหวที่ต่างกัน เช่น โคยืน บางครั้งอาจผงกศีรษะ บางครั้งอาจเคี้ยวเอื้อง หรือบางครั้งอาจส่ายหัว ในขณะที่โคกินหญ้า โคอาจกินหญ้าแล้วหยุดเงยหน้าขึ้น หรือในขณะที่โคนอน อาจส่ายหัว หรือเคี้ยวเอื้อง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อความแม่นยำของผลการคัดแยก การเก็บสัญญาณความเร่งที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมโคจึงควรครอบคลุมทุกอริยาบถของโค สำหรับใช้เป็นฐานข้อมูล

Figure 3 แสดงสัญญาณความเร่งที่สัมพันธ์กับแต่ละพฤติกรรม โดยที่แต่ละพฤติกรรมประกอบด้วย 10 ท่วงท่า และ

คาบเวลาของแต่ละช่วงท่ามากกว่า 30 วินาที Figure 3(a) แสดงสัญญาณความเร่ง ในขณะที่โคยืนหนึ่ง โดยที่ data 1 สัมพันธ์กับโคยืนหนึ่งพร้อมกับสายหัวเล็กน้อย data 2 และ data 3 โคนอนแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง data 4 และ data 5 โคยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นนอน data 6 โคเดินยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดิน data 7 โคเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง data 8 โคยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้า data 9 โคกินหญ้าแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง และ data 10 โคกินหญ้าเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้าอีกครั้ง Figure 3(b) แสดงพฤติกรรมโคในขณะที่นอน โดยที่ data 1 โคกำลังนอน data 2 และ data 3 โคยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นนอน data 4 และ data 5 โคนอนแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง data 6 และ data 7 โคเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นนอน data 8 และ data 9 โคนอนแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดิน และ data 10 โคยืนหนึ่งเปลี่ยนท่าเป็นนอนแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่งอีกครั้ง Figure 3(c) แสดงพฤติกรรมโคในขณะที่เดิน data 1 โคกำลังเดิน data 2 และ data 3 โคเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง data 4 และ data 5 โคยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดิน data 6 และ data 7 โคเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นนอน data 8 และ data 9 โคนอนแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดิน และ data 10 โคยืนหนึ่งเปลี่ยนท่าเป็นเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่งอีกครั้ง Figure 3(d) แสดงพฤติกรรมโคในขณะที่กินหญ้า data 1 โคกำลังกินหญ้า data 2 และ data 3 โคกินหญ้าแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่ง data 4 และ data 5 โคยืนหนึ่งแล้วเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้า data 6 โคเดินแล้วเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้า data 7 และ data 8 โคกินหญ้าแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดิน data 9 โคยืนหนึ่งเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้าแล้วเปลี่ยนท่าเป็นยืนหนึ่งอีกครั้ง data 10 โคเดินเปลี่ยนท่าเป็นกินหญ้าแล้วเปลี่ยนท่าเป็นเดินอีกครั้ง

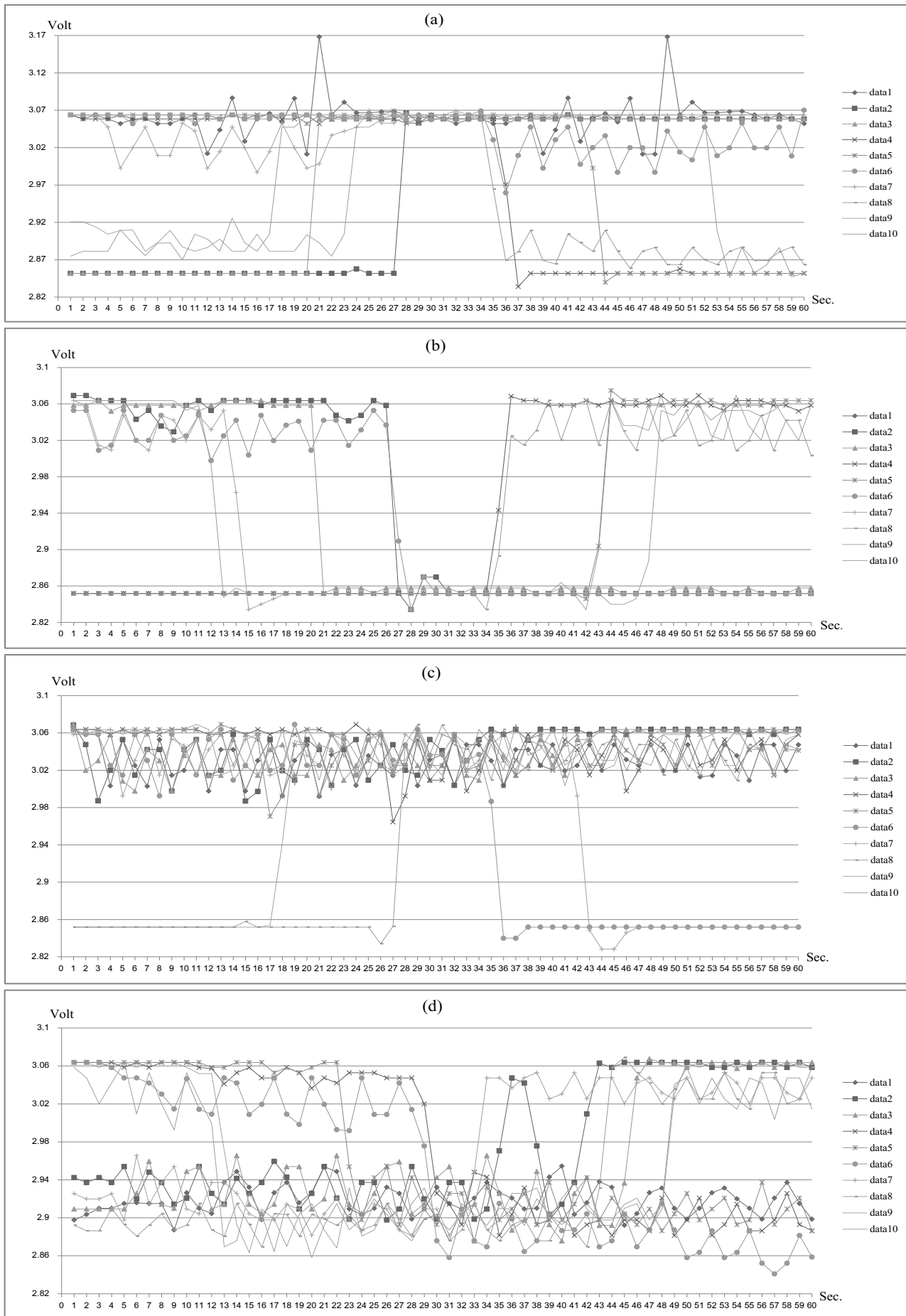
### การเลือกกลุ่มพฤติกรรม

สัญญาณความเร่งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของโคจำนวน 60 ข้อมูล ถูกนำมาเปรียบเทียบความเหมือนกับฐานข้อมูลของแต่ละชุดข้อมูลในแต่ละพฤติกรรม ด้วยไดนามิกส์ไทม์วอร์ปปีง ผลลัพธ์ที่ได้คือชุดคะแนนระยะทางสะสมจำนวนสี่สิบชุด ขั้นตอนสุดท้ายคือเลือกชุดข้อมูลที่ให้ค่าคะแนนระยะทางสะสมน้อยที่สุด ว่าอยู่ในฐานข้อมูลพฤติกรรมกลุ่มใดเป็นคำตอบ หมายความว่าสัญญาณความเร่งที่สัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของโคนั้นมีความคล้ายคลึงกับกลุ่มพฤติกรรมที่ถูกเลือกเป็นคำตอบมากที่สุด ดังแสดงผังงานใน Figure 4

### การทดลอง

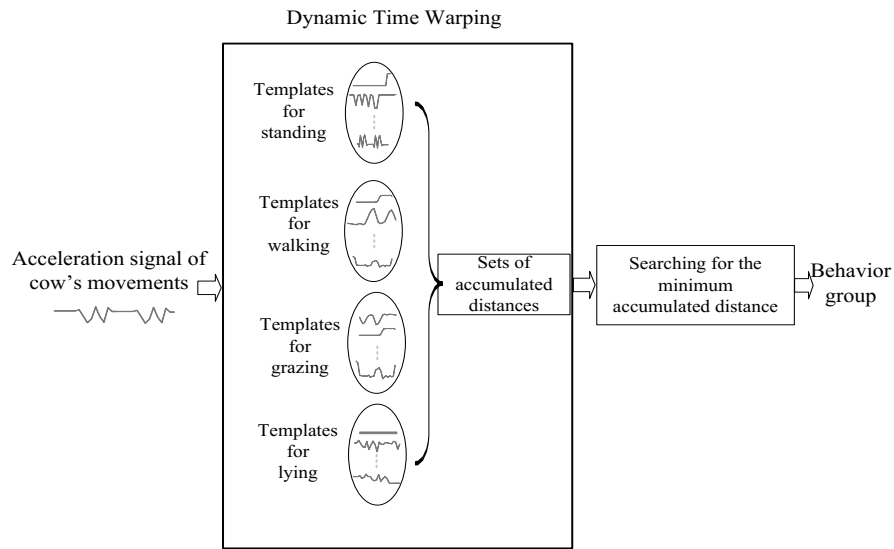
เพื่อยืนยันถึงความถูกต้องกระบวนการตัดแยกที่เสนอ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวสำหรับการเคลื่อนไหวของโคดังแสดงใน Figure 1 โดยที่ใช้อัตราการส่งข้อมูลทุกๆ หนึ่งวินาที ผ่านเครือข่ายสื่อสารไร้สาย ไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการตัดแยกพฤติกรรมทุกๆ หนึ่งนาที โคจำนวนสองตัวถูกใช้สำหรับทดสอบ ผลลัพธ์การตัดแยกถูกนำมาเปรียบเทียบกับ การสังเกตด้วยคน

Figure 5 แสดงตัวอย่างของการเปรียบเทียบสัญญาณด้วยไดนามิกส์ไทม์วอร์ปปีงในโปรแกรม MATLAB โดยที่ Figure 5(a) แสดงสัญญาณความเร่งที่ต้องการตัดแยกกับสัญญาณหนึ่งในฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมยืนหนึ่ง ผลลัพธ์ที่ได้คือเมตริกซ์ต้นทุนสะสม และเส้นทางปิดเบือน ดังแสดงใน Figure 5(b) โดยที่ค่าระยะทางสะสมเท่ากับ 0.0087 ซึ่งเทียบกับระยะทางสะสมกับสัญญาณฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมอื่น ถือว่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลลัพธ์ของการตัดแยกคือ โคกำลังยืนหนึ่ง Figure 5(c) แสดงสัญญาณความเร่งที่ต้องการตัดแยกกับสัญญาณหนึ่งในฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมนอน ผลลัพธ์ที่ได้คือเมตริกซ์ต้นทุนสะสม และเส้นทางปิดเบือน ดังแสดงใน Figure 5(d)



**Figure 3** Templates of each behavior : Different movement patterns for (a) standing, (b) lying, (c) walking and (d) grazing.

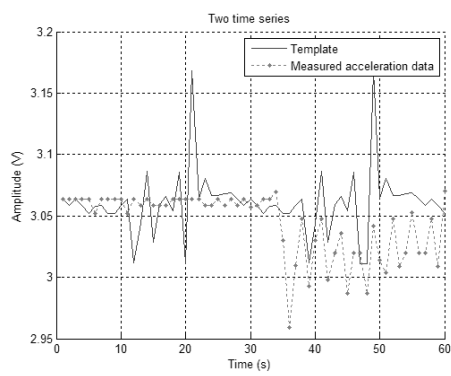




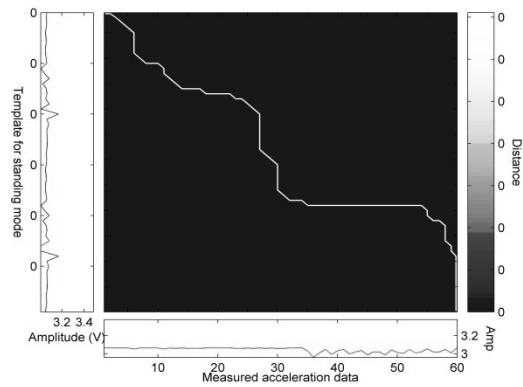
**Figure 4** Processing of behavioral group selection

โดยที่ค่าระยะทางสะสมเท่ากับ 0.003 ซึ่งเทียบกับระยะทางสะสมกับสัญญาณฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมอื่น ถือว่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลลัพธ์ของการตัดแยกคือ โคกำลังเดิน Figure 5(e) แสดงสัญญาณความเร่งที่ต้องการตัดแยกกับสัญญาณหนึ่งในฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมเดิน ผลลัพธ์ที่ได้คือเมตริกซ์ต้นทุนสะสม และเส้นทางบิดเบือน ดังแสดงใน Figure 5(f) โดยที่ค่าระยะทางสะสมเท่ากับ 0.01 ซึ่งเทียบกับระยะทางสะสมกับสัญญาณฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมอื่น

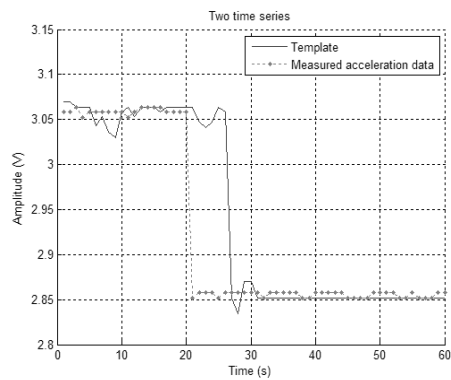
ถือว่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลลัพธ์ของการตัดแยกคือ โคกำลังเดิน Figure 5(g) แสดงสัญญาณความเร่งที่ต้องการตัดแยกกับสัญญาณหนึ่งในฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมกินหญ้า ผลลัพธ์ที่ได้คือเมตริกซ์ต้นทุนสะสม และเส้นทางบิดเบือน ดังแสดงใน Figure 5(h) โดยที่ค่าระยะทางสะสมเท่ากับ 0.0538 ซึ่งเทียบกับระยะทางสะสมกับสัญญาณฐานข้อมูลของกลุ่มพฤติกรรมอื่น ถือว่าน้อยที่สุด ดังนั้นผลลัพธ์ของการตัดแยกคือ โคกำลังกินหญ้า



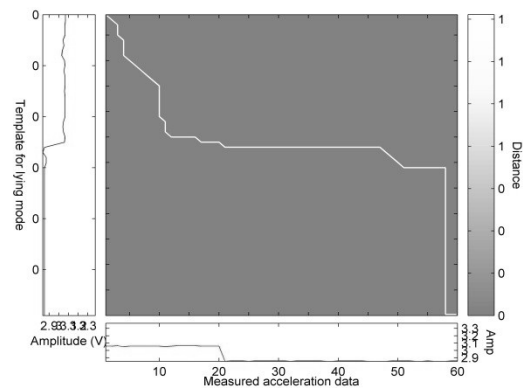
(a)



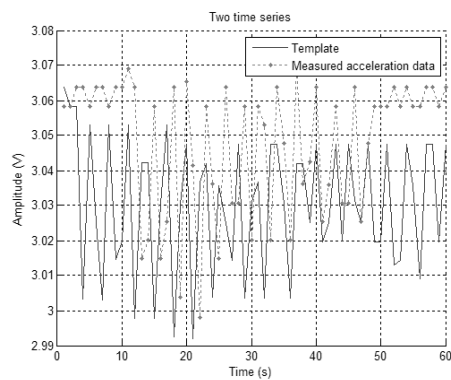
(b)



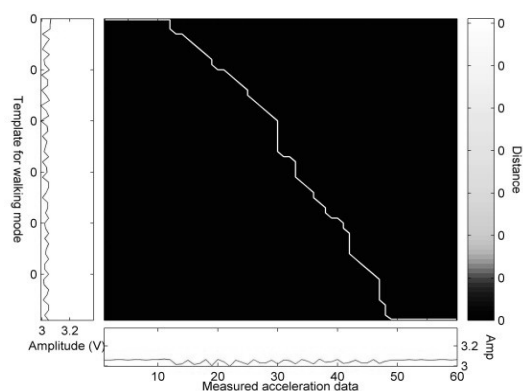
(c)



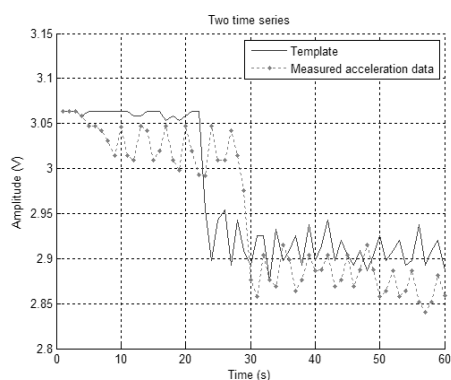
(d)



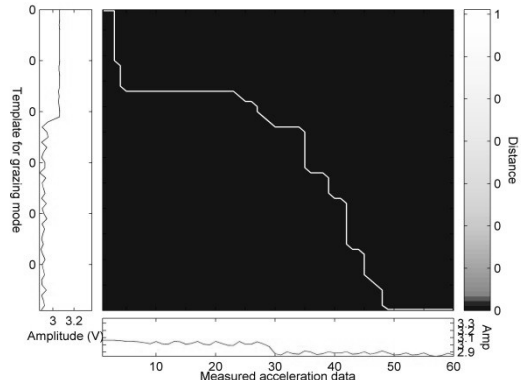
(e)



(f)



(g)



(h)

**Figure 5** (a), (c), (e) and (g) Template for standing, lying, walking and grazing respectively and acceleration data of cow's movements. (b), (d), (f) and (h) Accumulated cost matrix and optimal warping path.

**Table 1** Maximum accuracy of cattle behaviors classification system

Number of cows	Maximum accuracy			
	Standing (%)	Lying (%)	Walking (%)	Grazing (%)
Cow #1	100	100	99	99
Cow #2	100	100	97	98

## ผลการวิจัย

นำเซนเซอร์ความเร่งติดที่คอของโคที่มีพฤติกรรมปกติสองตัว โดยทำการวัดพฤติกรรมและคัดแยกเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 360 พฤติกรรมต่อโคหนึ่งตัว การประเมินประสิทธิภาพนั้นจะเปรียบเทียบระหว่างการสังเกตด้วยคนและระบบสมองกลฝังตัวที่นำเสนอ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังนี้

### 1) สังเกตด้วยคน

โคตัวที่ 1 : พฤติกรรมยืนนิ่งจำนวน 119 ครั้ง นอนจำนวน 11 ครั้ง เดินจำนวน 97 ครั้ง และกินหญ้าจำนวน 133 ครั้ง

โคตัวที่ 2 : พฤติกรรมยืนนิ่งจำนวน 127 ครั้ง นอนจำนวน 14 ครั้ง เดินจำนวน 65 ครั้ง และกินหญ้าจำนวน 154 ครั้ง

### 2) สังเกตด้วยระบบสมองกลฝังตัว

โคตัวที่ 1 : พฤติกรรมยืนนิ่งจำนวน 119 ครั้ง นอนจำนวน 11 ครั้ง เดินจำนวน 96 ครั้ง และกินหญ้าจำนวน 134 ครั้ง

โคตัวที่ 2 : พฤติกรรมยืนนิ่งจำนวน 127 ครั้ง นอนจำนวน 14 ครั้ง เดินจำนวน 63 ครั้ง และกินหญ้าจำนวน 156 ครั้ง

### 3) สรุปผล

คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของระบบสมองกลฝังตัวเปรียบเทียบกับ การสังเกตด้วยคนได้ผลลัพธ์ดังนี้

โคตัวที่ 1 : มีค่าความคลาดเคลื่อนของพฤติกรรมยืนนิ่ง 0%, นอน 0% เดิน 1% และกินหญ้า 1%

โคตัวที่ 2 : มีค่าความคลาดเคลื่อนของพฤติกรรมยืนนิ่ง 0%, นอน 0% เดิน 3% และกินหญ้า 2%

ความถูกต้องสูงสุดของระบบวัดพฤติกรรมโคทั้งสองตัวของพฤติกรรมยืนนิ่ง นอน เดิน และกินหญ้าเท่ากับ 100%, 100%, 99% และ 99% ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1

## อภิปรายผล

จากการทดลองระบบที่นำเสนอพบว่ามีความคลาดเคลื่อนของพฤติกรรมเดินและกินหญ้า ซึ่งค่าสูงสุดเท่ากับ 3% และ 2% ตามลำดับ น่าจะเกิดจากตำแหน่งติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวระหว่างโคตัวที่ 1 และ 2 มีตำแหน่งแตกต่างกันเล็กน้อย สำหรับการยืนนิ่ง และนอนนั้น ค่าความเร่งที่วัดได้มีอนุกรมเวลาคงที่และมีแอมพลิจูดที่ต่างกันอย่างชัดเจน ทำให้สามารถคัดแยกพฤติกรรมได้ถูกต้อง ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของผู้อื่น<sup>14</sup> ที่ได้ทดลองใช้เซนเซอร์วัดความความเร่งเฉลี่ยของแต่ละแกน โดยนำเซนเซอร์ไปติดที่ขาโค พบความคลาดเคลื่อนของการเดินและกินหญ้า ยืนและนอน คือ 2%, 13% และ 7% ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวได้ง่ายกว่ามาก

งานวิจัยนี้ใช้ระบบสมองกลฝังตัวติดตั้งกับโคที่มีพฤติกรรมปกติสองตัว สังเกตได้ว่าโคปกติจะมีระยะเวลาการยืน เดิน กินหญ้าอยู่ตลอดเวลา และจะมีระยะเวลาการนอนที่น้อยในช่วงกลางวัน ในอีกกรณี เมื่อการนำระบบฝังตัวสมองกลไปติดตั้งกับโคที่มีพฤติกรรมผิดปกติ ผลลัพธ์ที่ได้จากการคัดแยกพฤติกรรม จะมีระยะเวลาของการยืนนิ่ง นอน มากกว่าโคที่มีพฤติกรรมปกติ และไม่ค่อยกินหญ้า

งานที่จะเกิดขึ้นในอนาคต สามารถนำระบบสมองกลฝังตัวไปใช้กับฟาร์มโค และสามารถพัฒนาต่อไปได้อีก โดยนำไปสังเกตพฤติกรรมกับสัตว์อื่น ๆ

## สรุป

งานวิจัยนี้เสนอการคัดแยกพฤติกรรมโคโดยไดนามิกส์ใหม่ วอร์ปบิงซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถติดตั้งระบบสมองกลฝังตัวได้ง่าย และการคัดแยกพฤติกรรมจะแสดงพฤติกรรมโคในปัจจุบัน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการสังเกตการณ์โดยไม่ใช้คน หรือเก็บเป็นสถิติ เช่น ปริมาณการกินหญ้าต่อวัน รวมถึงตรวจสอบพฤติกรรมผิดปกติของโค เพื่อประเมินสุขภาพของโคในเบื้องต้น

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณศูนย์ถ่ายทอดเทคโนโลยีเกษตรกรรม (CTTA) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม ที่ช่วยเหลือสำหรับการทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

1. สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร.(2552). *การศึกษาระบบตลาดโคเนื้อ*. กรุงเทพฯ: เอกสารวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร
2. ยอดชายทองไทยนิษฐ์, ไพโรจน์ ศิริสม, สว่างอังกูโร, จารุวัฒน์ นุตเดชาพันธ์.(2548). *การเลี้ยงโคเนื้อ*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย
3. กรรณิกาเมฆแดง ,จิตติมาภักตนามัลลกุล, อัจฉราโพธิ์ดี.(2555).การจัดการการผลิตโคเนื้อแบบขังคอกและโคเนื้อแบบปล่อยฝูง ในอำเภอมือง จังหวัดกาญจนบุรี. *การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช*; วันที่ 4-5 กันยายน 2555. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช
4. ยอดชายทองไทยนิษฐ์, ไพโรจน์ ศิริสม, สว่าง อังกูโร, จารุวัฒน์ นุตเดชาพันธ์.(2548). การสังเกตพฤติกรรมโคป่วย.*การเลี้ยงโคเนื้อ*. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย: 44
5. Matthew Darr,William Epperson. (2009). Embedded sensor technology for real time determination of animal lying time.*Computers and Electronics in Agriculture*. 66(2009): 106–111
6. Jorge A., V. Diosdado, Z. E. Barker, H. R. Hodges, J. R. Amory, D. P. Croft, N. J. Bell and E. A. Codling. (2015). Classification of behaviour in housed dairy cows using an accelerometer-based activity monitoring system.*Animal Biotelemetry*, 3-15.
7. Nadimi, E. S., H. T. Sogaard, and T. Bak.(2008). ZigBee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees.*Biosystems Engineering*, 100(2) : 167-176.
8. Nadimi, E. S., and H. T. Sogaard.(2009). Observer Kalman filter identification and multiple model adaptive estimation technique for classifying animal behaviour using wireless sensor networks.*Computers and Electronics in Agriculture*68(1), 9–17.
9. Martiskainen P, M. Järvinen, JP. Skön, J. Tiirikainen, M. Kolehmainen, J. Mononen, (2009). Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Applied Animal Behavior Science*, 119(1-2) : 32–37.
10. Ritaban D., D. Smith, R. Rawnsley, G. Bishop-Hurley, J. Hills, G. Timms, D. Henry.(2015). Dynamic cattle behavioural classification using supervised ensemble classifiers.*Computers and Electronics in Agriculture*, 111(C) :18-28.
11. Jorge A., V. Diosdado, Z. E. Barker, H. R. Hodges, J. R. Amory, D. P. Croft, N. J. Bell and E. A. Codling. (2015). Classification of behaviour in housed dairy-cows using an accelerometer-based activity monitoring system.*Animal Biotelemetry*, 3:15
12. Apinan, A., and S. Kuankid(2016).Dynamic Time Warping for classifying cattle behaviors and reducing acceleration data size. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 18(4):293-300.
13. Giorgino, T. (2009). Computing and Visualizing Dynamic Time Warping Alignments in R: The dtw Package. *Journal of Statistical Software*, 31(7) : 1–24.
14. Kuankid, S., Rattanawong, T., &Aurasopon, A. (2014). Classification of the cattle's behaviors by using accelerometer data with simple behavioral technique. *Signal And Information Processing Association Annual Summit And Conference (APSIPA)*, 2014 Asia-Pacific.

## การเกิดความผิดปกติทางเพศ (Imposex) ในหอยฝาเดียวบริเวณจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย Imposex occurrence of gastropods collected from Chon Buri Province, Thailand

สุบันติธ นิมรัตน์<sup>1\*</sup>, พณิตตา เอี่ยมสะอาด<sup>2</sup>, พงศ์รัตน์ ดำรงโรจน์วัฒนา<sup>3</sup>,  
วิฑูร ชาวสุข<sup>4</sup>, วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย<sup>5</sup>, สมสุข มัจฉาชีพ<sup>6</sup>

Subuntith Nimrat<sup>1\*</sup> Pannita Eamsaart<sup>2</sup>, Pongrat Dumrongrojwattana<sup>3</sup>,  
Witoon Khawsuk<sup>4</sup>, Verapong Vuthiphandchai<sup>5</sup>, Soomsook Mathchacheep<sup>6</sup>

Received: 9 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

### บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาถึงการเกิดความผิดปกติทางเพศ (Imposex) ในหอยฝาเดียวบริเวณจังหวัดชลบุรี ประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่าง 8 สถานี คือ บริเวณอ่าวชลบุรี เกาะสีชัง (ท่าภาณุรังษี) อ่าวอุดม (กลาง) อ่าวอุดม (สะพานปลา) หัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) และท่าเทียบเรือ บริษัท โอเชียน มารีน่า ยอชท์ คลับ ในช่วงระหว่างเดือนมีนาคม 2549 ถึงกุมภาพันธ์ 2550 ซึ่งจากการศึกษาพบการเกิด Imposex ได้ในทุกสถานีและพบหอยฝาเดียวจำนวน 38 ชนิด จากบริเวณที่ทำการศึกษานี้ทั้งหมด โดยพบว่าหอยฝาเดียวที่จัดอยู่ในวงศ์ Muricidae สามารถพบได้มากที่สุด และพบว่าชนิดของหอยฝาเดียวที่พบมีการแพร่กระจายตามบริเวณอ่าวชลบุรี เกาะสีชัง (ท่าภาณุรังษี) อ่าวอุดม (กลาง) อ่าวอุดม (สะพานปลา) หัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) และท่าเทียบเรือ บริษัท โอเชียน มารีน่า ยอชท์ คลับ เท่ากับ 18, 14, 7, 6, 7, 9, 9 และ 5 ชนิด ตามลำดับ และพบการเกิด Imposex ในหอยเศรษฐกิจคือ หอยสังข์จุฬารามณ์ (*Cymbiola nobilis*) และ หอยโมพี (*Pugilina cochlidium*) และหอยตามธรรมชาติ คือ หอยปากมัน (*Nassarius livescens*) และ หอยมะระ (*Ergalatax margaritcola*) และจากการศึกษาในครั้งนี้บ่งบอกได้ว่าอาหารทะเลในบริเวณที่ทำการศึกษานี้จะปนเปื้อนสารประกอบไตรบิวทิลทินซึ่งอาจมีแนวโน้มไม่ปลอดภัยสำหรับการบริโภค และแสดงให้เห็นว่าหอยฝาเดียวสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการติดตามการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินในสิ่งแวดล้อมทางทะเลได้

**คำสำคัญ:** Imposex หอยฝาเดียว การปนเปื้อนสารประกอบไตรบิวทิลทิน จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

### Abstract

In this study, Imposex occurrence of gastropods collected from Chon Buri Province, Thailand was investigated in gastropods collected from eight stations at Ao Chon Buri, Ko Si Chang (Tha Phanurangsri), Ao Udom (Center), Ao Udom (Fish pier), Hua Laem Chabang, Laem Chabang Port, Laem Chabang Port (Center) and Ocean Marina Yacht

<sup>1</sup> ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>2</sup> โครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>3</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>4</sup> ภาควิชาวิทยาศาสตร์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>5</sup> ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>6</sup> ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

<sup>1</sup> Department of Microbiology and Environmental Science Program, Faculty of Science, Burapha University

<sup>2</sup> Environmental Science Program, Faculty of Science, Burapha University

<sup>3</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University

<sup>4</sup> Department of Medical science, Faculty of Science, Burapha University

<sup>5</sup> Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University

<sup>6</sup> Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University

\* Corresponding author, E-mail: subunti@buu.ac.th

Club Port in Chon Buri Province, during March 2006 to February 2007. Results showed the occurrence of imposex at all stations in Chon Buri Province. Moreover, diversity of collected gastropods from Chon Buri sites were thirty eight species and the most common gastropods found in this study was Mericidae. Additionally, the diversity of gastropods in Ao Chon Buri, Ko Si Chang (Tha Phanurangsri), Ao Udom (center), Ao Udom (fish pier), Hua Laem Chabang, Laem Chabang Port, Laem Chabang Port (center) and Ocean Marina Yacht Club Port were 18, 14, 7, 6, 7, 9, 9 and 5 species gastropods, respectively. Imposex was monitored in economic gastropods namely; *Cymbiola nobilis* and *Pugilina cochlidium* and in non-economic gastropods namely *Nassarius livescens* and *Ergalatax margaritcola*. Results suggested that seafood harvested from studied sites could be contaminated with tributyltin. As a consequence, this finding suggested that seafood harvested from those sites might be considered unsafe for human consumption. The results concluded that gastropod could be used as a good bioindicator for tributyltin contamination monitoring in the marine environments.

**Keywords:** imposex, gastropods, tributyltin contamination, Chon Buri Province, Thailand

## บทนำ

สีกันเพรียง (Antifouling Paint) เป็นสิ่งสำคัญต่อเรือทุกชนิดในโลกนี้รวมทั้งประเทศไทยเพราะเป็นสีใต้น้ำและอยู่ชั้นนอกสุดของสีใต้น้ำ โดยทำหน้าที่ป้องกันการเกาะของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ ต่อตัวเรือ เพราะถ้ามีการเกาะของเพรียงบนผิวของเรือจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองค่าน้ำมันและค่าการดูแลรักษาเรืออย่างสูงโดยสารพิษที่เป็นส่วนผสมในสีกันเพรียงคือ สารประกอบไตรบิวทิลทิน (Tributyltin compounds; TBT)<sup>1</sup> ปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีการใช้สีทาเรือที่อาจจะมีสารประกอบไตรบิวทิลทินเป็นส่วนประกอบจึงทำให้มีการตกค้างและปลดปล่อยสารประกอบไตรบิวทิลทินออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจึงตามมาและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มความรุนแรงยิ่งขึ้นถ้าหากไม่มีการป้องกันและศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากปัญหานี้ ๆ อย่างจริงจัง

การวัดผลกระทบของสารพิษต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำรวมทั้งการจัดการควบคุมสารไตรบิวทิลทินจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพราะในแหล่งน้ำเป็นต้นกำเนิดของห่วงโซ่อาหารต่าง ๆ จำนวนมากและเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิดและต่อเนื่องมายังมนุษย์ในที่สุด<sup>2</sup> ซึ่งจากการสำรวจตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539 ถึง พ.ศ. 2547 พบสารประกอบไตรบิวทิลทินในบางจังหวัดปริมาณที่ไม่สูงมากอยู่ในช่วง < 2 ถึง 322.33 นาโนกรัมต่อลิตร โดยพบปริมาณสูงสุดในจังหวัดตราดบริเวณปากแม่น้ำตราด และบริเวณที่พบสารไตรบิวทิลทินในปริมาณที่สูงได้แก่ จังหวัดจันทบุรี ระยอง และชลบุรี และจากรายงานพบว่าปริมาณสารประกอบไตรบิวทิลทินที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมทางทะเลเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำหลายชนิดทำให้เกิดความผิดปกติในระยะตัวอ่อนของหอยสองฝา<sup>3</sup> นอกจากนี้เมื่อมีการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินแม้ในปริมาณต่ำ ๆ ก็สามารถทำให้หอยฝาเดียวเกิดความ

ผิดปกติทางเพศ (Imposex) ซึ่งเป็นลักษณะที่ทำให้หอยเพศเมียมีการพัฒนาสร้างอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เทียม (Pseudopenis) ยื่นออกมาทำให้มีลักษณะคล้ายหอยเพศผู้ตั้งเช่นพบในหอย *Thais bitubercularis* และ *Morula musiva* เป็นต้น แต่ในการเกิด Imposex ในหอยนั้นก็ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าปริมาณของสารประกอบไตรบิวทิลทินควรเป็นเท่าไรที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะสืบพันธุ์เพศผู้เทียม<sup>4, 5, 6</sup> นอกจากผลกระทบที่พบในหอยนั้นยังมีการศึกษาถึงผลกระทบของสารพิษดังกล่าวต่อมนุษย์ พบว่าสารประกอบไตรบิวทิลทินมีผลต่อระบบภูมิคุ้มกันโดยมีผลต่อระบบ Natural killer (NK) cells<sup>7,8,9</sup> และสารประกอบไตรบิวทิลทินมีผลต่อพื้นที่ผิวของระบบเม็ดเลือดแม้จะมีการสัมผัสกับสารประกอบไตรบิวทิลทินเพียงระยะสั้น<sup>10</sup> ซึ่งการค้นพบดังกล่าวสอดคล้องกับการศึกษาของนักวิจัยอื่น ๆ ดังนั้นจึงมีความสงสัยว่าสารประกอบไตรบิวทิลทินน่าจะเพิ่มความเสี่ยงของการเกิดเนื้องอกและมะเร็งในมนุษย์<sup>11-15</sup>

จากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงควรที่จะมีการศึกษาติดตามและตรวจสอบการเกิด Imposex ของหอยชนิดต่างๆ เพื่อประเมินสถานการณ์การปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินด้วยการใช้หอยฝาเดียวชนิดต่าง ๆ ในบริเวณที่จอดเรือและอยู่ต่อ/ซ่อมเรือ รวมทั้งพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดชลบุรีซึ่งเป็นจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยที่มีความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติและมีสถานที่ท่องเที่ยวมาก ส่งผลให้มีการขยายตัวทางเศรษฐกิจจากการค้าขาย การท่องเที่ยว การประมง การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม รวมทั้งมีท่าเรือแหลมฉบังซึ่งเป็นท่าเรือสำหรับขนส่งสินค้าต่าง ๆ ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของประชากรและการพัฒนาเศรษฐกิจอย่างมากส่งผลให้มีสารมลพิษเพิ่มมากขึ้นจำนวนมาก โดยจะทำการประเมินระดับความรุนแรงของการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวชนิดต่างๆ ในจังหวัดชลบุรีซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลเพื่อ

สนับสนุนหน่วยงานราชการและองค์กรสำคัญต่าง ๆ ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องในการฟื้นฟูสภาพแก้ไขปัญหา รวมทั้งเป็นการนำหอยเศรษฐกิจและหอยตามธรรมชาติมาเป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Bioindicator) เพื่อบ่งบอกถึงการจัดการการปนเปื้อนของสีทากันเพรียงที่มีสารประกอบไตรบิวทิลทินในระยะยาว และบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ความปลอดภัยของอาหารทะเลในบริเวณดังกล่าวว่าน่าจะปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อนต่อสารสารประกอบไตรบิวทิลทินหรือไม่และสุดท้ายนี้เพื่อให้ประเทศไทยได้รับความไว้วางใจจากทั่วโลกในด้านการจัดการสีทากันเพรียงที่มีส่วนผสมของสารพิษชนิดสารประกอบไตรบิวทิลทินและทำให้อาหารทะเลที่เพาะเลี้ยงในประเทศไทยได้รับความเชื่อถือว่ามีสารพิษชนิดไตรบิวทิลทินปนเปื้อนซึ่งจะมีผลต่อการส่งออกอาหารทะเลไปยังต่างประเทศรวมทั้งเป็นแนวทางในการเข้าสู่สนธิสัญญาการห้ามใช้สีทากันเพรียงที่มีสารประกอบไตรบิวทิลทินเป็นส่วนประกอบ (The Global Antifouling Treaty) ขององค์การทางทะเลระหว่างประเทศ (IMO)

### วัตถุประสงค์

เพื่อทราบความหลากหลายชนิด ปรากฏการณ์การเกิด ความผิดปกติทางเพศ (Imposex) และการเกิดอวัยวะเพศผู้เทียม (Pseudopenis) ในหอยฝาเดียวชนิดต่าง ๆ ในจังหวัดชลบุรี

### วิธีการศึกษา

#### 1. การเก็บตัวอย่างหอยฝาเดียว

1.1 เก็บตัวอย่างหอยฝาเดียวในแต่ละสถานี (Table 1 และ Figure 1) เพื่อจำแนกชนิดของหอยฝาเดียว<sup>16,17,18</sup> และทำการคัดเลือกชนิดหอยฝาเดียวที่มีในแต่ละพื้นที่ที่มีซ้ำกันมากที่สุดนำมาศึกษาการเกิด Imposex ต่อไป

1.2 แกะเนื้อหอยออกจากเปลือกหอยในห้องปฏิบัติการเพื่อทำการศึกษาการเกิด Imposex โดยศึกษาทุก ๆ 2 เดือน เป็นเวลา 1 ปี ในหอยชนิดต่างๆ ในบริเวณที่จอดเรือและอยู่ต่อ/ซ่อมเรือรวมทั้งพื้นที่การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในจังหวัดชลบุรี

#### 2. การศึกษาการแบ่งระดับการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียว

ตรวจระดับการเกิด Imposex โดยดูลักษณะของ Pseudopenis และวัดความยาวของ Pseudo-penis โดยใช้ Calliper ในการแบ่งระดับการพัฒนาของ Pseudopenis<sup>19</sup> (Figure 2)

**Table 1** Sampling sites of gastropods collected from Chon Buri Province

Sampling sites	Code	UTM zone	X	Y	Reason for sampling site selection
Ao Chon Buri	Cbcb11	47	713329	1479200	Shipping channel where the most of vessels are fishing vessels
Ko Si Chang (Tha Phanurangsri)	Cbsc14	47	696529	1455953	Shipping channel where the most of vessels are fishing vessels and cargo ships
Ao Udom (Center)	Cbau5	47	705600	1451550	Shipping channel where the most of vessels are fishing vessels and cargo ships
Ao Udom (Fish pier)	Cbau1	47	705950	1451350	Shipping channel where the most of vessels are fishing vessels and cargo ships
Hua Laem Chabang	Cblp11	47	703300	1445850	Shipping channel where the most of vessels are fishing vessels and cargo ships
Laem Chabang Port	Cblp52	47	705850	1445200	Shipping channel where the most of vessels are cargo ships
Laem Chabang Port (Center)	Cblp12	47	705500	1445000	Shipping channel where the most of vessels are cargo ships
Ocean Marina Yacht Club Port	CbOp5	47	707048	1418439	Shipping marina area where the most of vessels are yachts, speed boats and sailing boats

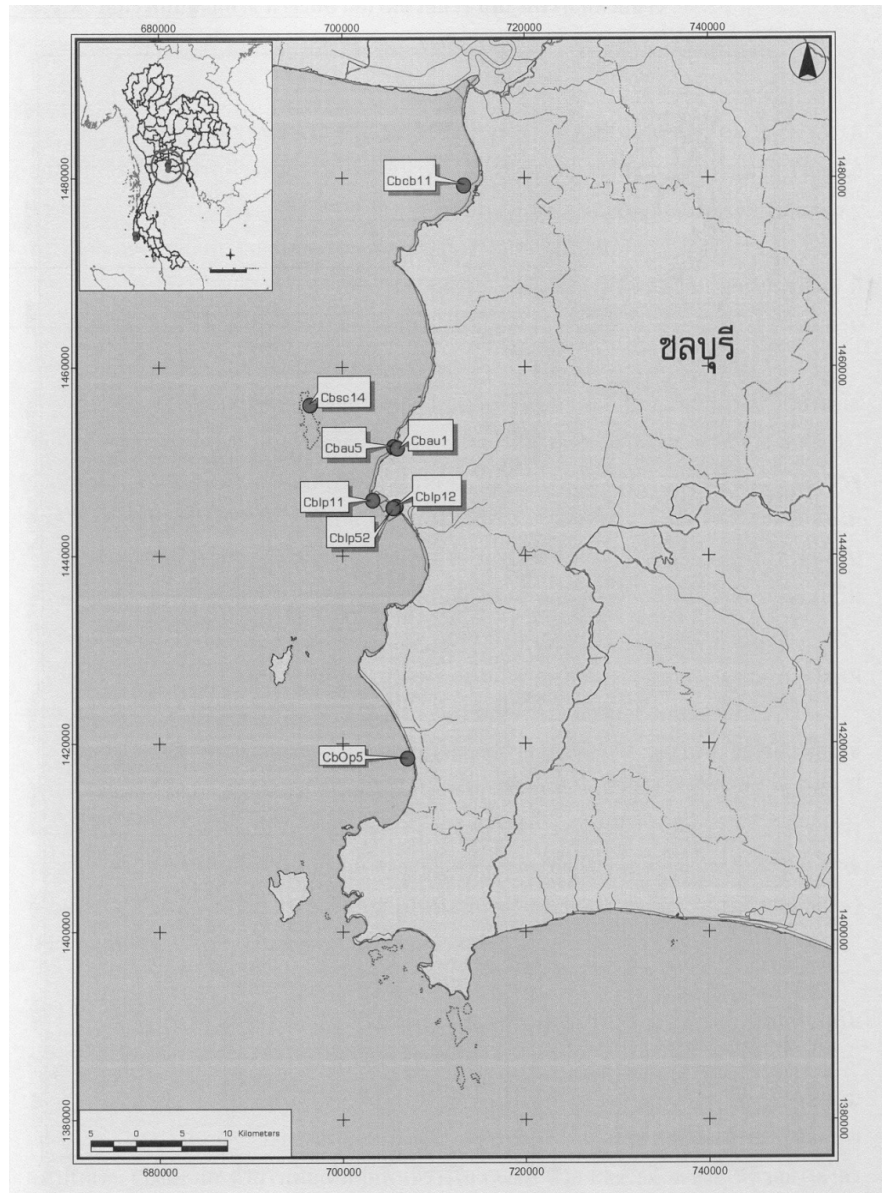


Figure 1 Map of sampling sites in Chon Buri Province



Figure 2 Stages of imposex

0: No male sexual characteristics

1: Small round bud at the site where males grow a penis

2: Enlargement to various shaped structures, the tip of the structure is loose from the body

3: Development of a curved penis similar in shape but of smaller size than in adult males



## ผลการศึกษา

จากการสำรวจการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวเพศเมียในบริเวณ อ่าวชลบุรี เกาะสีชัง (ท่าภาณุรังษี) อ่าวอุดม (กลาง) อ่าวอุดม (สะพานปลา) หัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) และท่าเทียบเรือ บริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ ในช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2550 ผลการทดลอง มีรายละเอียดดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

ผลจากการทดลองพบว่าบริเวณเกาะสีชัง (ท่าภาณุรังษี) หัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) และท่าเทียบเรือ บริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ จะมีการเกิด Imposex สูงในช่วง 50-100% ส่วนในบริเวณอ่าวชลบุรี จะพบการเกิด Imposex ในปริมาณต่ำโดยพบสูงสุดในเดือนมีนาคม (20%) และเดือนพฤษภาคม (4.35%) ส่วนเดือนอื่น ๆ ไม่พบการเกิด Imposex (0%) บริเวณอ่าวอุดมทั้ง 2 ส่วนพบ

ปริมาณการเกิด Imposex ที่คล้ายคลึงกันคือพบมากที่สุดในเดือนพฤษภาคม ในปริมาณสูงสุดถึง 60% และรองลงมาคือในเดือนกันยายนที่มีปริมาณต่ำอยู่ในระหว่าง 7.14-14.29% ดังแสดงใน Table 2 และชนิดของหอยที่พบการเกิด Imposex มักจะเป็นชนิดที่ซ้ำ ๆ กัน ในอ่าวชลบุรีพบ 2 ชนิดที่เกิด Imposex คือ *Pugilina cochlidium* และ *Ergalatax contracta* และในบริเวณต่อมาคือ เกาะสีชัง (ท่าภาณุรังษี) พบ 1 ชนิดที่พบเหมือนกับอ่าวชลบุรี คือ *Pugilina cochlidium* และ *Cymbiola nobilis* ที่พบเหมือนกับบริเวณหัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง และท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) แต่ในท่าเทียบเรือบริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ พบชนิดหอยที่แตกต่างจาก 7 สถานที่ที่ทำการศึกษโดยพบคือ *Nassarius livescens* และส่วนใหญ่ความยาวของ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง  $0.00 \pm 0.00$  ถึง  $1.00 \pm 0.05$  เซนติเมตร

**Table 2** Occurrence of imposex in gastropods in Chon Buri Province

Sampling sites	Occurrence of Imposex (%)						Species of gastropods					
	March	May	July	September	November	February	March	May	July	September	November	February
Ao Chon Buri	20 (n=5)	4.35 (n=46)	0 (n=49)	0 (n=26)	0 (n=5)	0 (n=3)	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Ergalatax contracta</i>	<i>Litterina ardouiniana</i>	<i>Litterina ardouiniana</i>	<i>Lataxiena blosvillei</i>	<i>Lataxiena blosvillei</i>
Ko Si Chang (Tha Phanurangsri)	50 (n=8)	100 (n=12)	100 (n=20)	100 (n=14)	100 (n=20)	100 (n=9)	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Ergalatax margaritico</i>	<i>Ergalatax margaritico</i>	<i>Ergalatax margaritico</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>
Ao Udom (Center)	-	60 (n=5)	0 (n=32)	14.29 (n=8)	0 (n=18)	0 (n=16)	-	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Ergalatax contracta</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>
Ao Udom (Fish pier)	-	60 (n=5)	0 (n=12)	7.14 (n=14)	0 (n=18)	0 (n=16)	-	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Ergalatax contracta</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>	<i>Pugilina cochlidium</i>
Hua Laem Chabang	100 (n=7)	100 (n=3)	100 (n=5)	100 (n=10)	100 (n=6)	100 (n=6)	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>
Laem Chabang Port	-	100 (n=2)	100 (n=6)	100 (n=6)	100 (n=7)	100 (n=9)	-	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>
Laem Chabang Port (Center)	-	100 (n=3)	100 (n=7)	100 (n=8)	100 (n=7)	100 (n=9)	-	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>	<i>Cymbiola nobilis</i>
Ocean Marina Yacht Club Port	0 (n=26)	100 (n=44)	89.66 (n=29)	100 (n=18)	-	-	<i>Nerita chamaeleon</i>	<i>Nassarius livescens</i>	<i>Nassarius livescens</i>	<i>Nassarius livescens</i>	-	-

**Note:** -; Not detected of gastropods in sampling site

**Table 3** Relationship between species of gastropods and length of pseudopenis

Sampling sites	March		May		July		September		November		February	
	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)	Species of gastropods	Length of pseudopenis (cm.)
Ao Chon Buri	<i>Pugilina cochlidium</i>	1.20±0.00	<i>Ergalatax contracta</i>	0.40±0.14	<i>Litterina ardouini-ana</i>	Not pseudopenis detected	<i>Litterina ardouini-ana</i>	Not pseudopenis detected	<i>Lataxiena blosvillei</i>	Not pseudopenis detected	<i>Lataxiena blosvillei</i>	Not pseudopenis detected
Ko Si Chang (Tha Phanurangri)	<i>Pugilina cochlidium</i>	0.98±0.05	<i>Ergalatax margaritico-la</i>	0.32±0.08	<i>Ergalatax margaritico-la</i>	0.17±0.12	<i>Ergalatax margaritico-la</i>	0.19±0.12	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.91±0.07	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.90±0.20
Ao Udom (center)	-	-	<i>Pugilina cochlidium</i>	0.80±0.36	<i>Ergalatax contracta</i>	Not pseudopenis detected	<i>Pugilina cochlidium</i>	0.90±0.10	<i>Pugilina cochlidium</i>	Not pseudopenis detected	<i>Pugilina cochlidium</i>	Not pseudopenis detected
Ao Udom (fish pier)	-	-	<i>Pugilina cochlidium</i>	0.75±0.31	<i>Ergalatax contracta</i>	Not pseudopenis detected	<i>Pugilina cochlidium</i>	0.20±0.00	<i>Pugilina cochlidium</i>	Not pseudopenis detected	<i>Pugilina cochlidium</i>	Not pseudopenis detected
Hua Laem Chabang	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.63±1.19	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.80±0.17	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.44±0.04	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.81±0.22	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.72±0.06	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.82±0.24
Laem Chabang Port	-	-	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.60±0.14	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.53±0.08	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.82±0.13	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.83±0.05	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.81±0.24
Laem Chabang Port (center)	-	-	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.77±0.21	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.53±0.08	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.94±0.15	<i>Cymbiola nobilis</i>	1.00±0.05	<i>Cymbiola nobilis</i>	0.92±0.17
Ocean Marina Yacht Club Port	<i>Nerita chamaeleon</i>	Not pseudopenis detected	<i>Nassarius livescens</i>	0.53±0.20	<i>Nassarius livescens</i>	0.48±0.26	<i>Nassarius livescens</i>	0.37±0.22	-	-	-	-

Note: -; Not detected of gastropods in sampling site

## อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาในครั้งนี้พบการเกิด Imposex ในปริมาณสูง (50-100%) ใน 5 บริเวณคือ บริเวณเกาะสี่ซัง (ท่าภาณุรังสี) หัวแหลมฉะบอง ท่าเรือแหลมฉะบอง (ตอนกลาง) และท่าเทียบเรือบริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ทคลับ เนื่องจากเป็นบริเวณที่มีกิจกรรมทางเรือมาก รวมทั้งเป็นเส้นทางที่เรือแล่นผ่านมาก และพบ *Pseudopenis* มีความยาวอยู่ในช่วง 0.00±0.00 ถึง 1.00±0.05 เซนติเมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทิน ซึ่งตรงกับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษที่ทำการศึกษานี้ปี 2548 พบว่าการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินสูงมากในบริเวณดังกล่าว โดยพบปริมาณการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินในน้ำทะเล ดินตะกอนและเนื้อเยื่อหอย <5 – 69 นาโนกรัมต่อกรัม 9-21 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 17-97 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ<sup>20</sup> จึงทำให้

ในบริเวณดังกล่าวพบการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวเพศเมียได้มากกว่าบริเวณอื่นที่ทำการศึกษา ซึ่งตรงกับงานวิจัยในต่างประเทศพบว่าบริเวณที่มีการสะสมและการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินมากที่สุดคือ บริเวณที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมการต่อและซ่อมเรือ รวมทั้งเส้นทางการเดินเรือ<sup>21,22,23</sup>

ส่วนในบริเวณอ่าวชลบุรีเป็นบริเวณที่มีการทำฟาร์มเลี้ยงหอยแครง ดังนั้นเรือในบริเวณดังกล่าวจึงเป็นเรือประมงที่มีขนาดเล็กและไม่พบว่ามีเรือขนส่งสินค้าหรือเรือเดินสมุทรเดินทางผ่านในบริเวณนี้ทำให้ในบริเวณนี้มีกิจกรรมทางเรือค่อนข้างน้อยซึ่งอาจจะส่งผลให้มีการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินในปริมาณต่ำซึ่งตรงกับผลการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษที่ทำการศึกษานี้ปี 2548 พบว่าการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินมีปริมาณต่ำในบริเวณดังกล่าว โดยพบปริมาณการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินในน้ำ

ทะเล ดินตะกอนและเนื้อเยื่อหอย 24 นาโนกรัมต่อกรัม 8 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 5 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ<sup>1</sup> จึงทำให้ในบริเวณดังกล่าวพบการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวเพศเมียได้น้อยกว่าบริเวณอื่นที่ทำการศึกษา และจะพบว่าถึงแม้พบสารประกอบไตรบิวทิลทินปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมบริเวณอ่าวชลบุรีปริมาณต่ำก็ยังสามารถพบการเกิด Imposex ได้ซึ่งตรงกับหลายๆ งานวิจัยที่พบว่าเมื่อมีการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินแม้ในปริมาณต่ำๆ ก็สามารถทำให้หอยฝาเดียวเพศเมียเกิด Imposex ได้ เช่น ในหอย *Thais bitubercularis*, *Morula musiva* และ *Nucella lapillus* เป็นต้น<sup>4,5,6,24</sup> สำหรับในบริเวณอ่าวอุดม (กลาง) และอ่าวอุดม(สะพานปลา) นั้นเป็นบริเวณท่าเทียบเรือประมงและเรือสปีดโบ๊ต และยังเป็นบริเวณที่ชาวประมงทำการซ่อมเรือ ขูดเพรียงและทาสีเรือด้วยตัวเอง รวมทั้งยังอยู่ใกล้กับสถานที่เก็บน้ำมันของบริษัท การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย จำกัด (ปตท.) คลังน้ำมันเอสโซ่ และโรงกลั่นน้ำมันไทยออยล์ และมีสะพานสำหรับขนถ่ายสินค้าด้วย ทำให้มีเรือเดินสมุทรจอดเทียบท่าในบริเวณนี้ด้วย

ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินในบริเวณนี้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของกรมควบคุมมลพิษ ที่ทำการศึกษานในปี 2548 พบว่าการปนเปื้อนของสารประกอบไตรบิวทิลทินมีปริมาณค่อนข้างสูงในบริเวณดังกล่าวโดยพบปริมาณการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินในน้ำทะเล ดินตะกอนและเนื้อเยื่อหอย น้อยกว่า 5-56 นาโนกรัมต่อกรัม 5-15 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 14-15 นาโนกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ<sup>20</sup> ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการสะสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินดังกล่าวแม้จะพบในปริมาณไม่มากแต่กระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติที่สามารถเกิดขึ้นได้ซึ่งไม่ว่าจะเป็นการย่อยสลายทางกายภาพและทางชีวภาพ<sup>19,25-29</sup> ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายนาน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้สารประกอบไตรบิวทิลทินและการปนเปื้อนสารไตรบิวทิลทินในปัจจุบัน ส่งผลให้มีสารประกอบไตรบิวทิลทินตกค้างในสิ่งแวดล้อมมากจึงส่งผลให้เกิด Imposex ในหอยฝาเดียวเพศเมียในบริเวณดังกล่าว

สำหรับชนิดของหอยฝาเดียวที่เกิด Imposex ในบริเวณที่ทำการศึกษานั้นพบว่ามีความสอดคล้องกับผลการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ คือในหอยฝาเดียวชนิด *Ergalatax contracta* พบว่าเกิด Imposex บริเวณชายฝั่งทะเลในประเทศญี่ปุ่นแต่ไม่มีรายงานพบในปริมาณเท่าใด<sup>34</sup> และพบการเกิด Imposex ในหอยชนิดนี้ที่ชายฝั่งทะเลของประเทศจีน 55.26%<sup>30</sup> ส่วนในหอยฝาเดียวชนิด *Cymbiola nobilis* พบทั้งในประเทศไทยในจังหวัดภูเก็ตและในเมือง Malacca ประเทศ

มาเลเซีย และสำหรับหอยฝาเดียวชนิด *Nassarius livescens* พบว่าเกิด Imposex พบทั้งในจังหวัดภูเก็ตและ Malacca ประเทศมาเลเซีย<sup>31</sup> และยังพบในบริเวณชายฝั่งทะเลด้านตะวันตกของประเทศไต้หวันอีกด้วย<sup>30,32</sup> แต่สำหรับ *Pugilina cochlidium* ยังไม่พบรายงานการวิจัยใดที่บ่งบอกถึงการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวชนิดนี้และจะพบว่าในบริเวณท่าเทียบเรือบริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ พบหอยฝาเดียวชนิด *Nassarius livescens* ซึ่งไม่พบหอยฝาเดียวชนิดนี้ในบริเวณอื่นๆ ที่ทำการศึกษา อาจเนื่องมาจากในบริเวณท่าเทียบเรือบริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ มีลักษณะทรายขนาดหยาบและละเอียดซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จำลอง โตอ่อน (2546) ที่ทำการศึกษาคอนกรีตประชาคมสัตว์ทะเลหน้าดินบริเวณอ่าวศรีราชาจังหวัดชลบุรี โดยทำการศึกษาใน 8 บริเวณพบว่า มีการพบหอยฝาเดียวชนิด *Nassarius livescens* เพียงสถานีเดียว คือ บริเวณชายฝั่งชุมชนบ้านบางพระและดินในบริเวณนั้นมีลักษณะเป็นดินตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ พบอยู่ในช่วงทรายหยาบถึงทรายละเอียด ซึ่งมีลักษณะของดินเช่นเดียวกับบริเวณท่าเทียบเรือบริษัท โอเชียน มารีน่า ยอร์ท คลับ<sup>33</sup>

จากการเกิด Imposex ในหอยฝาเดียวชนิดต่างๆ พบว่าส่วนใหญ่ความยาวของ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง 0.17±0.00 ถึง 1.00±0.05 เซนติเมตร โดย *Pseudopenis* ของ *Pugilina cochlidium* อยู่ในช่วง 0.20-1.20 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาดความยาวของเปลือกอยู่ในช่วง 5.30-8.50 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาก่อนการเกิด Imposex ในบริเวณ Ria Formosa lagoon ของประเทศโปรตุเกส ในปี 2003-2004 ซึ่งเป็นบริเวณที่มีท่าเรือ Olhão และท่าเรือ Faro อยู่ในบริเวณนั้น โดยศึกษาในหอยฝาเดียวชนิด *Hexaplex trunculus* ซึ่งมีขนาดความยาวของเปลือกอยู่ในช่วง 4.20-8.00 เซนติเมตร และ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง 0.20-1.20 เซนติเมตร<sup>34</sup> และสำหรับในหอยที่มีขนาดความยาวของเปลือกอยู่ในช่วง 2.00-4.50 เซนติเมตร คือ หอย *Nassarius livescens*, *Ergalatax contracta* และ *Ergalatax margaritcola* พบ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง 0.20-1.20 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ทำการศึกษาก่อนการเกิด Imposex บริเวณจังหวัดภูเก็ตของประเทศไทย พบว่าเกิด Imposex ในหอย *Ergalatax margaritcola* ที่มีขนาดความยาวของเปลือกอยู่ในช่วง 2.30-2.40 เซนติเมตร และ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง 0.01-0.04 เซนติเมตร และงานวิจัยที่ทำการศึกษาก่อนการเกิด Imposex ในหอย *Thais distinguendar* พบว่าในหอยที่มีขนาดเล็กกว่า (น้อยกว่า 2.5 เซนติเมตร) จะมีขนาดของ *Pseudopenis* เล็กกว่าในหอยชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า (มากกว่า 2.5

เซนติเมตร) เมื่อทำการทดลองในสภาวะเดียวกัน<sup>35</sup> และสำหรับหอย *Cymbiola nobilis* ที่มีขนาดความยาวของเปลือกอยู่ในช่วง 7.20-16.0 เซนติเมตร และ *Pseudopenis* อยู่ในช่วง 0.40-1.30 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ *Pseudopenis* และขนาดความยาวของเปลือกแล้วพบว่ามีความยาวของเปลือกน้อยกว่าหอยชนิดอื่น ๆ ที่พบอาจเนื่องมาจากหอย *Cymbiola nobilis* มีความไวต่อสารไตรบิวทิลทินต่ำกว่าหอยฝาเดียวชนิดอื่น ๆ ซึ่งต้องการศึกษาต่อไป

จากงานวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าสภาพการณ์ในปัจจุบันน่าจะยังมีการใช้สีทากันพริ้งที่มีส่วนผสมของสารประกอบไตรบิวทิลทินอยู่ หรือเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบไตรบิวทิลทินที่เข้ามาและจะสะสมในดินตะกอนเป็นระยะเวลานาน<sup>26,28</sup> ซึ่งบ่งชี้ว่าสารประกอบไตรบิวทิลทินเป็นส่วนหนึ่งของระบบห่วงโซ่อาหารแล้วทำให้สามารถสะสมและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ได้เช่นกัน ดังนั้นการวัดผลกระทบของสารประกอบไตรบิวทิลทินต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำรวมทั้งการจัดการควบคุมสารประกอบไตรบิวทิลทินจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพราะในแหล่งน้ำเป็นต้นกำเนิดของห่วงโซ่อาหารต่าง ๆ จำนวนมากและเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์น้ำเศรษฐกิจหลายชนิดและต่อเนื่องมายังมนุษย์ในที่สุด<sup>36,37,38</sup>

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

1. Fargasova, A. & Kizink, J. 1996. Effect of Organotin Compounds on the Growth of the Freshwater Alga *Scenedesmus quadricauda*. *Ecotoxicology and Environmental safety*, 34 (2): 156-159.
2. สุภัณฑิต นิมรัตน์ มณฑกานต์ วิสุทธิแพทย์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2547. การย่อยสลายทางชีวภาพของสารไตรบิวทิลทิน ไตรบิวทิลทิน และโมโนบิวทิลทินในดินตะกอน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 9(1-2): 46-57.
3. Bech, M. 2002. A survey of imposex in muricids from 1996 to 2000 and identification of optimal indicators of tributyltin contamination along the east coast of Phuket Island, Thailand. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 887-896.
5. Fiorni, P., Oehlmann, J. & Stroben, E. 1991. The

- pseudohermaphroditism of prosoblanchs, morphological aspects. *Zoologischer Anzeiger*, 226: 1-26.
6. Solé, M., Morcillo, Y., & Pote, C. 1998. Imposex in the commercial snail *Bolinus brandaris* in the north-western Mediterranean. *Environmental Pollution*, 99 (2): 241-246.
  7. Tan, K.S. 1997. Imposex in Three Species of Thais from Singapore, with Additional observation on *T. clavigera* (Kuster) from Japan. *Marine Pollution Bulletin*, 34 (7): 577-581.
  8. Whalen, M.M., Green, S. & Loganathan, B.G. 2002a. Brief butyltin exposure induces irreversible inhibition of the cytotoxic function on human natural killer cells, in vitro. *Environmental Research*, 88: 19-29.
  9. Whalen, M.M., Loganathan, B.G. & Kannan, K. 1999. Immunotoxicity of environmentally relevant concentrations of butyltins on human natural killer cells in vitro. *Environmental Research*, 81: 108-116.
  10. Whalen, M.M., Walker, L. & Loganathan, B.G. 2002b. Interleukins 2 and 12 produce significant recovery of cytotoxic function in dibutyltin-exposed human natural killer cells. *Environmental Research*, 88: 103-115.
  11. Odman-Ghazi, S.O., Hatcher, F., Whalen, M.M. 2003. Expression of functionally relevant cell surface markers in dibutyltin-exposed human natural killer cells. *Chem Biol Interact*, 146 (1): 1-18.
  12. Ghoneum M, Hussein A.E. & Gill G. 1990. Suppression of murine natural killer cell activity by tributyltin: in vivo and in vitro assessment. *Environmental Research*, 52 (2): 178-186.
  13. Roper, D.S. & Hickey, C.W. 1992. Acute toxicity of cadmium to two species of infaunal marine amphipods (tube-dwelling and burrowing) from New Zealand. *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 49: 165-170.
  14. Smialowicz, R.J., Riddle, M.M., Rogers, R.R. 1989. Immunotoxicity of tributyltin oxide in rats exposed as adults or pre-weanlings. *Toxicology*, 57: 97-111.
  15. Snoeij, N.J., Penninks, A.H., Seinen, W. 1987. Biological activity of organotin compounds an overview. *Environmental Research*, 44: 335-353.
  16. Van, L.H., Krajnc, E.I. & Rombout, P.J. 1990. Effects of ozone, hexachlorobenzene, and bis(trin-butyltin)

- oxide on natural killer activity in the rat lung. *Toxicol Appl Pharmacol*, 102: 21-33.
17. Abbott, R.T. & Dance, S.P. 2000. Compendium of sea shells. USA : Odyssey Publishing.
  18. Dance, S.P. 1974. The collector's encyclopedia of shells. New York : Mc Graw Hill Book Company.
  19. Swenne, C., Moolenbeek, R.G., Ruttanadukul, N., Hobbelink, H., Dekker, H. & Hajisamae, S. 2001. The molluscs of the Southern Gulf of Thailand. *Thai Studies in Biodiversity*.
  20. Mensink, B.P., Kralt, H., Vethaak, A.D., Ten Hallers-Tjabbes, C.C., Koeman, J.H., van Hattum, B., & Boon, J.P. 2002. Imposex induction in laboratory reared juvenile *Buccinum undatum* by tributyltin (TBT). *Environmental Toxicology and pharmacology*, 11: 49-65.
  21. กรมควบคุมมลพิษ. 2548. มาตรการและแผนปฏิบัติการจัดการการใช้สารประกอบดีบุกอินทรีย์ชนิดไตรบิวทิลสำหรับประเทศไทย. โครงการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเล
  22. Narayan, B. B., Anita, G., Ranjita, H., Sangeeta, J., Subhash, S.S., Venkat, K. & Chandrasheker, A. 2005. Butyltin in the sediments of Kochi and Mumbai harbours, west coast of India. *Environment International* Available online 29 september 2005.
  23. Ryota M., Shin T., Shinsuke T., & Ichiro T. 2005. Status of butyltin pollution along the costs of western Japan in 2001, 11 years after partial restrictions on the usage of tributyltin. *Marine Pollution Bulletin*, 51(8-12): 940-949.
  24. Sudaryanto, A., Takahashi, S., Iwata, H., Tanabe, S. & Ismail, A. 2004. Contamination of butyltin compounds in Malaysian environments. *Environmental Pollution*, 130 (3): 347-358.
  25. Bryan, G.W., Gibbs, P.E., Hummerstone, L.G. & Burt, G.R. 1986. The decline of the gastropod *Nucella lapillus* around South-West England: evidence for the effect of tributyltin from antifouling paints. *Marine Biological Association of the United Kingdom*, 66: 611-640.
  26. เพ็ญนภา ศรีสวัสดิ์ เสาวภา สวัสดิ์ภีระ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย และสุภัณฑิลา นิมรัตน์. 2548. การเปลี่ยนแปลงสภาพและการสะสมของสารไตรบิวทิลทินและสารตัวกลางในหอยหวาน. ในการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
  27. มณฑกานต์ วิสุทธิแพทย์ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย วรเทพ มุขวรรณ พิชาญ สว่างวงศ์ และสุภัณฑิลา นิมรัตน์. 2548. การเปลี่ยนแปลงสภาพและการสะสมของสารไตรบิวทิลทินและสารตัวกลางในดินตะกอนภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน. ในเอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 4. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
  28. Nimrat, S., Wisuttiphaet, M. & Vuthiphandchai, V. 2004. Biodegradation of Tributyltin, Dibutyltin and Monobutyltin in Sediments. *Burapha Science Journal*, 9(1): 46-57.
  29. Stewart, C. & De Mora, S.J. 1990. A review of the degradation of tri (n-butyl) tin in the marine Environment. *Environmental Technology*, 11: 565-70.
  30. Wisuttiphaet, M., Vuthiphandchai, V., Mutuwan, V., Sawangwong, P. & Nimrat, S. 2004. Biodegradation of tributyltin and its metabolites in marine water Poster presentation in: Environmental Science, Technology and Management Conference, Nakhonnayok, Thailand, November 4-6, 2004. (In English) Shi, H.H., Huang, C.J., Zhu, S.X., Yu, X.J. & Xie, W.Y. 2005. Generalized system of imposex and reproductive failure in female gastropods of coastal waters of mainland China. *Marine Ecology Progress Series*, 304: 179-189.
  31. Swennen, C., Ruttanadukul, S. Singh, H.R., Mensink, B.P. & ten Hallers-Tjabbes, C.C. 1997. Imposex in sublittoral and littoral gastropods from the gulf of thailand and strait of Malacca in relation to shipping.
  32. Liu, L.L. & Suen, I.J. 1996. Prosobranch gastropod imposex in the west coast of Taiwan. *Venus*, 55 (3): 207-214.
  33. จำลอง โตอ่อน. 2546. โครงสร้างประชาคมสัตว์ทะเลหน้าดินบริเวณอ่าวศรีราชาจังหวัดชลบุรี. *วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T)*, 4 (3): 213-232
  34. Vasconcelos, P., Gaspar, M.B. & Castro, M. 2006. Imposex in Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus (Gastropoda: Muricidae) from the Ria Formosa lagoon (Algarve coast-southern Portugal). *Marine Pollution Bulletin*, 52 (3): 337-341.

35. Bech, M., Strand, J. & Jacobsan, J.A. 2002. Development of imposex and accumulation of butyltin in the tropical muricid *Thais distinguenda* transplanted to a TBT contaminated site. *Environmental Pollution*, 119: 253-260.
36. Nimrat, S. 2005. Contamination of TBT at shipyards and marinas in Thailand. In: The meeting with the expert from USEPA and implementation on the action plan for management of TBT compound, December 1-2, 2005, Century park hotel, Bangkok.
37. Nimrat, S. 2005b. Use of antifouling paint containing TBT in Thailand. In: The meeting with the expert from USEPA and implementation on the action plan for management of TBT compound, December 1-2, 2005, Century park hotel, Bangkok.
38. Nimrat, S. 2005. Waste and wastewater of antifouling paint containing TBT management in Thailand. In: The meeting with the expert from USEPA and implementation on the action plan for management of TBT compound, December 1-2, 2005, Century park hotel, Bangkok.

# การตรวจสอบการปนเปื้อน *Vibrio parahaemolyticus* ในหอยแครงด้วยโมโนโคลนอลแอนติบอดี

## Investigation into Contamination by *Vibrio parahaemolyticus* in Cockle (*Anadaragranosa*) Using Monoclonal Antibody

วารุณี หะยีมะสา<sup>1</sup>

Warunee Hajimasalaeh<sup>1</sup>

Received: 17 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

### บทคัดย่อ

ไวรัสโอ พาราฮีโมไลติคัสหรือ *Vibrio parahaemolyticus* เป็นแบคทีเรียก่อโรคที่พบในอาหารทะเล สามารถก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning) ในมนุษย์ และเนื่องจากอาหารทะเลเป็นอาหารที่ได้รับความนิยม แต่มีการบริโภคที่ไม่ถูกสุขลักษณะทำให้มีรายงานอุบัติการณ์ของโรคอาหารเป็นพิษทุกปี ดังนั้นในงานวิจัยนี้ทำการตรวจสอบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ในหอยแครง (*Anadaragranosa*) ในอ่าวปัตตานี ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคม 2559 โดยใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* และโมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *Vibrio* spp. ชนิดต่างๆ และทดสอบด้วยวิธี dot blotting พบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ในหอยแครง มีปริมาณเชื้อ  $4 \times 10^3$  CFU ml<sup>-1</sup> ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ นอกจากนี้พบการปนเปื้อน *V. vulnificus* ซึ่งเป็นเชื้อก่อให้เกิดการติดเชื้อในกระแสเลือด หรือพบการติดเชื้อที่บาดแผลจากข้อมูลนี้เป็นการเฝ้าระวังการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษได้

**คำสำคัญ :** ไวรัสโอ พาราฮีโมไลติคัส โรคอาหารเป็นพิษ หอยแครง โมโนโคลนอลแอนติบอดี

### Abstract

*Vibrio parahaemolyticus* is a seafood-borne pathogenic bacteria that can cause food poisoning in humans. There is a huge number of current reports concerning an epidemic of food poisoning from seafood consumption. This study aimed to investigate the contamination of *V. parahaemolyticus* in cockle (*Anadaragranosa*) at Pattani Bay during May to August, 2016. A monoclonal antibody (MAbs) specific to *V. parahaemolyticus* and MAbs specific to *Vibrio* spp. were used and detected by dot blotting. The dot blotting indicated that *V. parahaemolyticus* was found in cockle. It had a yield of  $4 \times 10^3$  CFU ml<sup>-1</sup> and it exceeded the standard of the Department of Medical Sciences, Thailand. Moreover, the result revealed contamination by pathogenic *V. vulnificus* which causes septicemia and wound infection. Finally, this study attempts to highlight the need for carefulness and attention to the epidemic of food poisoning.

**Keywords:** *Vibrio parahaemolyticus*, food poisoning, cockle, monoclonal antibody

### บทนำ

แบคทีเรียก่อโรค ไวรัสโอพาราฮีโมไลติคัส (*Vibrioparahaemolyticus*) เป็นแบคทีเรียแกรมลบในสกุล *Vibrio* มีรูปร่างท่อน สามารถพบการกระจายในทะเล มีโพลาร์แฟลกเจลลสำหรับใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่ง *V. parahaemolyticus* เป็นแบคทีเรียก่อโรคในมนุษย์ สามารถก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ (food poisoning)

ซึ่งทำให้เกิดกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบ (gastroenteritis) เป็นโรคที่เกิดจากการรับประทานอาหารทะเล โดยมีรายงานการระบาดของอเมริกา ยุโรป เอเชีย และแอฟริกา เกิดจากการบริโภคอาหารทะเล เช่น ปลาสด ปลาซาร์ดีน ปลาแมคเคอเรล หอย ปลาหมึกยักษ์ กุ้ง ปู กุ้งลอบสเตอร์ และหอยนางรม เป็นต้น โดยเฉพาะการบริโภคหอยสุกๆ ดิบๆ ที่มีการปนเปื้อน

<sup>1</sup> อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาอำเภอมะนัง จังหวัดยะลา 95000,

<sup>1</sup> Lecturer, Faculty of Science Technology and Agriculture YalaRajabhat University, AmphorMaung, Yala Province 95000, Thailand.  
warunee.h@yru.ac.th

*V. parahaemolyticus* ก่อให้เกิดกระเพาะอาหารและลำไส้ อักเสบแบบเฉียบพลัน โดยมีอาการท้องร่วง ปวดศีรษะ อาเจียน ปวดมวนท้อง และมีไข้ต่ำ<sup>1-5</sup> ทั้งนี้ในประเทศไทยการบริโภคอาหารทะเลเป็นที่นิยมอย่างมาก ทำให้มีรายงานการอุบัติการณ์ของโรคอาหารเป็นพิษอย่างต่อเนื่อง ในปี 2558 มีรายงานการระบาดของโรคอาหารเป็นพิษในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ รวมทั้งสิ้น 19,612 ราย จากทุกจังหวัดทั่วประเทศ อัตราป่วย 30.4 ต่อประชากรแสนคน โดยอาหารที่เสี่ยงทำให้เกิดโรค ได้แก่ ยำกุ้งเต้น ข้าวผัดโรยเนื้อปู ยาหอยแครง เป็นต้น<sup>6</sup>

ในการตรวจวิเคราะห์หา *V. parahaemolyticus* สามารถตรวจสอบได้หลายวิธีการ เช่น วิธีการดั้งเดิมโดยการเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นอาหารคัดเลือก Thiosulfate Citrate Bile Salt Sucrose Agar (TCBS) จากนั้นทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี (biochemical method) แต่ต้องอาศัยระยะเวลาในการทราบผล และต้องใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเป็นจำนวนมากในการทดสอบ ดังนั้นมีการพัฒนาวิธีการทางชีวโมเลกุล เช่น วิธี polymerase chain reaction (PCR) โดยการตรวจหายีน *tox R*, *tdh* หรือ *trh* ซึ่งยีนดังกล่าวเป็นปัจจัยก่อความรุนแรงของ *V. parahaemolyticus* เป็นต้น<sup>7-8</sup> วิธีการนี้เป็นวิธีที่รวดเร็วกว่าแต่ต้องอาศัยเครื่องมือที่มีราคาแพงและผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านนอกจากนี้มีการตรวจวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีการทางภูมิคุ้มกัน ซึ่งใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดี (monoclonal antibody) ที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* วิธีการนี้ให้ผลได้จำเพาะ แม่นยำและใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการดั้งเดิม ตัวอย่างเช่น การแยก *V. cholerae* ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคท้องร่วงอย่างรุนแรงหรือหวาดโรคจากตัวอย่างกุ้ง และสามารถระบุซีโรไทป์ (serotypes) ของเชื้อ *V. cholerae* ชนิด O1, O139, O141 และ non-O1, non-O139, non-O141 จากอาหารและสัตว์ที่ติดเชื้อได้โดยใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. cholerae* และอาศัยวิธี dot blotting ซึ่งไม่ต้องอาศัยการยีนย่นจากการทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี<sup>9-10</sup> นอกจากนี้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* สามารถแยก *V. parahaemolyticus* จาก *Vibrio* spp. ในตัวอย่างอาหารทะเลสดที่มีจำหน่ายในตลาดสด เช่น กุ้ง หอยแมลงภู่ หอยแครง และหอยนางรม ได้โดยอาศัยวิธี dot blotting<sup>11</sup> ดังนั้นในงานวิจัยนี้ใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* ในการตรวจหาการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ในหอยแครงจากอ่าวปัตตานี อำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี ซึ่งเป็นแหล่งที่มีประชากรหอยแครงตามธรรมชาติโดยอาศัยวิธี dot blotting

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เก็บตัวอย่างหอยแครงจากแหล่งธรรมชาติในอ่าวปัตตานี บริเวณอำเภอเมือง จังหวัดปัตตานี ทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2559 จากนั้นทำการตรวจสอบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ด้วยวิธี dot blotting โดยวิธีการดัดแปลงจาก Prompamornet *al.* (2013)<sup>11</sup> ดังนี้ บดตัวอย่างหอยแครงสด 25 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างหอยแครงบด 1 กรัม เติมน้ำอาหารเลี้ยงเชื้อ alkaline peptone water (APW) ที่เติม NaCl ความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 9 มิลลิลิตร ทำการเจือจางแบบ tenfold serial dilution จากนั้นเลี้ยงบนอาหารคัดเลือก TCBS แล้วนำไปปรมที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

**Table 1** specificity of monoclonal antibodies

Monoclonal antibodies	Sensitivity:dot blotting (CFU ml <sup>-1</sup> )	Bacterial immunoreactivity
VP-516 <sup>a</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>V. parahaemolyticus</i> <i>V. alginolyticus</i>
VP-618 <sup>a</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>V. parahaemolyticus</i>
VA-165 <sup>b</sup>	10 <sup>6</sup>	<i>V. alginolyticus</i> <i>V. vulnificus</i>
VH-9B11 <sup>c</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>V. harveyi</i>
VC-63 <sup>d</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>V. cholerae</i>
VV20D1 <sup>e</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>V. vulnificus</i>
VC-201 <sup>d</sup>	10 <sup>7</sup>	<i>Vibrio</i> spp.

<sup>a</sup>FromPrompamorn *et al.* (2013)<sup>11</sup>

<sup>b</sup>FromSithigorngulet *al.* (2006)<sup>12</sup>

<sup>c</sup>FromThongkaoet *al.* (2009)<sup>13</sup>

<sup>d</sup>FromPengasuket *al.* (2011)<sup>10</sup>

<sup>e</sup> FromSurasilp (2012)<sup>14</sup>

ทำการนับโคโลนีที่เจริญบนอาหารคัดเลือก TCBS และคัดเลือกโคโลนีสีเขียว จำนวน 25 โคโลนีจากนั้นนำแต่ละโคโลนีมาเจือจางในสารละลาย 0.15 M phosphate buffered saline (PBS) แล้วต้มในน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นหยดลงบนแผ่นกระดาษไนโตรเซลลูโลส ปริมาตร 1 ไมโครลิตรต่อจุด อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำไปแช่ในสารละลาย 5% blotto (นมพว่องมันเนย 5% ที่ละลายในสารละลาย PBS) เป็นเวลา 30 นาที นำแผ่นกระดาษไนโตรเซลลูโลสไปปรมกับโมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อแบคทีเรียแต่ละชนิด (Table 1) เป็นเวลา



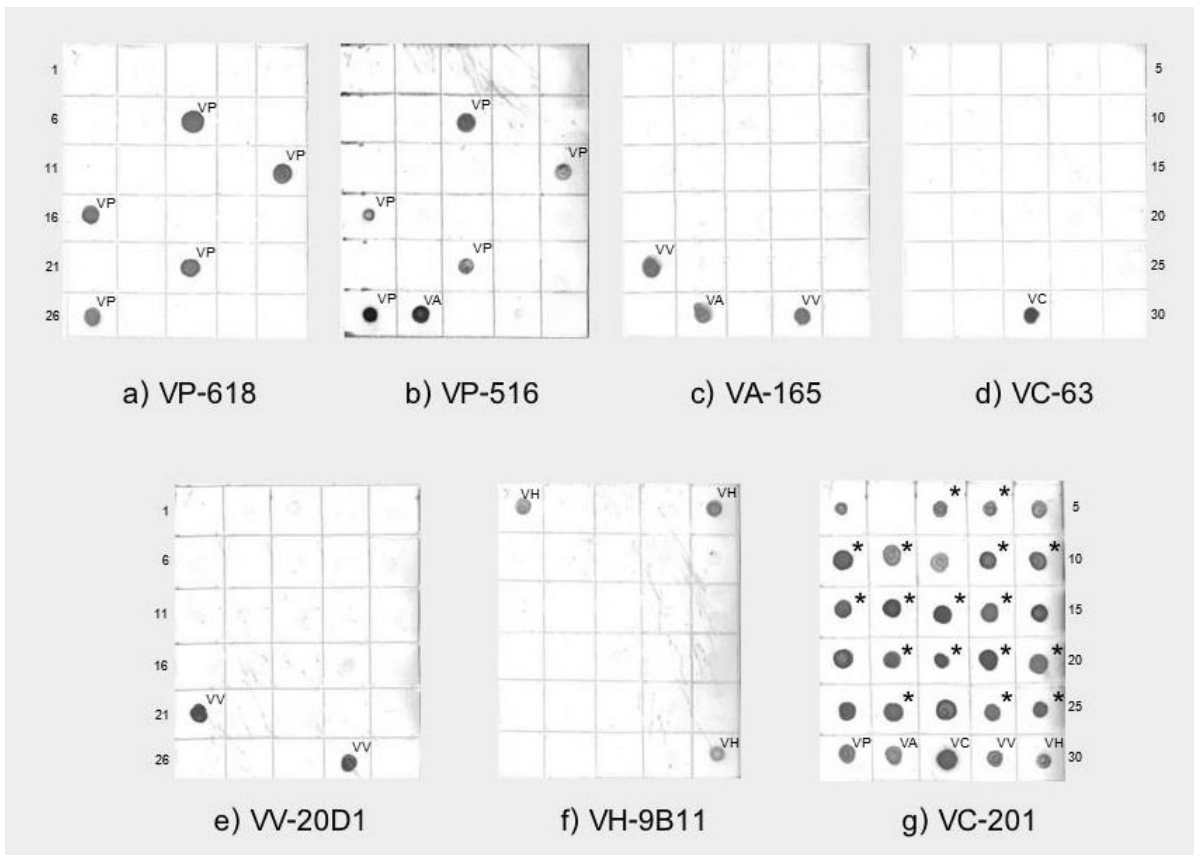
5 ชั่วโมง ล้างด้วยสารละลาย PBS จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที นำไปปฏิกิริยาใน GAM-HRP (goat anti-mouse IgG heavy and light chain horseradish peroxidase conjugate) เจือจาง 1:1,500 ในสารละลาย 5% blotto ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และล้างด้วยสารละลาย PBS จำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที นำแผ่นกระดาษไนโตรเซลลูโลสไปทำปฏิกิริยาในสารละลายซับสเตรดที่ประกอบด้วย 0.03% Diaminobenzidinetetrahydrochloride, 0.006% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> และ 0.05% CoCl<sub>2</sub> ในสารละลาย PBS ซึ่งจะปรากฏจุดสีดำ (immunoreactivity) บนแผ่นกระดาษไนโตรเซลลูโลส แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิเคราะห์ผล

**ผลการศึกษา**

ผลจากการตรวจสอบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ในหอยแครงจากแหล่งธรรมชาติในอ่าวปัตตานีโดยใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* และโมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ

แบคทีเรีย *Vibrio* spp. แต่ละชนิด และนำมาทดสอบด้วยวิธี dot blotting ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-สิงหาคม 2559 พบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* ซึ่งเกิดจากโมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* (VP-516 และ VP-618) สามารถจับและเกิด immunoreactivity ได้ชัดเจน (Figure 1a, b) และมีปริมาณเชื้อ 4x10<sup>3</sup> CFU ml<sup>-1</sup> (Table 2) แต่พบการปนเปื้อนเพียงเดือนมิถุนายน

นอกจากนี้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. vulnificus* (VA-165 และ VV-20D1) สามารถจับกับ *V. vulnificus* ได้อย่างจำเพาะโดยเกิด immunoreactivity ได้ชัดเจน (Figure 1c, e) ซึ่งพบการปนเปื้อน *V. vulnificus* ในหอยแครงทุกเดือนที่ทำการศึกษาโดยมีปริมาณเชื้อ 2x10<sup>3</sup>, 2x10<sup>3</sup>, 3x10<sup>2</sup> และ 2x10<sup>3</sup> CFU ml<sup>-1</sup> ตามลำดับ (Table2) ส่วนโมโนโคลนอลแอนติบอดี VC-201 ที่มีความจำเพาะต่อแบคทีเรีย *Vibrio* spp. สามารถจับกับ *Vibrio* ที่มีโคโลนีสีเขียวนอื่นๆ ได้นอกเหนือ *Vibrio* ที่ใช้ทดสอบ (*V. parahaemolyticus*, *V. alginolyticus*, *V. vulnificus*, *V. harveyi*) (Figure 1g)



**Figure 1** Detection of contamination of *V. parahaemolyticus* in cockle by dot blotting from Pattani bay in June 2016. The 25 bacteria colonies were samples and 1 µl was spotted onto each square of nitrocellulose membrane and probed with monoclonal antibodies: a) VP-618, b) VP-516, c) VA-165, d) VC-63, e) VV-20D1, f) VH-9B11 and g) VC-201. The No.26-30 indicate positive control VP = *V. parahaemolyticus*, VA = *V. alginolyticus*, VC = *V. cholera*, VV = *V. vulnificus*, VH = *V. harveyi* and \* indicate *Vibrio* spp.

**Table 2** Contamination of *Vibrio* spp.in cockle from Pattani bay between May-August 2016

Month	Bacteria	Number of CFU ml <sup>-1</sup>
May	<i>V. parahaemolyticus</i>	-
	<i>V. vulnificus</i>	2x10 <sup>3</sup>
June	<i>V. parahaemolyticus</i>	4x10 <sup>3</sup>
	<i>V. vulnificus</i>	2x10 <sup>3</sup>
July	<i>V. parahaemolyticus</i>	-
	<i>V. vulnificus</i>	3x10 <sup>2</sup>
August	<i>V. parahaemolyticus</i>	-
	<i>V. vulnificus</i>	2x10 <sup>3</sup>

## วิจารณ์และสรุปผล

การใช้โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อ *V. parahaemolyticus* (VP-516 และ VP-618) สามารถระบุว่าหอยแครงจากแหล่งธรรมชาติบริเวณอ่าวปัตตานีมีการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* โดยพบการปนเปื้อนเพียงเดือนมิถุนายน คาดว่าเกิดจาก *V. parahaemolyticus* อยู่ในระยะ viable but non-culturable (VBNC) หรือระยะพัก (resting state) เป็นการตอบสนองของเชื้อเพื่อให้อยู่รอดได้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เช่น อุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวนหรือการเจริญเป็นต้น<sup>15</sup> และช่วงเดือนพฤษภาคม-สิงหาคม เป็นฤดูฝนของภาคใต้ ปริมาณน้ำฝนอาจทำให้อุณหภูมิและความเค็มของน้ำทะเลลดต่ำลง ส่งผลต่อการเจริญของ *V. parahaemolyticus* ซึ่งสอดคล้องกับคุณภาพน้ำทางกายภาพที่มีผลต่อการเจริญของ *V. parahaemolyticus* เช่น ความเค็ม อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำทะเล เป็นต้น<sup>16</sup> โดยเฉพาะความเค็มและอุณหภูมิของน้ำทะเลเป็นปัจจัยที่สำคัญในการแพร่กระจายของ *V. parahaemolyticus* ทำให้เชื้อสามารถเจริญได้ดีในฤดูร้อนและอาศัยในตะกอนดินในน้ำเมื่อเข้าสู่ฤดูหนาว<sup>17-19</sup> นอกจากนี้การพบการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* บริเวณอ่าวปัตตานีมีความสอดคล้องกับการศึกษาในปี 2005 พบว่าหอยแครงเป็นแหล่งสะสม *V. parahaemolyticus* ซึ่งเป็นหอยแครงที่รวบรวมจากชายฝั่งทะเลในประเทศมาเลเซียโดยทดสอบด้วยวิธี polymerase chain reaction (PCR)<sup>7</sup>

ส่วนผลจากการนับจำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ TCBS พบว่ามีปริมาณ *V. parahaemolyticus* เท่ากับ 4x10<sup>3</sup> CFU/ml<sup>-1</sup> ซึ่งตามมาตรฐานของกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2553) ได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 2

ดังนี้ 1) อาหารดิบ ประเภทอาหารพร้อมปรุงและประเภทอาหารแช่เย็นและแช่แข็ง 2) อาหารพร้อมบริโภคประเภทอาหารทะเลและประเภทอาหารปรุงสุกทั่วไป ต้องไม่พบ *V. parahaemolyticus* ใน ตัวอย่างอาหาร 25 กรัม<sup>20</sup> ดังนั้นหอยแครงสดจากอ่าวปัตตานีที่มีการปนเปื้อน *V. parahaemolyticus* เกินค่ากำหนด นอกจากนี้ยังพบการปนเปื้อน *V. vulnificus* ในหอยแครงซึ่ง *V. vulnificus* เป็นแบคทีเรียก่อโรคในมนุษย์เช่นเดียวกับ *V. parahaemolyticus* เมื่อ *V. vulnificus* เข้าสู่ร่างกายก่อให้เกิดการติดเชื้อในกระแสเลือด (septicemia) หรือพบการติดเชื้อที่บาดแผล (wound infection) ซึ่งอาจพบอาการรุนแรงและมีอัตราการเสียชีวิตสูงในผู้ป่วยที่มีปัญหาระบบภูมิคุ้มกันบกพร่องหรือโรคตับอักเสบเรื้อรัง<sup>21</sup> จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าหอยแครงเป็นแหล่งสะสมเชื้อแบคทีเรียก่อโรคในสกุล *Vibrio* ดังนั้นควรระมัดระวังในการบริโภคหอยแครงเพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภคและช่วยป้องกันการเกิดโรคอาหารเป็นพิษต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2559 จากมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลาและได้รับการอนุเคราะห์โมโนโคลนอลแอนติบอดีที่มีความจำเพาะต่อแบคทีเรียแต่ละชนิดจากรองศาสตราจารย์ ดร.ศิวาพร ลงยันต์ สาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร กรุงเทพฯ

## เอกสารอ้างอิง

1. Twedt RM. Chapter 13. *Vibrio parahaemolyticus*. New York: Marcel Decker, Inc.; 1989.
2. Liston J. Microbial hazards of seafood consumption. Food Technol 1990;44:56-62.
3. Su YC, Liu CC. *Vibrio parahaemolyticus*: a concern of seafood safety. Food microbiol 2007;24:549-558.
4. Kaysner CA, DePaola A. "Vibrio".in Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods, 4th Edn, edsDownes F. P., Ito K., editors. (Washington, DC: American Public Health Association), 1990:405-420.
5. Urmsbach S, Alter T, Korlage MS, Sperling L, Gerdt G, Messelhäusser U, Huehn S. Population analysis of *Vibrio parahaemolyticus* originating from different geographical regions demonstrates a high

- genetic diversity. BMC Microbiol 2014;1-14.
6. สำนักกระบาดวิทยา กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. DDC WATCHจับตาโรคและภัยสุขภาพ: อาหารเป็นพิษ. 2559; 2(4).ได้จาก: [http://www.boe.moph.go.th/files/news/20150408\\_27011424.pdf](http://www.boe.moph.go.th/files/news/20150408_27011424.pdf) สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559
  7. Bilung LM, Radu S, Bahaman AR, Rahim RA, Napis S, Vui Ling MWC, Tanil GB, Nishibuchi M. Detection of *Vibrio parahaemolyticus* in cockle (*Anadara granosa*) by PCR. FEMS Microbiol Lett 2005 Nov 1;252(1):85-88
  8. Kanjanasopa D, Pimpa B, Chow PS. Occurrence of *Vibrio parahaemolyticus* in cockle (*Anadara granosa*) harvested from the south coast of Thailand. Songklanakarin J Sci Technol 2011;33:295-300.
  9. Pengsuk C, Longyant S, Rukpratanporn S, Chaivisuthangkura P, Sridulyakul P, Sithigorngul P. Development of monoclonal antibodies for simple detection and differentiation of *Vibrio mimicus* from *V. cholerae* and *Vibrio* spp. by dot blotting. Aquacult 2010 Feb 27;300:17-24.
  10. Pengsuk C, Longyant S, Rukpratanporn S, Chaivisuthangkura P, Sridulyakul P, Sithigorngul P. Differentiation among the *Vibrio cholerae* serotypes O1, O139, O141 and non-O1, non-O139, non-O141 using specific monoclonal antibodies with dot blotting. J Microbiol Methods 2011 Nov;87(2):224-233.
  11. Prompamorn P, Longyant S, Pengsuk C, Sithigorngul P, Chaivisuthangkura P. Rapid identification and differentiation of *Vibrio parahaemolyticus* from *Vibrio* spp. in seafood samples using developed monoclonal antibodies. World J Microbiol Biotechnol 2013 Apr;29(4):721-731.
  12. Sithigorngul W, Rengpipat S, Tansirisittikul A, Rukpratanporn S, Longyant S, Chaivisuthangkura P, Sithigorngul P. Development of monoclonal antibodies for simple identification of *Vibrio alginolyticus*. Lett Appl Microbiol 2006 June;26(43):436-442.
  13. Thongkao K, Longyant S, Chaivisuthangkura P, Rukpratanporn S, Sridulyakul P, Sithigorngul P. Production of monoclonal antibodies specific to *Vibrio harveyi*. In: The 35th congress on science and technology of Thailand (ST33S), 2009 Oct 15-17; Thailand, P 94-95.
  14. Surasilp T. Development of immunological-based assay and loop mediated isothermal amplification method for specific detection of *Vibrio vulnificus* in marine animals. Bangkok: Srinakharinwirot University; 2012.
  15. James D. The viable but non culturable state in bacteria. J. Microbiol 2005 Feb;43:93-100.
  16. Cabrera-García ME, Vázquez-Salinas C, Quiñones-Ramírez EI. Serologic and Molecular Characterization of *Vibrio parahaemolyticus* Strains Isolated from Seawater and Fish Products of the Gulf of Mexico. Appl Environ Microbiol 2004 Nov; 70(11):6401-6406.
  17. Kaneko T, Colwell RR. The annual cycle of *Vibrio parahaemolyticus* in Chesapeake Bay. Appl Microbiol 1975 Aug;30(2):251-257.
  18. Bates TC, Tolker-Nielsen T, Molin S, Oliver JD. The viable but nonculturable state in *Vibrio parahaemolyticus*. Abstracts of the 100th General Meeting of the American Society for Microbiology 2000.
  19. DePaola A, Nordstrom JL, Bowers JC, Wells JG, Cook DW. Seasonal abundance of total and pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* in Alabama oysters. Appl Environ Microbiol 2003 Mar;69(3):1521-1526.
  20. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. ได้จาก <http://dmsc2.dmsc.moph.go.th/webroot/BQSF/File/VARITY/dmscguide1.pdf> สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559
  21. Izumiya H, Matsumoto K, Yahiro S, Lee J, Morita M, Yamamoto S, Arakawa E, Ohnishi M. Multiplex PCR assay for identification of three major pathogenic *Vibrio* spp., *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus* and *Vibrio vulnificus*. Mol Cell Probe 2011 Aug;25(4):174-176.

## การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของเรดอน-222 ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O

### Study on Factor Cancer Formation by Specific Activities of Radon - 222 in Drinking Water Samples Using RAD H<sub>2</sub>O Technique

ไมมูน อินตัน<sup>1\*</sup>, ไชนิบ ดอลเฮะ<sup>1</sup>, ดาริกา จาเออะ<sup>1</sup>, อดุลย์สมาน สุขแก้ว<sup>1</sup>

Maimoon Intan<sup>1\*</sup>, Sainap Doloh<sup>1</sup>, Darika Jaah<sup>1</sup>, Adulsman Sukkeaw<sup>1</sup>

Received: 9 January 2017 ; Accepted: 19 April 2017

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของ เรดอน -222 (<sup>222</sup>Rn) ในตัวอย่างน้ำดื่มครัวเรือน จากแม่น้ำปัตตานี ที่ไหลผ่านบริเวณชุมชนตลาดเก่า จังหวัดยะลา จำนวน 50 ตัวอย่าง โดยใช้เทคนิค RAD H<sub>2</sub>O ซึ่งผลการศึกษพบว่ามีความเข้มข้นของ <sup>222</sup>Rn ในแม่น้ำปัตตานี มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 7.38 Bq/l เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/l ซึ่งจะเห็นว่าความเข้มข้นของ <sup>222</sup>Rn ในตัวอย่างน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น แต่ยังมีอยู่ 3 บริเวณ ที่น่าเป็นห่วง และควรระวัง ได้แก่ ชุมชนจารูปพัฒนา ชุมชนจารูนอก และชุมชนมุสลิมสัมพันธ์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn เท่ากับ 7.38, 5.13 และ 5.72 Bq/l ตามลำดับ เป็นที่ทราบดีว่ากัมมันตรังสีเป็นสารอันตรายที่ทำให้เกิดโรคมะเร็งชนิดต่าง ๆ ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแจ้งข้อมูลและแนวทางป้องกันความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดโรคมะเร็งจากการใช้น้ำบริโภคที่มี <sup>222</sup>Rn ปนเปื้อนอยู่ ให้แก่พยาบาล แพทย์ในชุมชน และเจ้าหน้าที่สาธารณสุขที่เกี่ยวข้องได้รับรู้ เข้าใจและสามารถแนะนำวิธีการป้องกันความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งแก่ประชากรที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ ดังกล่าวได้ โดยทำการกรองน้ำก่อนใช้ทุกครั้ง ซึ่งต้องกรองน้ำผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ จะสามารถสกัดกั้น <sup>222</sup>Rn (สารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุ <sup>226</sup>Ra) ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็ง ไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำได้ถึง ร้อยละ 99

**คำสำคัญ:** Radon-222, กัมมันตภาพจำเพาะ, แม่น้ำปัตตานี, ยะลา, มะเร็ง

#### Abstract

This work was to determine radon-222 (<sup>222</sup>Rn) concentration in 50 water samples collected from the old town market along Pattani River in Yala Province using RAD H<sub>2</sub>O radon-222 (<sup>222</sup>Rn). The results found that the <sup>222</sup>Rn concentration was at an average of 0 - 7.38 Bq/l. The finding results were compared to the reference of United States Environmental Protection Agency US EPA for radon in drinking water, which should be no more than 11 Bq/l. Our results illustrated that most samples has lower <sup>222</sup>Rn concentration except three area: the Jarupattana Jarunok and Muslimsamphan communities where it was were found to be 7.38 , 5.31 and 5.72 Bq/l respectively. All 3 regions must be careful and beware. Radiation is known to a the potent carcinogen agent. Therefore, <sup>222</sup>Rn must be removed from the contaminated water. It is recommended that anionic resin be used to filter the water for consumption to avoid exposure of <sup>222</sup>Rn, which is a Cationic ion. To avoid consumption of <sup>222</sup>Rn, Contaminated water it is recommended to use an anionic resin filter core to filter the water before use in order to prevent a risk of cancer.

**Keywords:** Rn-222, Specific Activities, Pattani River, Yala, cancer

<sup>1</sup> อาจารย์, สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

<sup>1</sup> Lecturer, department of Physics Faculty of Science Technoloh and Agriculture Yala Rajabhat University.

\* Corresponding author; Maimoon Intan, department of Physics Physics Faculty of Science Technoloh and Agriculture Yala Rajabhat University. maimoon.i@yru.ac.th

## บทนำ

เป็นที่ทราบดีว่านิวเคลียสของธาตุต่างๆ ในธรรมชาติบางชนิดเป็นนิวเคลียสเสถียร (Stable nucleus) และบางชนิดเป็นนิวเคลียสไม่เสถียร (Unstable nucleus) โดยนิวเคลียสไม่เสถียรนี้จะมีการสลาย (Decay) ปล่อยอนุภาคแอลฟาหรืออนุภาคบีตา ออกมา ทำให้โครงสร้างของนิวเคลียสเปลี่ยนไปเกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุใหม่ กระบวนการนี้เรียกว่า การสลายกัมมันตรังสี (Radioactive decay) นิวเคลียสของธาตุที่มีการสลายเป็นนิวเคลียสใหม่จะเรียกนิวเคลียสดั้งเดิม (Parent nucleus) นิวเคลียสใหม่ที่เกิดขึ้นเรียกว่า นิวเคลียสลูก (Daughter nucleus) นิวเคลียสลูกและรังสีที่ถูกปล่อยออกมาเรียกว่า ผลผลิตการสลาย (Decay products) ซึ่งในบรรดาธาตุของนิวเคลียสต่างๆ นั้นพบว่า ธาตุเรดอน-222 (<sup>222</sup>Rn) เป็นสารกัมมันตรังสีที่สลายมาจากธาตุเรเดียม-226 (<sup>226</sup>Ra) ซึ่งอยู่ในอนุกรมทอเรียม โดยเรดอนที่เกิดขึ้นนั้น จะสะสมอยู่ในบริเวณต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน น้ำ หิน พืช และอาหาร เป็นต้น<sup>1,2</sup> น้ำที่ปรากฏอยู่ในแหล่งต่าง ๆ จะมีการถ่ายเทหมุนเวียนไปมาตลอดเวลา เริ่มจากไอน้ำในบรรยากาศรวมตัวเป็นหมอก เมฆ กลั่นตัวเป็นน้ำ ตกลงสู่พื้นโลก (Precipitation) บางสภาวะอาจอยู่ในสภาพของแข็ง เช่น ลูกเห็บ น้ำฝนบางส่วนได้รับความร้อนจากผิวโลกจะระเหย (Evaporation) กลับสู่บรรยากาศก่อนถึงผิวโลก น้ำฝนที่ตกถึงพื้นจะถูกดูดซับโดยดิน จนเมื่อดินอิ่มตัวด้วยน้ำจะเอ่อและไหลเป็น น้ำท่า (Run off) ไปตามผิวดินลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ ปัจจุบันมีกลุ่มนักวิจัยในประเทศไทยได้ให้ความสนใจทางด้านการศึกษาตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณ (<sup>222</sup>Rn) ในน้ำ อาทิเช่น การศึกษาแก๊สเรดอนปริมาณสูงในน้ำพุร้อน<sup>3</sup> การศึกษาตรวจวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซเรดอนภายในบ้านเรือนในพื้นที่ลุ่มน้ำทะเลสาบ สงขลาด้วยเทคนิคและปล่อยรังสีแอลฟายบนแผ่นพลาสติก CR -39<sup>4</sup> การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O<sup>5</sup> การวิเคราะห์ปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาล การสำรวจแก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทยที่จังหวัดเชียงใหม่<sup>7</sup> การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง จากปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในแม่น้ำพองเขตจังหวัดขอนแก่น<sup>8</sup> เป็นต้นถึงแม้เรดอนจะมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับพื้นที่ที่สะสมอยู่ แต่ถ้ามีการเก็บสะสมในร่างกายในปริมาณมาก ๆ แล้วก็จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพ โดยถ้าประชาชนดื่มน้ำที่มีเรดอนละลายในปริมาณสูงจะเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งในอวัยวะต่าง ๆ เช่น ปอด ตับ ไต และต่อมอวัยวะเพศ รังสีแอลฟาที่สลายตัวมาจากเรดอนจะทำลายเนื้อเยื่อปอด อันเป็นสาเหตุของการเกิดโรคมะเร็งปอด ซึ่งการที่แก๊สเรดอนจะเข้าสะสมในร่างกายได้มีอยู่แค่สองทาง คือ การหายใจ และการบริโภค ไม่ว่าจะมาจาก

น้ำหรืออาหาร ล้วนจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพทั้งสิ้น ดังนั้นผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาในเรื่องนี้ จึงได้ทำการสำรวจปริมาณ <sup>222</sup>Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม จากแหล่งน้ำธรรมชาติ คือ แม่น้ำปัตตานี ที่ไหลผ่านจังหวัดยะลา ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่ประชากรส่วนใหญ่ใช้ในการอุปโภคบริโภค และเป็นแหล่งน้ำที่ผลิตน้ำประปาอีกด้วย อันตรายที่เกิดจากการได้รับรังสีของ <sup>222</sup>Rn ในน้ำ เมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก จะส่งผลกระทบต่อภายนอก และภายใน เช่น ผมหงอก ผิวหนังไหม้เกรียมเป็นแผลเรื้อรัง เป็นมะเร็ง เป็นอันตรายต่อระบบประสาท หัวใจ เม็ดเลือด และทำให้การหมุนเวียนโลหิตเสียไป ถ้าได้รับรังสีเข้าไปในปริมาณ 400-500 เร็ม ที่ร่างกาย (REM = Radiation Equivalent Measurement เป็นหน่วยวัดมาตรฐานของ ICRU<sup>9</sup> วัดความรุนแรงของผลรังสีต่อสิ่งมีชีวิต) มีโอกาสตาย ร้อยละ 50 แต่ถ้าได้รับรังสีในปริมาณ 1,000 เร็ม จะตาย ร้อยละ 100 และอันตรายของรังสีที่มีผลต่อเซลล์ในร่างกาย ก็จะส่งผลให้เกิดโรคมะเร็งในระบบต่างๆ ได้ อาทิเช่น มะเร็งเม็ดเลือดขาว มะเร็งที่กระดูก มะเร็งปอด และมะเร็งที่ต่อมไทรอยด์และรังสียังส่งผลทำให้คนอายุสั้น เซลล์สืบพันธุ์ผิดปกติทำให้เด็กคลอดก่อนกำหนด เด็กเกิดมาพิการ อ่อนแอไม่แข็งแรง เป็นต้นสาเหตุที่สามารถทำให้ประชาชนเป็นโรคมะเร็งได้นั้น ก็มาจากการได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกายในปริมาณที่มากเกินไปโดยอาจจะได้จากน้ำ อากาศ อาหาร หรือแม้แต่การสัมผัสสิ่งของที่มีการปนเปื้อนของรังสีอยู่ ก็สามารถส่งผลกระทบต่อร่างกายได้ทั้งสิ้น<sup>10-12</sup> โดยเฉพาะน้ำ ซึ่งประชาชนมีความจำเป็น หรือขาดไม่ได้เลยในการดำรงชีวิต และถ้าประชาชนขาดข้อมูลว่าน้ำที่ใช้กันอยู่เป็นประจำนั้น มีการปนเปื้อนของ <sup>222</sup>Rn อยู่ ก็จะทำให้ประชาชนเหล่านั้นได้รับอันตรายที่จะเกิดจากรังสี โดยไม่รู้ตัวเลย แม่น้ำปัตตานีเป็นแหล่งน้ำธรรมชาติของประชาชนในเขตจังหวัดยะลาที่ไหลผ่านหมู่บ้านต่าง ๆ การตรวจวัดหาปริมาณของ <sup>222</sup>Rn จึงเป็นเรื่องสำคัญเพื่อเป็นตัวชี้วัดถึงความปลอดภัยของการใช้น้ำในการบริโภค และนำค่าความเข้มข้นของ <sup>222</sup>Rn เหล่านั้น มาทำเป็นค่ามาตรฐานของแหล่งน้ำธรรมชาติที่ประชาชนในหมู่บ้านนั้น ๆ ในเขตจังหวัดยะลา ได้ใช้ในการบริโภคได้อย่างปลอดภัยด้วย

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะของนิวไคลด์ <sup>222</sup>Rn ที่ปะปนอยู่ในน้ำดื่มจากครัวเรือนในเขตพื้นที่ บริเวณชุมชนตลาดเก่า เขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา
2. เพื่อเทียบปริมาณกัมมันตภาพจำเพาะ <sup>222</sup>Rn ในน้ำดื่มจากครัวเรือน กับค่ามาตรฐานสากลองค์การพิทักษ์

สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา

## วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive research) โดยศึกษาความเสี่ยงที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณ ย่านชุมชนตลาดเก่า ในเขตจังหวัดยะลา ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีดำเนินการเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำดื่ม ทำการเก็บตัวอย่างน้ำดื่มจากบ้านเรือนของประชาชนที่อาศัยในบริเวณชุมชนตลาดเก่า เขตอำเภอเมือง จังหวัดยะลา โดยทำการสุ่มเก็บทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ต่อ 1 ตัวอย่าง ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำจะต้องเปิดน้ำทิ้ง 5-10 นาที เก็บน้ำให้เต็มขวด ปิดฝาให้สนิทจากนั้นนำตัวอย่างน้ำดื่มมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O จากเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic radon detector ที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดก๊าซเรดอนของ สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ โดยเร็วที่สุด (ไม่ควรเกิน 1 สัปดาห์) เพื่อไม่ให้ก๊าซเรดอนในน้ำสูญเสียไปมากโดยผลที่ตรวจวัดจะถูกคำนวณย้อนกลับไปที่เวลาเก็บตัวอย่างเสมอ สามารถคำนวณหาความแรงรังสีได้จากสมการ

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

เมื่อ A คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลาผ่านไป t มีหน่วย แบคเคอเรล (Bq)

A<sub>0</sub> คือ กัมมันตภาพเมื่อเวลาเริ่มต้น (t=0) มีหน่วย แบคเคอเรล (Bq)

λ คือ ค่าคงที่ของการสลายตัว มีหน่วย ต่อวินาที (s<sup>-1</sup>)

t คือ เวลาตั้งแต่เก็บตัวอย่างจนถึงวันที่ทำการตรวจวัด มีหน่วยวินาที (s)

2. วิธีดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซ <sup>222</sup>Rn ในตัวอย่างน้ำดื่ม ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O

ใช้ตัวอย่างน้ำในการตรวจวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยเครื่องจะปั้มน้ำเพื่อให้เกิดฟองอากาศไล่ก๊าซเรดอนให้เข้าสู่อุปกรณ์เก็บตัวอย่างที่ต่อเข้ากับเครื่องวัดชนิด RAD7 Electronic radon detector ซึ่งเครื่องนี้จะทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นนิวไคลด์ลูกของเรดอน คือ <sup>218</sup>Po แล้วเครื่องจะทำการคำนวณย้อนกลับให้กลายเป็นค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซเรดอน เนื่องจากเครื่องวัดจะตรวจวัด 3 ชั่วโมง ต่อ 1 ตัวอย่าง โดยใช้เวลาในการตรวจวัด 20 นาที ซึ่งจะได้ค่าความแรงรังสีเฉลี่ยของก๊าซเรดอนในแต่ละตัวอย่างน้ำออกมาในหน่วย Bq/m<sup>3</sup>

(จะต้องทำการแปลงค่าให้เป็น Bq/L เนื่องจากตัวอย่างในการตรวจวัดเป็นของเหลว เมื่อ 1 ลูกบาศก์เมตร เท่ากับ 1,000 ลิตร) ในการคำนวณค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Committed effective dose} = AM (\text{Bq/m}^3) \times 0.4 \times a (\text{day}) \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq/m}^3/\text{day} \quad (2)$$

เมื่อ AM หรือ (Arithmetic means) คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณเรดอนในน้ำดื่ม หน่วยเป็น แบคเคอเรลต่อลูกบาศก์เมตร (Bq/m<sup>3</sup>)

a คือ ระยะเวลา 1 ปี (365 วัน) ที่ประชาชนได้รับปริมาณเรดอน หน่วยเป็นวัน (day)

0.4 คือ แฟกเตอร์สมดุล (Equilibrium factor) สำหรับเรดอนในบ้าน กำหนดโดย United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation<sup>3</sup> 10<sup>-8</sup> Sv/Bq/m<sup>3</sup>/day

คือ แฟกเตอร์การเปลี่ยน (Conversion factor) โดยคิดว่าเมื่อบุคคลได้ดื่มน้ำจำนวน 1 ลิตร ที่มีเรดอน 1 Bq/m<sup>3</sup> ในเวลา 1 วัน จะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากการดูดกลืนรังสี 10<sup>-8</sup> Sv

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการตรวจวัดค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn และปริมาณรังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกาย ในน้ำดื่มครัวเรือน ย่านชุมชนตลาดเก่า จังหวัดยะลา จำนวน 50 ตัวอย่าง เนื่องจากว่าข้อมูลในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นและค่ารังสีขนาดเสี่ยงจากการบริโภคน้ำที่มีเรดอนปะปนเข้าสู่ร่างกายมีจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำมาเสนอเพียง 5 ตัวอย่าง ที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากมีโอกาสสูงที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ประชากรที่ใช้น้ำในบริเวณดังกล่าวได้ ผลการทดลองแสดงดัง Table 1

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า เมื่อนำความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn ในน้ำดื่มครัวเรือนที่วัดได้ มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานอ้างอิงขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา สำหรับเรดอนในน้ำบริโภค ควรมีค่าไม่เกิน 11 Bq/L<sup>13</sup> และค่ารังสีขนาดเสี่ยงของประชาชนที่ใช้น้ำดื่มตลอดทั้งปีมีค่าไม่เกิน 0.1 mSv/y<sup>13</sup> ซึ่งจากความเข้มข้นของ <sup>222</sup>Rn ในตัวอย่างน้ำดื่มที่วัดได้ ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานทั้งสิ้น สามารถใช้ในการบริโภคได้อย่างปลอดภัย แต่ยังมี 3 บริเวณ ที่มีความเสี่ยงสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ คือ แม่น้ำปัตตานีที่ไหลผ่านชุมชนจารูพัฒนา ชุมชนจารูนอก และชุมชนมุสลิมสัมพันธ์ มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn ที่ 7.38 Bq/L (0.078 mSv/y) , 5.13 Bq/L (0.074 mSv/y) และ 5.72 Bq/L (0.083

mSv/y ) ตามลำดับ เนื่องจากบริเวณทั้งสามอยู่ใกล้แนวภูเขา (ซึ่งอาจจะมิดิน หรือหินชนิดที่มีปริมาณยูเรเนียมสูง ทำให้มีการปนเปื้อนของ <sup>222</sup>Rn อยู่) ซึ่งเมื่อแม่น้ำปัตตานีได้ไหลผ่านชั้นใต้ดิน/หินของภูเขาทั้งสอง จึงได้ชะล้าง และพัดพาเอา <sup>222</sup>Rn ออกมาด้วย จึงเป็นสาเหตุให้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ <sup>222</sup>Rn ในสามบริเวณนี้มีค่าสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่ใช้น้ำในการบริโภค บริเวณดังกล่าว ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของ <sup>222</sup>Rn นั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับต้นน้ำ (แหล่งที่มาของน้ำ) ปริมาณน้ำ และอัตราการไหลของน้ำและควรเฝ้าระวัง หาทางป้องกันความเสี่ยง

ที่มีผลต่อสุขภาพของประชาชน ในชุมชนย่านตลาดเก่า อย่างต่อเนื่อง และสังเกตพฤติกรรมของเรดอนในตัวอย่งน้ำดื่มว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง เกิดการสะสมตัวมากน้อยเพียงใดเพื่อสร้างความปลอดภัยให้กับประชาชนในการใช้น้ำดื่ม แต่ถ้าประชาชนไม่มั่นใจว่าน้ำที่ดื่มมีเรดอนปนเปื้อนอยู่สามารถหาทางป้องกันได้โดยการกรองน้ำก่อนใช้ผ่านเครื่องกรองชนิดประจุลบ หรือใช้ไส้กรองที่ทำมาจากเส้นใยอะคริลิกเคลือบด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ก็จะสามารถสกัดกั้นธาตุ <sup>226</sup>Ra (เป็นสารกัมมันตรังสีแม่ที่สลายตัวให้สารกัมมันตรังสีลูก) เป็นการกำจัดเรดอนตั้งแต่ต้นทางไม่ให้ปนเปื้อนในน้ำดื่มได้<sup>14</sup>

**Table 1** The average concentration of <sup>222</sup>Rn in drinking water.

Location	The average concentration of <sup>222</sup> Rn (Bq/L)	The dose of radiation from the intake of water containing radon is mixed into the body. (mSv/y)
Jaru Pattana	7.38	0.078
Jaru nok	5.13	0.074
Tesban 5 shcool	4.92	0.071
Talad kau road 8	4.57	0.065
Muslim sampan	5.72	0.083

**กิตติกรรมประกาศ**

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากกลุ่มงานวิจัยสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่กรุณาให้อาณัติและขอขอบคุณสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำดื่มในครัวเรือนทั้งหมดที่อำนวยความสะดวกการทดลอง

**เอกสารอ้างอิง**

- Richard Cothorn , Paul A. Rebers. (1990). Radon Radium and Uranium in Drinking Water. *Lewis Publishers*,14(3):225 – 247.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency).( 1991). *National Primary Drinking Water Regulation*. US EPA, Radionuclides (Proposed Rules), Federal Register 56.
- พชรวิทย์ โสลา ,ขนิษฐา ศรีสุขสวัสดิ์ มอนันท์ โอมณี, พิบูล อิศสระพันธ์, ลัดดา ธรรมการณีย์. ตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในอากาศน้ำพุร้อน และน้ำแร่บรจจวด บริเวณน้ำพุร้อน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี. ใน: *เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนิวเคลียร์*

- ครั้งที่ 12. โรงแรมแชงกรีลา. กรุงเทพมหานคร; 2554.
- สุขสวัสดิ์ ศิริจารุกุล. *การตรวจวัดปริมาณแก๊สเรดอนในน้ำบาดาลรอบลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาด้วยเทคนิคการกัดยวนิวเคลียร์*. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2543.
- วิชญศาสตร์ อาจโยธา, พชรวิทย์ โสลา. การตรวจวัดเรดอนในน้ำดื่ม เขตอำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น ด้วยเทคนิค RAD H<sub>2</sub>O.ใน : *เอกสารการประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 7*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์. พิษณุโลก: 2558
- สาวิตรี พิมเพ็ง. *การวิเคราะห์ปริมาณ ก๊าซเรดอนในน้ำบาดาล เขตอ.ไชยวาน และอ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี*. (รายงานชีเนียร์โปรเจค). มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2545
- ไพฑูริย์ วรรณพงษ์ ,สมบัติ บวรกิตติ . (2547). แก๊สเรดอนในน้ำพุร้อนธรรมชาติในประเทศไทย. *วารสารวิชาการสาธารณสุข*,13(4),689-695
- วิชญศาสตร์ อาจโยธา . (2556). การศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง จากปริมาณความเข้มข้นของเรเดียม-226 ในแม่น้ำพอง เขตจังหวัดขอนแก่น. *วารสารสมาคมพยาบาลฯ สาขาตะวันออกเฉียงเหนือ*, 31(4),136-143

9. ICRP.(2005). Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk. ICRP Publication 99. *Ann. ICRP*,35(4),431-439
10. NATIONAL ACADEMY PRESS.( 1999).*Risk Assessment of Radon in Drinking Water*. Washington (DC).
11. UNSCEAR (United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). (2000). *Sources and effects of ionization radiation*. New York, Report to the General Assembly of the United Nation, with Scientific Annexes.
12. M. Tirmarche, J.D. Harrison, D. Laurier, F. Piquet, E. Blanchardon, J.W. Marsh.(2010). Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. *Ann. ICRP Publication*,40(1),1-64
13. WHO (World Health Organization). (2008). *Guidelines for Drinking-water Quality, Third edition incorporating the first and second addenda*. WHO, Volume 1, Geneva.
14. วิทยาศาสตร์ อาจโยธา . (2556). การตรวจวัดธาตุเรเดียม 226 ในแม่น้ำพอง เขตจังหวัดขอนแก่น โดยใช้แมงกานีสไฟเบอร์ และเทคนิคแกมมาสเปคโตรเมตรี. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*,16(3),83-91.



## ยาคุมกำเนิดชนิดทานกับมะเร็งเต้านมในสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

### Oral contraceptive use and breast cancer among Thai premenopausal women

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร<sup>1</sup>, ณิชฎาพร พิชัยณรงค์<sup>2</sup>, รังษิณพดล โถทอง<sup>3</sup>, พรารธนา สติติภาวี<sup>4</sup>, ศุภชัย ปิติกุลตั้ง<sup>5</sup>  
 Wisit Chaveepojnkamjorn<sup>1</sup>, Natchaporn Pichainarong<sup>2</sup>, Rungsinoppadol Thotong<sup>3</sup>,  
 Pratana Satitvipawee<sup>4</sup>, Supachai Pitikultang<sup>5</sup>

Received: 27 February 2017 ; Accepted: 3 May 2017

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ยาคุมกำเนิดชนิดทานกับมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีก่อนหมดประจำเดือน ประชากรที่ศึกษา คือ สตรีที่เข้ารับบริการที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ แบ่งออกเป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านม และผู้ที่ไม่ได้เป็นมะเร็งเต้านม จำนวนกลุ่มละ 257 ราย เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป และส่วนที่ 2 ข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพและอนามัยเจริญพันธุ์ โดยทำการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการศึกษา พบว่า มะเร็งเต้านมส่วนมากเป็นชนิด invasive ductal carcinoma (ร้อยละ 91.8) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการทานยาคุมกำเนิด กับมะเร็งเต้านมเมื่อควบคุมตัวแปรรบกวน พบว่า กลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิด เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมสูงถึง 3.39 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ทานยาคุมกำเนิด ( $OR_{adj} = 3.39$ , 95%CI = 1.99-5.75) เมื่อพิจารณาตามระยะเวลาที่ใช้ยาคุมกำเนิด จะพบว่า กลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิดอย่างต่อเนื่องจะเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ ( $OR_{adj} 6-10 \text{ yrs} = 3.91$ , 95%CI = 1.99-7.64;  $OR_{adj} >10 \text{ yrs} = 4.23$ , 95%CI = 2.05-8.71) ฉะนั้นการเฝ้าระวังพฤติกรรมกรรมการบริโภคยาคุมกำเนิดในกลุ่มสตรี และดำเนินการให้ความรู้ถึงประโยชน์ และโทษในการทานยาคุมกำเนิด จะช่วยป้องกันและลดอุบัติการณ์ของโรคมะเร็งเต้านมลงได้ในระดับหนึ่ง

**คำสำคัญ :** ยาคุมกำเนิดชนิดทาน มะเร็งเต้านม สตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

#### Abstract

The objective of this research was to determine the association between oral contraceptive (OC) use and breast cancer among Thai premenopausal women. There were 257 breast cancer patients (cases) and 257 healthy women (controls) from the National Cancer Institute, Bangkok, Thailand. Data were collected by questionnaire that comprised 2 parts: part 1 general characteristics, and part 2 health behaviors and reproductive health factors. The obtained data were analyzed using descriptive statistics and analytic statistics with computerized statistical package. The results revealed major type of breast cancer was the invasive ductal carcinoma (91.8%). Group of OC use when compared

<sup>1</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>3</sup> นักวิชาการ กลุ่มงานวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร 10400

<sup>4</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

<sup>5</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาอนามัยครอบครัว คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

<sup>1</sup> Assoc. Prof., Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

<sup>2</sup> Assoc. Prof., Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

<sup>3</sup> Scholar, Research and Technology Assessment Division, National Cancer Institute, Bangkok 10400, Thailand.

<sup>4</sup> Assoc. Prof., Department of Biostatistics, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

<sup>5</sup> Assist. Prof., Department of Family Health, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

\* Correspondence to: Wisit Chaveepojnkamjorn, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand, 10400. E-mail: wisitchar@yahoo.com

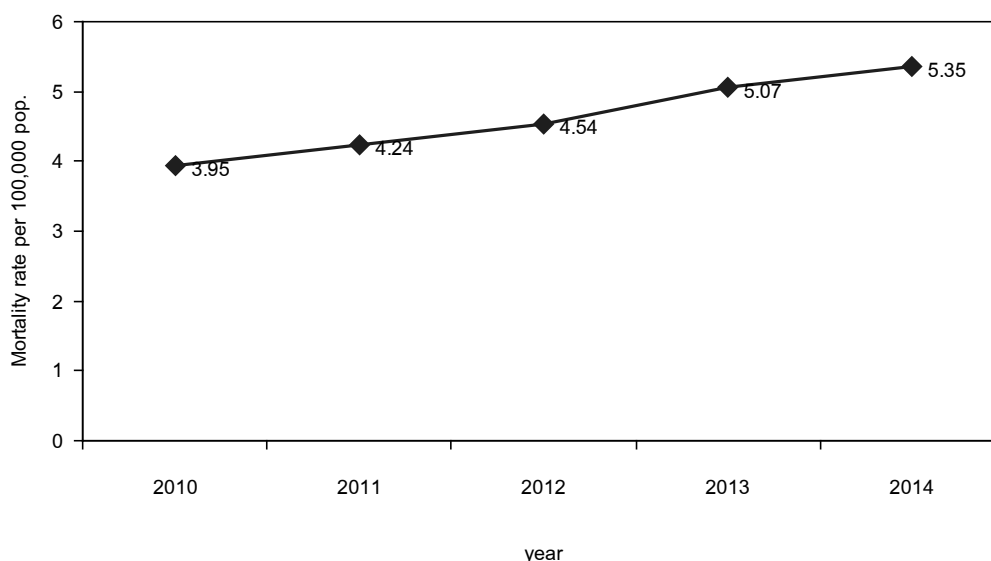
to group of no OC use after adjusting for potential confounders has 3.39 times risk of being breast cancer (OR=3.39, 95%CI =1.99-5.75). In addition, the more duration of OC use, the more being BC (OR<sub>adj</sub> 6-10 yrs=3.91, 95%CI = 1.99-7.64; OR<sub>adj</sub> >10 yrs=4.23, 95%CI = 2.05-8.71). Therefore, the surveillance system of OC use should be conducted and accompanied with providing information of OC use among risk groups and basic adjustment of health lifestyle will reduce and prevent from this problem.

**Keywords** : Oral contraceptive use, breast cancer, Thai premenopausal women

## บทนำ

โรคมะเร็งเป็นหนึ่งในสาเหตุการเสียชีวิตในอันดับต้นๆ มะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด และพบมากเป็นอันดับหนึ่งในสตรีทั้งในประเทศที่พัฒนา และกำลังพัฒนา<sup>1</sup> ปี พ.ศ. 2551 องค์การอนามัยโลกได้รายงานจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่เพิ่มสูงถึง 12.7 ล้านคน ในจำนวนนี้เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมประมาณ 1.38 ล้านคน (ร้อยละ 10.9) และมีผู้เสียชีวิตจากโรคมะเร็งโดยรวมประมาณ 7.6 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ของสาเหตุการเสียชีวิตโดยรวม ร้อยละ 60 ของผู้เสียชีวิตจากมะเร็ง เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา ในจำนวนนี้เป็นผู้เสียชีวิตจากมะเร็งเต้านมราว 458,000 คน<sup>2</sup>

สำหรับประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 มะเร็งโดยรวม จัดเป็นสาเหตุการตายอันดับหนึ่งของคนไทย และพบว่ามะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งชนิดที่พบมากเป็นอันดับหนึ่งในสตรีไทย โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2548 มีรายงานอัตราป่วยมะเร็งเต้านมเท่ากับ 25.6 ต่อประชากรแสนคน และเพิ่มขึ้นเป็น 30.7 ต่อประชากรแสนคนในปี พ.ศ. 2551<sup>2,3</sup> ในด้านความรุนแรงของโรค กระทรวงสาธารณสุขได้รายงานการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านม ปี พ.ศ 2553-2554<sup>4</sup> โดยวิเคราะห์จากใบมรณบัตร พบว่า แนวโน้มของการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งเต้านมค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง Figure 1



**Figure 1** Mortality rates of female breast cancer, Thailand, 2010-2014.

Source: Bureau of Policy and Strategy, Ministry of Public Health<sup>4</sup>

การคุมกำเนิดมีหลายวิธี หนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมสูง คือการทานยาคุมกำเนิด โดยมีหลายงานวิจัยพบว่า ในกลุ่มสตรีวัยเจริญพันธุ์ ปัจจัยด้านการทานยาคุมกำเนิดจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคนี้อย่างมีนัยสำคัญ<sup>5-8</sup> สำหรับการศึกษาในประเทศไทย งาน

วิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีหลักฐานมากพอที่บ่งถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยาคุมกำเนิดชนิดทานกับโรคมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

## วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัยใช้รูปแบบการศึกษาแบบเคสคอนโทรล (case-control) โดยควบคุมปัจจัยด้านอายุ ( $\pm 5$  ปี) ภูมิภาค และระยะเวลาที่ได้รับการวินิจฉัย ระหว่าง cases และ controls ให้มีลักษณะเหมือนกัน

**ประชากร ขนาดตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่าง**  
ประชากรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผู้ป่วยสตรีมะเร็งเต้านมวัยก่อนหมดประจำเดือนที่อายุน้อยกว่า 45 ปี (cases) และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านม โดยมีผลตรวจทางพยาธิวิทยา ยืนยันว่าเป็นมะเร็งเต้านม กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีวัยก่อนหมดประจำเดือนที่อายุน้อยกว่า 45 ปี ที่มาตรวจสุขภาพประจำปี ไม่ได้ป่วยเป็นมะเร็งทุกชนิด และได้รับการตรวจเต้านมยืนยันจากแพทย์เฉพาะทาง การคำนวณขนาดตัวอย่างสำหรับการศึกษาระบบเคสคอนโทรล โดยใช้สูตร<sup>9</sup>

$$n = \frac{\{Z_{\alpha/2} \sqrt{2P(1-P)} + Z_{\beta} \sqrt{P_1(1-P_1) + P_0(1-P_0)}\}^2}{(P_1 - P_0)^2}$$

โดยกำหนดให้  $Z_{\alpha/2} = 1.96$  ที่  $\alpha = 0.05$   $Z_{\beta} = 0.84$  ที่  $\beta = 0.20$   $P_0 =$  สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มควบคุม  $= 0.32^{10}$ ;  $P_1 =$  สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มผู้ป่วย  $= 0.68^{10}$  จากการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรดังกล่าว จะได้ขนาดตัวอย่างกลุ่มละ 256 ราย (อัตราส่วนกลุ่มผู้ป่วย:กลุ่มควบคุม=1:1) ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างทั้งสิ้น จำนวน 514 ราย

## สถานที่ทำการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการวิจัย คือสถาบันมะเร็งแห่งชาติ เป็นผู้เข้ามารักษา มะเร็งเต้านม และมาตรวจสุขภาพประจำปี ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557

### เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)

1. ยินดีให้ความร่วมมือ และให้ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตนเองและครอบครัว ภายหลังได้รับการอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยแล้ว สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย
2. สามารถสื่อสารโดยไม่มีความพิการทางสมอง หรือความบกพร่องทางการพูด หรือการได้ยิน
3. กลุ่มผู้ป่วย (cases) เป็นสตรีไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านม มีอายุน้อยกว่า 45 ปี มีรอบเดือน (menstrual cycle) และได้รับการวินิจฉัยยืนยันทางพยาธิวิทยาจากพยาธิแพทย์ว่าเป็นมะเร็งเต้านมและเป็นมะเร็งชนิดปฐมภูมิ (primary site)
4. กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีไทยที่มาตรวจ

สุขภาพประจำปีมีอายุน้อยกว่า 45 ปี มีรอบเดือน และได้รับการวินิจฉัยยืนยันว่าไม่เป็นมะเร็งประเภทใดๆ และไม่เคยเป็นมะเร็งประเภทใดเลย

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษาประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ด้านประชากรและสังคม

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ (health behaviors and reproductive health factors)

## การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดขอบเขต และโครงสร้างของแบบสอบถามที่จะใช้ในงานวิจัย
3. พัฒนาเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูลด้านประชากร แบบสอบถามข้อมูลด้านสุขภาพ อนามัยเจริญพันธุ์
4. ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ได้แก่ ความตรงเชิงเนื้อหา การใช้ภาษา และความชัดเจนของภาษาจากผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำเครื่องมือไปใช้
5. ทดสอบคุณภาพของแบบสอบถาม

## การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถาม
2. ทำหนังสือถึงผู้อำนวยการสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ที่จะทำการวิจัย เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ ชี้แจงรายละเอียดในการเก็บข้อมูล
3. หลังจากผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง พร้อมผู้ช่วยวิจัยที่ผ่านการฝึกอบรม
4. ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยแนะนำตนเองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ในการวิจัย สิทธิในการตัดสินใจเข้าร่วมหรือบอกเลิกในการตอบแบบสอบถาม การรักษาความลับของกลุ่มตัวอย่าง และขอความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

5. เมื่อกลุ่มตัวอย่างให้ความร่วมมือ ผู้วิจัยแจกแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างกรอกรายละเอียดด้วยตนเอง อธิบายถึงการตอบแบบสอบถามให้เข้าใจอย่างละเอียด ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

6. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ในเดือนพฤศจิกายน 2556 - ธันวาคม 2557

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาตรวจสอบความเรียบร้อย ความสมบูรณ์ ความครบถ้วนของข้อมูล และประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อบรรยายลักษณะของประชากรที่ศึกษา ด้วยความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น สถิติเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi-square test) สถิติวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบลอจิสติก (Multivariable logistic regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ของการทานยาคุมกำเนิด กับการเกิดมะเร็งเต้านมโดยควบคุมปัจจัยด้านสุขภาพและอนามัยเจริญพันธุ์

### การพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัย ผ่านการพิจารณาเห็นชอบโดย สอดคล้องกับคำประกาศเฮลซิงกิ และได้รับอนุมัติให้ทำการวิจัย และเก็บข้อมูล จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัย ในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (MUPH 2014-090) และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยของ สถาบันมะเร็งแห่งชาติ, กระทรวงสาธารณสุข (148/2556)

### ผลการศึกษา

#### ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา จำนวน 514 ราย แบ่งออกเป็น ผู้ป่วยมะเร็งเต้านม (cases) จำนวน 257 ราย และกลุ่มควบคุมที่ไม่ป่วยด้วยมะเร็งเต้านมจำนวน 257 ราย ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 40-44 ปี (ร้อยละ 59.9 และ 61.1) สถานภาพสมรส (ร้อยละ 61.8 และ 60.7) ส่วนใหญ่จบศึกษาสูงกว่าระดับมัธยมศึกษา (ร้อยละ 39.7 และ 51.4) นับถือพุทธ (ร้อยละ 96.5 และ 96.1) ส่วนมากอยู่ภาคกลาง (ร้อยละ 68.5) รองลงมาคือ ภาคตะวันตก (ร้อยละ 18.7) อาชีพลูกจ้าง (ร้อยละ 35.8 และ 33.8) และรายได้ครอบครัวต่อเดือน ระหว่าง 15,000-30,000 บาท (ร้อยละ 53.7 และ 48.2) เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าวระหว่าง cases และ controls ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดัง Table 1

**Table 1** General characteristics of cases and controls.

Characteristics	Cases		Controls		p-value <sup>a</sup>
	No.	%	No.	%	
Age gr. (yrs)					0.981
≤ 29	10	3.9	11	4.3	
30-34	30	11.7	28	10.9	
35-39	63	24.6	61	23.7	
40-44	154	59.9	157	61.1	
Mean (SD)	39.20 (4.39)		39.30 (4.41)		
Min-Max	25-44		25-44		
Marital status					0.070
Single	68	26.5	84	32.7	
Married	159	61.8	156	60.7	
Widowed/Divorced	30	11.7	17	6.6	
Education level					0.068
No formal education	10	3.9	8	3.1	
Primary school	67	26.1	52	20.2	
Secondary school	78	30.3	65	25.3	
Higher education	102	39.7	132	51.4	
Religion					0.689
Buddhism	248	96.5	247	96.1	
Islam	7	2.7	6	2.3	
Christianity	2	0.8	4	1.6	

**Table 1** General characteristics of cases and controls (continued).

Variable	Cases		Controls		p-value <sup>a</sup>
	n	%	n	%	
Region					1.000
North	1	0.4	1	0.4	
Northeast	11	4.3	11	4.3	
Central	176	68.5	176	68.5	
East	16	6.2	16	6.2	
West	48	18.7	48	18.7	
South	5	1.9	5	1.9	
Occupation					0.668
Office employee	92	35.8	87	33.8	
Entrepreneur	77	30.0	85	33.1	
Government officer	73	28.4	75	29.2	
Agriculture	15	5.8	10	3.9	
Monthly family income (baht)					0.066
<10,000	38	14.8	34	13.2	
10,000-15,000	52	20.2	48	18.7	
15,001-30,000	138	53.7	124	48.2	
>30,000	29	11.3	51	19.9	
Mean(SD)	22,740.08 (9,311.92)		24,174.32 (13,541.38)		
Min-Max	7,000-70,000		7,800-95,000		

<sup>a</sup> Chi-square test

### ปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ กับ มะเร็งเต้านม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างหลายระหว่างปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ กับมะเร็งเต้านม พบว่า ประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม อายุ <14 ปี ที่มีประจำเดือนครั้งแรก การมีบุตร (parity) เคยแท้งบุตร การทานยาคุมกำเนิด ระยะเวลาทานยาคุมกำเนิด บุหรี่มือสอง การทานวิตามินรวม และดัชนีมวลกาย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับมะเร็งเต้านม ( $p < 0.05$ ) ดัง Table 2 และเมื่อทำการวิเคราะห์หัตถดถอยโลจิสติกแบบหลายตัวแปร (Multivariable logistic regression analysis) โดยควบคุมปัจจัยด้านประวัติครอบครัวเป็นมะเร็ง

เต้านม ประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม อายุ <14 ปี ที่มีประจำเดือนครั้งแรก การมีบุตร เคยแท้งบุตร บุหรี่มือสอง การทานวิตามินรวม และค่าดัชนีมวลกาย พบว่า การทานยาคุมกำเนิด ยังคงมีความสัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม โดยกลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิด เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมเป็น 3.39 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ทานยาคุมกำเนิด ( $p < 0.001$ ) เมื่อพิจารณาตามระยะเวลาที่ใช้ยาคุมกำเนิด จะพบว่า กลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิดอย่างต่อเนื่องจะเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านมเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ โดยกลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิด 1-5 ปี 6-10 ปี และมากกว่า 10 ปี เสี่ยงต่อมะเร็งเป็น 1.72 3.91 และ 4.23 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่ทานยา ดัง Table 3

**Table 2** Crude analysis of characteristics associated with breast cancer.

Characteristics	Cases		Controls		OR <sub>c</sub>	95%CI	p-value <sup>a</sup>
	No.	%	No.	%			
Family history of breast cancer							
No	211	82.1	249	96.9	1		
Yes	46	17.9	8	3.1	6.79	3.13-14.69	< 0.001*
History of benign breast tumor							
No	209	81.3	235	91.3	1		
Yes	48	18.7	22	8.6	2.45	1.43-4.20	0.001*
Age at menarche (yrs)							
≥14	83	32.3	140	54.5	1		
<14	174	67.7	117	45.5	2.51	1.75-3.59	< 0.001*
Parity							
No	193	75.1	172	66.9	1		
Yes	64	24.9	85	33.1	0.67	0.45-0.99	0.041*
Miscarriage							
No	186	72.4	214	83.3	1		
Yes	71	27.6	43	16.7	1.90	1.21-2.98	0.003*
Breastfeeding							
No	110	42.8	120	46.7	1		
Yes	147	57.2	137	53.3	1.17	0.81-1.68	0.375
OC use							
No	90	35.0	162	63.0	1		
Yes	167	65.0	95	37.0	3.16	2.21-4.54	< 0.001*
Duration of OC use (yrs)							
0	90	35.0	162	63.0	1		
1-5	42	16.3	44	17.1	1.72	1.01-2.90	0.031
6-10	70	27.2	30	11.7	4.20	2.48-7.17	< 0.001
>10	55	21.5	21	8.2	4.71	2.59-8.72	< 0.001
Active smoking							
No	248	96.5	251	97.7	1		
Yes	9	3.5	6	2.3	1.52	0.53-4.33	0.432
Passive smoking							
No	153	59.5	198	77.1	1		
Yes	104	40.5	59	22.9	2.28	1.53-3.41	0.001*
Alcohol consumption							
No	251	97.7	252	98.1	1		
Yes	6	2.3	5	1.9	1.20	0.32-4.61	0.761
Multivitamin use							
No	227	88.3	162	65.4	1		
Yes	30	11.7	89	34.6	0.25	0.15-0.40	< 0.001*
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )							
18.5-22.9	89	34.7	122	47.4	1		
23.0-24.9	44	17.1	54	21.0	1.12	0.67-1.86	0.629
25.0-29.9	88	34.2	41	16.0	2.94	1.81-4.79	< 0.001*
≥30.0	26	10.1	10	3.9	3.56	1.55-8.38	< 0.001*
<18.5	10	3.9	30	11.7	0.46	0.20-1.05	0.056

<sup>a</sup>Chi-square test, OR<sub>c</sub> = crude odds ratio, CI = confidence interval

\*Significant at p&lt;0.05

**Table 3** Multivariable logistic regression analysis of OC use associated with BC patients.

Variables	OR <sub>c</sub>	95%CI	OR <sub>adj</sub>	95%CI	p-value
OC use					
No	1		1		
Yes	3.16	2.21-4.54	3.39	1.99-5.75	<0.001*
Duration of OC use (yrs)					
0	1		1		
1-5	1.72	1.01-2.90	1.72	0.90-3.25	0.099
6-10	4.20	2.48-7.17	3.91	1.99-7.64	<0.001*
>10	4.71	2.59-8.72	4.23	2.05-8.71	<0.001*

OR<sub>c</sub> = crude OROR<sub>adj</sub> = Adjusted OR for family history of breast cancer, history of benign breast tumor, age at menarche, parity, miscarriage, passive smoking, multivitamin use and BMI

\*Significant at p&lt; 0.05

**ข้อมูลผู้ป่วยมะเร็งเต้านม**

Cases เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่ได้รับการตรวจวินิจฉัยยืนยันทางห้องปฏิบัติการ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557 ส่วนใหญ่ มีน้ำหนัก 55-64 กก.(ร้อยละ 40.5) รองลงมา คือ 45-54 กก.(ร้อยละ 27.6) และมีส่วนสูง ระหว่าง 150-159 ซม. (ร้อยละ 65.7) รองลงมาคือ 160-169 ซม. (ร้อยละ 28.1) เมื่อพิจารณาขนาดรูปร่างพบว่า ร้อยละ 61.4 มีภาวะน้ำหนักเกิน และภาวะอ้วน ตำแหน่งที่พบมะเร็ง ส่วนใหญ่พบทั้ง

สองด้าน (ร้อยละ 52.2) ชนิดของมะเร็งเต้านมที่พบมากที่สุดได้แก่ IDC-NOS (ร้อยละ 91.8) และระยะดำเนินโรคส่วนใหญ่อยู่ที่ระยะที่ 2 (ร้อยละ 45.5) เมื่อพิจารณาเฉพาะผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่มีประวัติทานยาคุมกำเนิด โดยมีระยะเวลาเฉลี่ย 9.3 ปี (SD=4.5 ปี) เมื่อจำแนกตามกลุ่ม ส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 6-10 ปี (ร้อยละ 41.9) รองลงมาคือ 1-5 ปี (ร้อยละ 25.1) ดัง Table 4

**Table 4** Characteristics of the BC patients

Variables	Cases	
	No.	%
Weight (kg)		
<45	12	4.7
45-54	71	27.6
55-64	104	40.5
65-74	47	18.3
≥75	23	8.9
Mean (SD)	59.8 (10.5)	
Height (cm)		
<150	15	5.8
150-159	169	65.7
160-169	72	28.1
≥170	1	0.4
Mean (SD)	156.2 (5.2)	
Body size		
Normal	89	34.7
Overweight	44	17.1
Obese I	88	34.2
Obese II	26	10.1
Underweight	10	3.9

**Table 4** Characteristics of the BC patients (continue)

Variables	Cases	
	No.	%
Types		
Invasive ductal carcinoma, not otherwise specified (IDC-NOS)	236	91.8
Ductal carcinoma in situ (DCIS)	4	1.5
Others	17	6.6
Tumor stage		
I	27	10.5
II	117	45.5
III	95	37.0
IV	18	7.0
Location		
Left	60	23.3
Right	63	24.5
Both	134	52.2
Estrogen receptor (ER)		
Negative	110	42.8
Positive	147	57.2
Progesterone receptor (PR)		
Negative	117	45.5
Positive	140	54.5
Human epidermal growth factor receptor (HER-2)		
Negative	156	60.7
Positive	101	39.3
Duration of OC use (yrs) (n=167)		
1-5	42	25.1
6-10	70	41.9
>10	55	33.0

### วิจารณ์และสรุปผล

ประชากรที่ศึกษา เป็นสตรีไทยที่มารับบริการที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ส่วนใหญ่มีอายุ 40-44 ปี หรือราวร้อยละ 60 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านประชากร พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายคลึงกันทั้งด้านอายุ สถานภาพสมรส และภูมิฐานะ เป็นต้น เมื่อควบคุมปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ที่สัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม พบว่า กลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิดเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็งเต้านมสูงกว่ากลุ่มที่ไม่ทานยาคุมกำเนิดประมาณสามเท่า ( $OR_{adj} = 3.39, 95\%CI = 1.99-5.75$ ) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา<sup>5-8,11-13</sup> ในขณะที่หลายงานวิจัยก็ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าว<sup>14-19</sup> เหตุผลที่สนับสนุนความสัมพันธ์ เกี่ยวข้องกับส่วนประกอบในยาคุมกำเนิด โดยยาคุมกำเนิดชนิดทาน มีฮอร์โมนเอสโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ฉะนั้นเอสโตรเจนจะไปจับกับตัวรับจำเพาะ (specific receptors) บนผิวของเซลล์มะเร็งและเมื่อเข้าไปในเซลล์ จะส่งสัญญาณ

(biochemical signals) และกระตุ้นให้เซลล์มีการแบ่งตัวและเพิ่มจำนวนขึ้น<sup>20</sup> ความสัมพันธ์ดังกล่าวจะไม่พบในยาคุมกำเนิดที่มียาคุมกำเนิดเป็นฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนเพียงอย่างเดียวทั้งชนิดฉีดและชนิดทาน<sup>21,22</sup> นอกจากนี้ผลการศึกษาพบว่า ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม จะเพิ่มตามระยะเวลาที่ใช้ยาคุมกำเนิดชนิดทานอย่างต่อเนื่อง บางงานวิจัยพบว่า ถ้ากลุ่มที่ทานยาคุมกำเนิด ได้หยุดการทานยาคุมกำเนิดอย่างต่อเนื่อง ไม่น้อยกว่าสิบปี จะลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านมลงได้อย่างมาก<sup>20,23</sup> ฉะนั้นการคุมกำเนิดในกลุ่มสตรีที่เป็นมะเร็งเต้านมและรักษาหายแล้วจึงควรใช้ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนเป็นหลัก ได้แก่ ยาคุมกำเนิดชนิดฉีดที่มีองค์ประกอบ depot medroxy progesterone acetate, ห่วงอนามัยที่มีฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (IUD with progestogen) และการทานยาคุมกำเนิดที่ประกอบด้วยฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนเพียงอย่างเดียว (progestogen only pills)<sup>24</sup> นอกจากนี้ การตรวจเต้านมด้วย



ตนเอง (breast self examination) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งที่ไม่ควรมองข้าม ฉะนั้นสตรีจึงต้องได้รับการฝึกฝนในการตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้อง<sup>25</sup> สำหรับประเทศไทยได้ส่งเสริมและรณรงค์ให้สตรีที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป สามารถตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้องทุกเดือน โดยให้ทราบถึงประโยชน์และข้อจำกัดของวิธีดังกล่าว ส่งเสริมการให้หมอบูรหลังคลอด 6 เดือนอย่างต่อเนื่อง ลดการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และลดภาวะอ้วน เป็นต้น<sup>2</sup> สำหรับสตรีที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไป ควรได้รับการตรวจแมมโมแกรมเป็นประจำทุกปีปีละ 1 ครั้ง<sup>25,26</sup> การประเมินความเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านม มีเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ the Gail Model, the Claus Model, the Tyree-Cuzick Model และ the BRCAPRO Model เป็นต้น<sup>27-29</sup> จึงควรใช้ร่วมกันเนื่องจากแต่ละเครื่องมือ มีข้อดี และข้อจำกัดที่แตกต่างกัน สำหรับกลุ่มผู้ป่วยมะเร็งเต้านม ที่มีผล ER positive การใช้ยา tamoxifen จึงเป็นตัวเลือกหนึ่งที่ใช้เนื่องจากยาดังกล่าว มีคุณสมบัติแข่งขันกับตัวรับเอสโตรเจน (estrogen receptor) หลายงานวิจัยบ่งถึงคุณสมบัติลดอุบัติการณ์ที่จะเกิดมะเร็งเต้านมซ้ำ รวมถึงลดอัตราการเสียชีวิตจากมะเร็งเต้านม<sup>30-32</sup>

ฉะนั้น โดยสรุป ยาคุมกำเนิดชนิดทานมีความสัมพันธ์กับการเป็นมะเร็งเต้านมในสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน ดังนั้นจึงควรพิจารณาใช้เท่าที่จำเป็น และควรมีมาตรการการเฝ้าระวังโรคมะเร็งเต้านม และพฤติกรรมกรรมการบริโภคยาคุมกำเนิดในกลุ่มสตรี และดำเนินการให้ความรู้ถึงประโยชน์และโทษในการใช้ยาคุมกำเนิดชนิดทาน รวมถึงรณรงค์ส่งเสริมปัจจัยป้องกัน ได้แก่ การออกกำลังกายที่เหมาะสม การบริโภคอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพ (healthy diet) การควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ การหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่ป้องกันได้ และวิถีการเบี่ยงต้นในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ (healthy lifestyle) ในกลุ่มเสี่ยง<sup>2</sup> จะช่วยป้องกันและลดอุบัติการณ์ของมะเร็งเต้านมลงได้ในระดับหนึ่ง

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณผู้ที่เข้าร่วมในการวิจัยทุกท่านที่สละเวลา และให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม เป็นอย่างดี

### เอกสารอ้างอิง

1. Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics. *CA Cancer J Clin* 2015; 65: 5-29.

2. คณะกรรมการจัดทำแผนการป้องกันและควบคุมโรคมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แผนการป้องกันและควบคุมโรคมะเร็งแห่งชาติ พ.ศ. 2556-2560. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2556.
3. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. การสาธารณสุขไทย 2551-2553. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2554.
4. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2557. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2558.
5. Soroush A, Farshchian N, Komasi S, Izadi N, Amirifard N, Shahmohammadi A. The role of oral contraceptive pills on increased risk of breast cancer in Iranian populations: a meta-analysis. *J Cancer Prev* 2016;21(4):294-301.
6. Rosenberg L, Zhang Y, Coogan PF, Strom BL, Palmer JR. A case-control study of oral contraceptive use and incident breast cancer. *Am J Epidemiol* 2009;169(4):473-9.
7. Nyante SJ, Gammon MD, Malone KE, Daling JR, Brinton LA. The association between oral contraceptive use and lobular and ductal breast cancer in young women. *Int J Cancer* 2008;122(4):936-41.
8. Kahlenborn C, Modugno F, Potter DM, Severs WB. Oral contraceptive use as a risk factor for premenopausal breast cancer: a meta-analysis. *Mayo Clin Proc* 2006;81(10):1290-302.
9. Lwanga SK, Lemeshow S. Sample size determination in health studies: a practical manual. Geneva:World Health Organization;1991.
10. Umpan W. Relation between oral contraceptive use and breast cancer in women [Thesis]. Bangkok:Mahidol University;2004.
11. Newcomer LM, Newcomb PA, Trentham-Dietz A, Longnecker MP, Greenberg ER. Oral contraceptive use and risk of breast cancer by histologic type. *Int J Cancer* 2003;106(6):961-4.
12. Hemminki E, Luostarinen T, Pukkala E, Apter D, Hakulinen T. Oral contraceptive use before first birth and risk of breast cancer: a case control study. *BMC Women's Health* 2002;2(1):9.

13. Grabrick DM, Hartmann LC, Cerhan JR, Vierkant RA, Therneau TM, Vachon CM, et al. Risk of breast cancer with oral contraceptive use in women with a family history of breast cancer. *JAMA* 2000;284(14):1791-8.
14. Haile RW, Thomas DC, McGuire V, Felberg A, John EM, Milne RL, et al. BRCA1 and BRCA2 mutation carriers, oral contraceptive use, and breast cancer before age 50. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2006;15(10):1863-70.
15. Silvera SA, Miller AB, Rohan TE. Oral contraceptive use and risk of breast cancer among women with a family history of breast cancer: a prospective cohort study. *Cancer Causes Control* 2005;16(9):1059-63.
16. Milne RL, Knight JA, John EM, Dite GS, Balbuena R, Ziogas A, et al. Oral contraceptive use and risk of early-onset breast cancer in carriers and noncarriers of BRCA1 and BRCA2 mutations. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005;14(2):350-6.
17. Jernstrom H, Loman N, Johannsson OT, Borg A, Olsson H. Impact of teenage oral contraceptive use in a population-based series of early-onset breast cancer cases who have undergone BRCA mutation testing. *Eur J Cancer* 2005;41(15):2312-20.
18. Tessaro S, Beria JU, Tomasi E, Barros AJ. Oral contraceptive and breast cancer: a case-control study. *Revista de saude publica* 2001;35(1):32-8.
19. Van Hoften C, Burger H, Peeters PH, Grobbee DE, Van Noord PA, Leufkens HG. Long-term oral contraceptive use increases breast cancer risk in women over 55 years of age: the DOM cohort. *Int J Cancer* 2000;87(4):591-4.
20. Howlader N, Noone AM, Krapcho M, Miller D, Bishop K, Altekruse SF, Kosary CL, Yu M, Ruhl J, Tatalovich Z, Mariotto A, Lewis DR, Chen HS, Feuer EJ, Cronin KA (eds). SEER Cancer Statistics Review, 1975-2013, National Cancer Institute. Bethesda, MD, [http://seer.cancer.gov/csr/1975\\_2013/](http://seer.cancer.gov/csr/1975_2013/), based on November 2015 SEER data submission, posted to the SEER web site, April 2016.
21. McNaught J, Reid RL, Provencher DM, Lea RH, Jeffrey JF, Oza A, et al. Progesterone-only and non-hormonal contraception in the breast cancer survivor: Joint Review and Committee Opinion of the Society of Obstetricians and Gynaecologists of Canada and the Society of Gynecologic Oncologists of Canada. *J Obstet Gynaecol Can* 2006;28(7):616-39.
22. National Cancer Institute. Breast cancer prevention (PDQ®) patient version. Available from [https://www.cancer.gov/types/breast/patient/breast-prevention-pdq#section/\\_12](https://www.cancer.gov/types/breast/patient/breast-prevention-pdq#section/_12)
23. Collaborative Group on Hormonal Factors in Breast Cancer. Breast cancer and hormonal contraceptives: collaborative reanalysis of individual data on 53297 women with breast cancer and 100239 women without breast cancer from 54 epidemiological studies. *Lancet* 1996;347:1713-1727.
24. Kabos P, Borges VF. Surveillance and detection of recurrence of breast cancer. In: Jacobs L, Finlayson CA, eds. Early diagnosis and treatment of cancer: breast cancer. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2011:307-318.
25. Smith RA, Saslow D, Sawyer KA, et al. American cancer society guidelines for breast cancer screening: update 2003. *CA Cancer J Clin* 2003;53:141-69.
26. American College of Radiology. ACR practice parameter for the performance of screening and diagnostic mammography: revised 2013. Available from <https://www.acr.org/~media/3484ca30845348359bad4684779d492d.pdf>
27. National Cancer Institute: Breast Cancer Risk Assessment Tool: an interactive tool for measuring the risk of invasive breast cancer. Available from <https://www.cancer.gov/bcrisktool/Accessed 16/1/2017>.
28. Santen RJ, Boyd NF, Chlebowski RT, Cummings S, Cuzick J, Dowsett M, et al. Critical assessment of new risk factors for breast cancer: considerations for development of an improved risk prediction model. *Endocr Relat Cancer* 2007;14(2):169-87.
29. Hollingsworth AB, Singletary SE, Morrow M, Francescatti DS, O'Shaughnessy JA, Hartman AR, et al. Current comprehensive assessment and management of women at increased risk for breast cancer. *Am J Surg* 2004;187(3):349-62.

30. Early Breast Cancer Trialists' Collaborative G. Effects of chemotherapy and hormonal therapy for early breast cancer on recurrence and 15-year survival: an overview of the randomised trials. *Lancet* 2005;365(9472):1687-717.
31. Tamoxifen for early breast cancer: an overview of the randomised trials. Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group. *Lancet* 1998;351(9114):1451-67.
32. Fisher B, Bryant J, Dignam JJ, Wickerham DL, Mamounas EP, Fisher ER, et al. Tamoxifen, radiation therapy, or both for prevention of ipsilateral breast tumor recurrence after lumpectomy in women with invasive breast cancers of one centimeter or less. *J Clin Oncol* 2002;20(20):4141-9.

การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) บริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

**Spatial and Temporal Distribution of Tiger Moon Snail *Natica tigrina* (Röding, 1798) in the New Mudflat Area of Laem Phak Bia: The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province.**

เสถียรพงษ์ ขาวหิต<sup>1\*</sup>, เกษม จันทร์แก้ว<sup>1,2</sup>

Sateinpong Khowhit<sup>1\*</sup>, Kasem Chunkao<sup>1,2</sup>

Received: 16 January 2017 ; Accepted: 27 April 2017

### บทคัดย่อ

การศึกษการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) บริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างหอยตะกายบริเวณพื้นที่หาดเลนแบ่ง เป็น 10 แนวแต่ละแนวห่างกัน 100 เมตร ผลการศึกษาพบว่าหอยตะกายอาศัยฝังตัวบนพื้นที่มีระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกไม่เกิน 5 เซนติเมตร ดินตะกอนเป็นชนิดทรายแป้งปนทรายดินประกอบด้วยดินทราย 42 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง 46 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว 12 เปอร์เซ็นต์ คลื่นและลมสงบ น้ำทะเลขึ้นลงแบบน้ำกึ่ง (Semidiurnal tide) ใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง หาดเลนมีระดับที่เสมอกับผิวดินตะกอนทรายจนกระทั่งทำมุมลาดเอียงไม่เกิน 20 องศา ปริมาณหอยตะกายมีจำนวนทั้งหมด 110 ตัว เดือนสิงหาคม 2555 พบมากที่สุดจำนวน 28 ตัว ฤดูฝนพบมากที่สุดจำนวน 57 ตัว ระยะห่างขนานกับชายฝั่งทะเล 500 (L500) เมตร พบมากที่สุด 24 ตัว และ เส้นตั้งฉากที่ L8 พบมากที่สุดมีจำนวน 28 ตัว การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณหอยตะกายมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าของ แคลเซียมละลายน้ำทั้งหมด และค่าออร์โธฟอสเฟต ( $p < 0.05$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียม ( $p < 0.05$ )

**คำสำคัญ:** การกระจายเชิงพื้นที่และเวลา หอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) หาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย

### Abstract

The findings study on spatial and temporal distribution of Tiger moon snail *Natica tigrina* (Röding, 1798) in the new mudflat area of Laem Phak Bia under the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project at Phetchaburi Province during May 2012 to April 2013. Field collection of the Tiger moon snail were carried out by line transect sampling method, using 10 line of a 100 meters transect (L1-L10). The result found that the habitat of Tiger moon snail was sandy loam in depth degree as surface sediment to 5 centimeter which had sandy 42%, silt 46%, clay 12% of that, clam wind and wave, high and low tidal at the lowest that was more than 12 hours, mud flat was as same level as sandy sediment that met the slope of that 20 degree. Total, 110 individuals of

<sup>1</sup> ภาควิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ.

<sup>2</sup> ผู้อำนวยการโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี

<sup>1</sup> Department of Environment Science, Faculty of Environment, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, Thailand.

<sup>2</sup> Director of The King's Royally Initiated Environmental Research and Development Project, Phetchaburi Province.

\* Corresponding author. Email address: sateinpong\_13@hotmail.com

Tiger moon snail were obtained in this study. Our survey demonstrates that the highest number of the Tiger moon snail was 28 individuals in August 2012 and 57 individuals in the rainy season. At the distance of 500 (L500) meters off coast, the highest number of Tiger moon snail was 24 individuals. Among ten line transects, Tiger moon snail exhibited the highest abundance of 28 individuals in Line 8 (L8). The correlation showed positively related to the water quality, DO, TDS and orthophosphate ( $p < 0.05$ ). the correlation showed negatively related to the sediment quality magnesium ( $p < 0.05$ )

**Keywords:** Spatial and temporal distribution, Tiger moon snail *Natica tigrina* (Röding, 1798), New Mudflat Area, Laem Phak Bia

## บทนำ

หอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) เป็นหอยในวงศ์ Naticidae หอยกลุ่มนี้มักจะพบได้บริเวณชายฝั่งทะเลทั่วไปในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนมีพฤติกรรมฝังตัวบริเวณพื้นผิวดินตะกอนที่มีลักษณะเป็นโคลนหรือทราย หอยตะกายเป็นหอยทะเลฝาเดียวขนาดเล็กถึงขนาดกลางมีเปลือกหนา รูปร่างกลมแบนเปลือกเรียบเป็นมันมีลวดลายสีส้มสวยงาม มีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาจนกว่าจะพบเหยื่อและเป็นหอยฝาเดียวที่กินสัตว์อื่นเป็นอาหารเนื่องจากมีอวัยวะพิเศษสามารถเจาะเปลือกเหยื่อให้เป็นรูและใช้วงง (proboscis) ที่มีแผ่นฟัน (radula) เข้าไปขูดเนื้อเยื่อภายในเป็นอาหารได้ เช่น หอยแครง *Anadara granosa* หอยทราย *Donax faba* หอยทับทิม *Umbonium vestiarum* หอยแสนซ่า *Nassarius* sp. นอกจากนี้ยังพบว่ากินหอนอนตัวกลม เม่นทะเล และสัตว์หน้าดินที่มีพฤติกรรมเคลื่อนไหวช้า รวมถึงยังมีพฤติกรรมกินกันเอง (cannibalism) ซึ่งจะใช้เวลาในการจัดการกับเหยื่อราว 10-18 ชั่วโมง<sup>1-8</sup> โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี มีสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจจำนวน 11 ชนิด ได้แก่ อัตราความหนาแน่นของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่มีค่าเฉลี่ยรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.27 ตัว/ตารางเมตร จำนวนสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 69.42 ล้านตัวต่อปี ปริมาณสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1,291 ตันต่อปี และมูลค่าสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่รวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 26.86 ล้านบาทต่อปี<sup>9</sup> หอยตลับ *Meretrix casta* เป็นชนิดที่เด่นและมีปริมาณมากที่สุดจำนวน 921 ตัน<sup>10</sup> ดังนั้นการศึกษาระยะเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกายจึงมีความสำคัญต่อระบบนิเวศวิทยาและห่วงโซ่อาหารของหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ยเนื่องจากหอยตะกายเป็นผู้ล่า (predator) เป็นศัตรูทางธรรมชาติ (Natural enemies) พฤติกรรมการเข้าทำลาย และควบคุมจำนวนของสัตว์หน้าดิน การที่หอยตะกายจะมีในปริมาณ

มากหรือน้อยเกินไปก็จะส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารในหาดเลนตามไปด้วย ซึ่งผลจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้จะทำให้ทราบความชุกชุม การแพร่กระจาย ช่วงเวลาและลักษณะสิ่งแวดล้อมที่มีความเหมาะสมต่อการเติบโต การดำรงชีวิตพื้นที่และเวลาที่พบหอยตะกายมากที่สุดเพื่อที่เป็นประโยชน์ต่อการวางแผนบริหารจัดการทรัพยากรความหลากหลายชีวภาพของตัวของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในบริเวณพื้นที่หาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย และหาดเลนตามธรรมชาติต่อไป

## วัตถุประสงค์การศึกษา

- 1) ศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) บริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำ คุณภาพดินตะกอนกับหอยตะกาย *Natica tigrina* (Röding, 1798) บริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี

## วิธีการวิจัย

### 1. พื้นที่ศึกษา

หาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ตั้งอยู่บนพิกัดละติจูด 14°42.240' เหนือ ถึง 14°43.480' เหนือและลองจิจูด 06°17.780' ตะวันออก ถึง 06°19.271' ตะวันออกครอบคลุมพื้นที่ 1,250 ไร่ (2 ตร.กม. หรือ 2,000,000 ตร.ม.) (Figure 1)

### 2. ปริมาณและการกระจายหอยตะกาย

ทำการเก็บตัวอย่างหอยตะกายบริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ยทุกเดือนเป็นระยะเวลา 12 เดือนระหว่างเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2556 กำหนดจุดเก็บตัวอย่างออกเป็น 10 แนว แต่ละแนวตั้งฉากกับแนวชายฝั่งทะเลห่างกัน 100 เมตร (L1-L10) ขนาดกันกับป่า

ชายเลน (Figure 2A) เลือกช่วงเวลาที่มีน้ำทะเลลงต่ำที่สุดและทำการเก็บตัวอย่างหอยตะกอยชานไปกับชายฝั่งทะเลไปจนกระทั่งน้ำทะเลลงต่ำที่สุดในแต่ละเดือนนั้นๆ (L0-L1,000) ในแปลงเก็บตัวอย่าง (quadrate) 1 จุด 2 ซ้ำ ขนาด 1 x 1 เมตร ที่ระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 15 เซนติเมตร (0-15 เซนติเมตร) และที่ดินตะกอนระดับความลึก 15 เซนติเมตร จนกระทั่งดินตะกอนความลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร (15-30 เซนติเมตร) ตัวอย่างหอยตะกอยที่ได้เก็บใส่ในถุงเก็บตัวอย่างที่เตรียมไว้และทำการจำแนกชนิดหอยตะกอย<sup>๑</sup> และซังน้ำหนักรวมหอยตะกอยต่อตัว

- 2.1) ความหนาแน่นของหอยตะกอย (ตัว/ตร.ม.) = จำนวนตัวอย่างที่เก็บได้พื้นที่ quadrate x จำนวน quadrate
- 2.2) จำนวนหอยตะกอย (ตัว) = พื้นที่หาดเลน (ตร.ม.) x ความหนาแน่น (ตัว/ตร.ม.)
- 2.3) การคำนวณน้ำหนักหอยตะกอยทั้งหมด (ตัน) = ข้อ 2.2 x น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม/เดือน) หารด้วย 1,000 (กิโลกรัม)

**3. การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ**

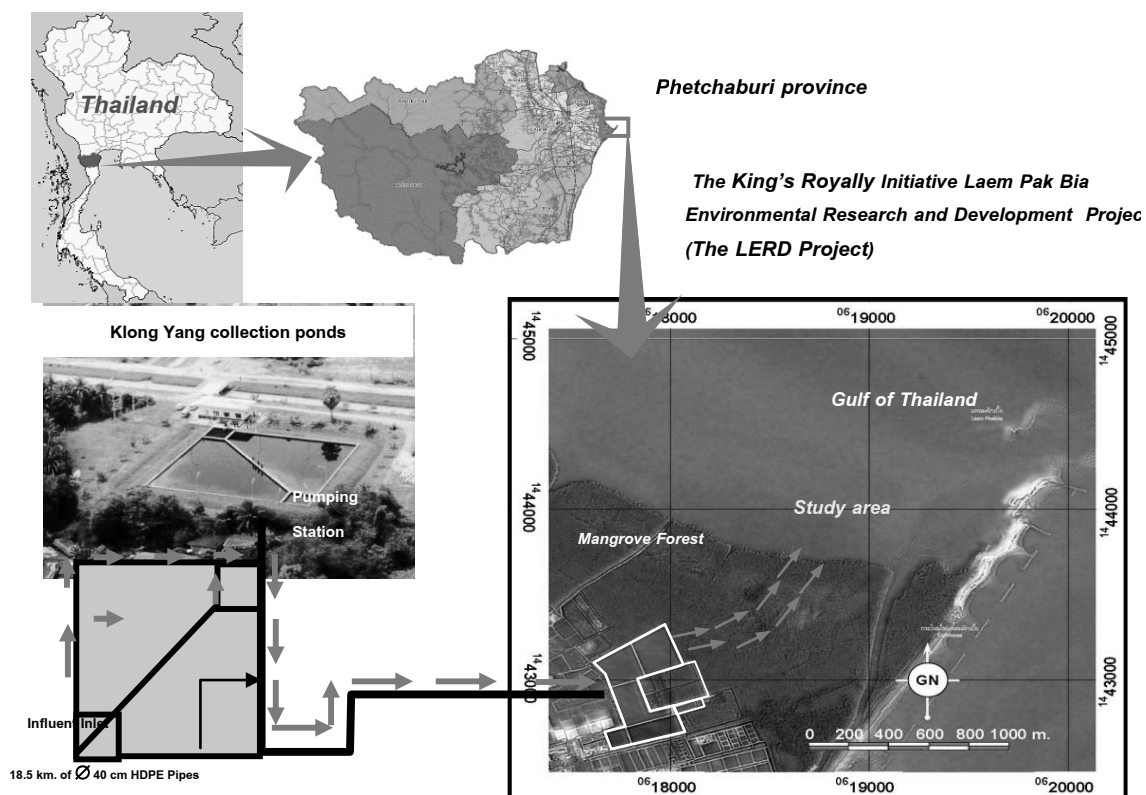
3.1) ช่วงเวลาและการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างทำการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุด 2 ฤดูกาลประกอบด้วยฤดูฝน (เดือนกันยายน พ.ศ. 2555) และฤดูร้อน

(เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556) ที่ระยะห่างจากชายฝั่งจำนวน 3 ระยะ (A-B-C) แต่ระยะมี 5 จุด จุดละ 2 ซ้ำและแต่ละจุดห่างกัน 200 เมตร คือ A: ระยะห่างจากชายฝั่ง 200 เมตร (A1-A5) B: ระยะห่างจากชายฝั่ง 600 เมตร (B1-B5) C: ระยะห่างจากชายฝั่ง 1,000 เมตร (C1-C5) ทำการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนามและใช้ขวดเก็บตัวอย่างน้ำขนาด 1 ลิตร เก็บรักษาในถังแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องแล็บคุณภาพน้ำต่อไป (Figure 2B)

3.2) การวิเคราะห์คุณภาพน้ำดัชนีคุณภาพน้ำเป็นไปตามวิธีกำหนดไว้ตามวิธี<sup>11,12</sup> (Table 1)

**4. การเก็บตัวอย่างดินตะกอน**

4.1) การวางแผนการเก็บตัวอย่างดินตะกอนตัวอย่างดินตะกอนทำการเก็บรวบรวมในช่วงน้ำทะเลลงต่ำสุด 2 ฤดูกาลประกอบด้วยฤดูฝน (เดือนกันยายน พ.ศ. 2555) และฤดูร้อน (เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556) โดยกำหนดจุดการเก็บตัวอย่างดินตะกอน 2 ระยะ (A-B) แต่ระยะมี 5 จุด จุดละ 2 ซ้ำและแต่ละจุดห่างกัน 200 เมตรคือ A: ระยะห่างจากชายฝั่ง 200 เมตร (A1-A5) B: ระยะห่างจากชายฝั่ง 600 เมตร (B1-B5) ในระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่หาดเลนโดยใช้ท่อพีวีซีเส้นผ่าศูนย์กลางความกว้าง 60 เซนติเมตร (Figure 2C)



**Figure 1** Localization of the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project, Laem Phak Bia sub-District, Ban Laem District, Phetchaburi Province, Thailand.

4.2) การวิเคราะห์ตัวอย่างดินตะกอนนำตัวอย่างดินตะกอนที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดในที่รวมเป็นระยะเวลา 2 เดือนหลังจากนั้นนำตัวอย่างดินตะกอนบดให้ละเอียดซึ่งดินตะกอนจำนวน 300 กรัม ใส่ถุงพลาสติกที่ติดฉลากไว้แล้ววิเคราะห์ตามวิธี<sup>13, 14, 15</sup> ได้แก่ ความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าอินทรีย์วัตถุ ค่าฟอสฟอรัส ค่าแคลเซียม ค่าโพแทสเซียม ค่าแมกนีเซียม ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุอินออน (CEC) ขนาดและประเภทของดินตะกอน

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

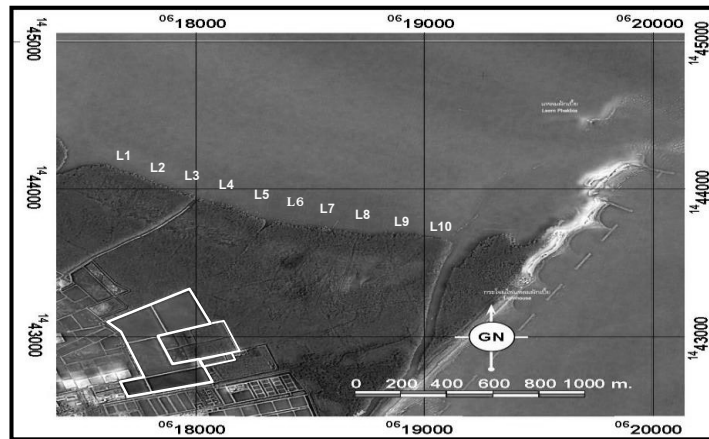
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างค่าปริมาณหอยตะกอยกับค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำและคุณภาพดิน

ตะกอนโดยใช้โปรแกรม SPSS ทำการทดสอบสถิติหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Person Correlation) ตามวิธี<sup>16</sup> โดยใช้ค่าปริมาณหอยตะกอยในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนพฤศจิกายน) และฤดูร้อน (เดือนธันวาคม ถึงเดือนพฤษภาคม)

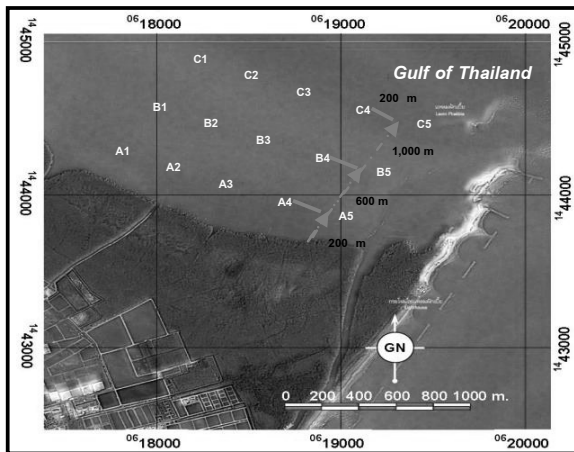
ผลการวิจัย

1. ปริมาณของหอยตะกอย

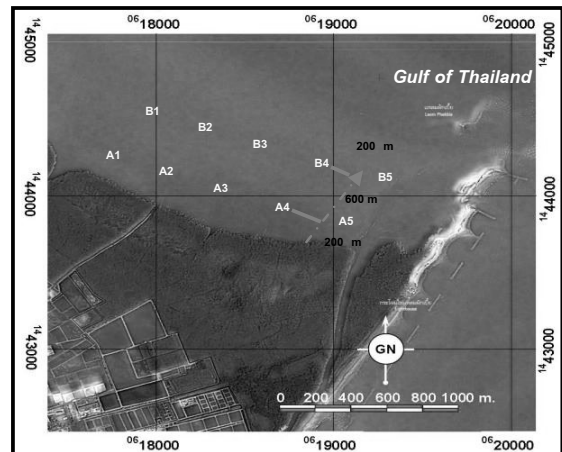
1.1 จากการเก็บตัวอย่างหอยตะกอยเป็นเวลา 12 เดือนในแปลงเก็บตัวอย่างทั้ง 10 แปลง ตามเดือนปริมาณหอยตะกอยมีทั้งหมด 110 ตัว แบ่งตามเดือนพบว่าเดือนสิงหาคมมีหอยตะกอยมากที่สุดจำนวน 28 ตัว



A



B



C

Figure 2 Sampling stations A) Tiger moon snail (L1-L10) B) Water quality C) Sediment quality at the King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project

รองลงมาเดือนพฤศจิกายนมีจำนวน 20 ตัว เดือนมิถุนายนมีจำนวน 15 ตัว เดือนกันยายนจำนวน 10 ตัว เดือนตุลาคมมีจำนวน 8 ตัว เดือนธันวาคมจำนวน 8 ตัว เดือนพฤษภาคมมีจำนวน 5 ตัว เดือนมีนาคมมีจำนวน 5 ตัว เดือนกรกฎาคมมีจำนวน 4 ตัว เดือนมกราคม มีจำนวน 3 ตัว เดือน

กุมภาพันธ์มีจำนวน 2 ตัว และเดือนเมษายนมีจำนวน 2 ตัว ตามลำดับ (Table 2)

1.2 จากการเก็บตัวอย่างหอยตะกอยเป็นเวลา 12 เดือนในแปลงเก็บตัวอย่างทั้ง 10 แปลง ตามเดือนค่าเฉลี่ยมีเท่ากับ 1.10 ตัว/ตร.ม. พบว่าเดือนสิงหาคม หอยตะกอยมาก

ที่สุดมีเท่ากับ 0.28 ตัว/ตร.ม. รองลงมาเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 0.20 ตัว/ตร.ม. เดือนมิถุนายนมีค่าเท่ากับ 0.15 ตัว/ตร.ม. เดือนกันยายนเท่ากับ 0.10 ตัว/ตร.ม. เดือนตุลาคมเท่ากับ 0.08 ตัว/ตร.ม. เดือนธันวาคมเท่ากับ 0.08 ตัว/ตร.ม. เดือนพฤษภาคมเท่ากับ 0.05 ตัว/ตร.ม. เดือนมีนาคมเท่ากับ 0.05 ตัว/ตร.ม. เดือนกรกฎาคมเท่ากับ 0.04 ตัว/ตร.ม. เดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 0.03 ตัว/ตร.ม. เดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.02 ตัว/ตร.ม. และเดือนเมษายนเท่ากับ 0.02 ตัว/ตร.ม. ตาม

ลำดับ

1.3 ปริมาณของหอยตะกอยแบ่งตามฤดูกาลพบว่า ในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน ถึงเดือนกันยายน) หอยตะกอยมากที่สุดมีจำนวน 57 ตัว รองลงมาในช่วงฤดูหนาว (เดือนตุลาคม ถึงเดือนมกราคม) มีจำนวน 39 ตัว และช่วงฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ ถึงเดือนพฤษภาคม) มีจำนวน 14 ตัว ตามลำดับ

**Table 1** Water quality of analytical method

Parameters	Analytical method	Reference
Temperature (°C)	Thermometer	(11,12)
pH	pH Meter	(11,12)
DO (mg/L)	DO Meter	(11,12)
Salinity (psu)	Salinity meter	(11,12)
Turbidity (NTU)	Nephelometric method	(11,12)
TDS (mg/L)	Dried at 103-105 °C	(11,12)
TKN (mg/L)	Colorimetric method	(11,12)
Nitrate (mg/L)	Cadmiumreduction method	(11,12)
Phosphate (mg/L)	Digestion method	(11,12)
Ammonia (mg/L)	Ascorbic acid method	(11,12)
Hydrogen sulfide (mg/L)	Total sulfides	(11,12)
BOD (mg/L)	5-day BOD test	(11,12)
Chlorophyll A ( $mg/m^3$ )	Spectrophotometer	(11,12)

1.4 อัตราความหนาแน่นของหอยตะกอยแบ่งตามฤดูกาลมีค่าเฉลี่ยค่าเท่ากับ 1.10 ตัว/ตร.ม. พบว่าในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน) หอยตะกอยมากที่สุดมีเท่ากับ 0.57 ตัว/ตร.ม. รองลงมาในช่วงฤดูหนาว (เดือนตุลาคม ถึงเดือนมกราคม) มีค่าเท่ากับ 0.39 ตัว/ตร.ม. และในช่วงฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนพฤษภาคม) มีค่าเท่ากับ 0.14 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ

1.5 ระดับความลึกที่พบหอยตะกอยทั้งหมดที่ระดับกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 5 เซนติเมตรเท่านั้น (0-5 เซนติเมตร) จำนวน 110 ตัว จากการเก็บที่ระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 15 เซนติเมตร (0-15 เซนติเมตร) และไม่พบที่ระดับความลึกจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 30 เซนติเมตร (15-30 เซนติเมตร)

## 2. การกระจายของหอยตะกอย

2.1 การกระจายของหอยตะกอยตามแนวตั้งฉากหาดเลน (L1-L10) พบว่าไลน์ที่ L8 มีหอยตะกอยมากที่สุด

จำนวน 27 ตัว รองลงมาไลน์ที่ L9 มีจำนวน 20 ตัว ไลน์ที่ L4 มีจำนวน 18 ตัว ไลน์ที่ L7 มีจำนวน 16 ตัว ไลน์ที่ L2 มีจำนวน 9 ตัว ไลน์ที่ L1 มีจำนวน 8 ตัว ไลน์ที่ L5 มีจำนวน 2 ตัว ไลน์ที่ L6 มีจำนวน 2 ตัว ไลน์ที่ L10 มีจำนวน 2 ตัว และไลน์ที่ L3 มีจำนวน 1 ตัว ตามลำดับ

2.2 อัตราความหนาแน่นของหอยตะกอยตามแนวตั้งฉากหาดเลน (L1-L10) มีค่าเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ 1.10 ตัว/ตร.ม. พบว่าไลน์ที่ L8 มีหอยตะกอยมากที่สุดเท่ากับ 0.27 ตัว/ตร.ม. รองลงมาไลน์ที่ L9 เท่ากับ 0.20 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L4 เท่ากับ 0.18 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L7 เท่ากับ 0.16 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L2 เท่ากับ 0.09 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L1 เท่ากับ 0.08 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L5 เท่ากับ 0.02 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L6 เท่ากับ 0.02 ตัว/ตร.ม. ไลน์ที่ L10 เท่ากับ 0.02 ตัว/ตร.ม. และไลน์ที่ L3 เท่ากับ 0.01 ตัว/ตร.ม. ตามลำดับ

2.3 การกระจายของหอยตะกอยตามระยะห่างขนานกับชายฝั่งทะเลมีจำนวนทั้งหมด 110 ตัว พบว่าที่ระยะห่างชายฝั่งทะเล 500 เมตร (L500) มีหอยตะกอยมากที่สุด



จำนวน 24 ตัว รองลง มาระยะห่างชายฝั่งทะเล 400 เมตร (L400) มีจำนวน 22 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 800 เมตร (L800) มีจำนวน 13 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 300 เมตร (L300) มีจำนวน 12 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 700 เมตร (L700) มีจำนวน 12 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 600 เมตร (L600) มีจำนวน 11 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 100 เมตร (L100) มีจำนวน 6 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 900 เมตร (L300) มีจำนวน 4 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 200 เมตร (L200) มีจำนวน 3 ตัว, ระยะห่างชายฝั่งทะเล 1,000 เมตร (L1000) มีจำนวน 3 ตัว และระยะห่างชายฝั่งทะเล 0 เมตร (L0) มีจำนวน 0 ตัว (ไม่พบ) ตามลำดับ

2.4 อัตราความหนาแน่นของหอยตะกายตามระยะห่างขนานกับชายฝั่งทะเลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.10 ตัว/ตร.ม. พบว่าที่ระยะห่างชายฝั่งทะเล 500 เมตร (L500) มีหอยตะกายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.24 ตัว/ตร.ม. รองลงมา ระยะห่างชายฝั่งทะเล 400 เมตร (L400) เท่ากับ 0.22 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 800 เมตร (L800) เท่ากับ 0.13 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 300 เมตร (L300) เท่ากับ 0.12 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 700 เมตร (L700) เท่ากับ 0.12 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 600 เมตร (L600) เท่ากับ 0.11 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 100 เมตร (L100) เท่ากับ 0.06 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 900 เมตร (L900) เท่ากับ 0.04 ตัว/ตร.ม. ระยะห่างชายฝั่งทะเล 200 เมตร (L200) เท่ากับ 0.03 ตัว/ตร.ม., ระยะห่างชายฝั่งทะเล 1,000 เมตร (L1000) เท่ากับ 0.03 ตัว/ตร.ม. และระยะห่างชายฝั่งทะเล 0 เมตร (L0) ไม่พบ ตามลำดับ

### 3. จำนวนและปริมาณน้ำหนักหอยตะกายทั้งหมด

3.1 ปริมาณน้ำหนักของหอยตะกายทั้งหมดค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.41 กรัมต่อตัวต่อเดือนพบว่าเดือนมิถุนายนมีหอยตะกายมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 8.97 กรัมต่อตัว รองลงมาเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 6.47 กรัมต่อตัว เดือนตุลาคมเท่ากับ 6.38 กรัมต่อตัว เดือนสิงหาคมเท่ากับ 5.86 กรัมต่อตัว เดือนมีนาคมเท่ากับ 5.67 กรัมต่อตัว เดือนเมษายนเท่ากับ

5.47 กรัมต่อตัว เดือนธันวาคมเท่ากับ 5.28 กรัมต่อตัว เดือนกรกฎาคมเท่ากับ 4.47 กรัมต่อตัว เดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 4.14 กรัมต่อตัว เดือนมกราคมเท่ากับ 4.33 กรัมต่อตัว เดือนกันยายนเท่ากับ 3.95 กรัมต่อตัว และเดือนพฤษภาคมเท่ากับ 3.89 กรัมต่อตัว ตามลำดับ (Table 2)

3.2 จำนวนหอยตะกายทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 2.20 ล้านตัวต่อปีและจำนวนหอยตะกายมีค่าเฉลี่ย 0.18 ล้านตัวต่อเดือนพบว่าเดือนสิงหาคมมีหอยตะกายมากที่สุดเท่ากับ 0.56 ล้านตัว รองลงมาเดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 0.40 ล้านตัว เดือนมิถุนายนเท่ากับ 0.30 ล้านตัวเดือนกันยายนเท่ากับ 0.20 ล้านตัว เดือนตุลาคมเท่ากับ 0.16 ล้านตัว เดือนธันวาคมเท่ากับ 0.16 ล้านตัว เดือนพฤษภาคมเท่ากับ 0.10 ล้านตัว เดือนมีนาคมเท่ากับ 0.10 ล้านตัว เดือนกรกฎาคมเท่ากับ 0.08 ล้านตัว เดือนมกราคมเท่ากับ 0.06 ล้านตัว เดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.04 ล้านตัวและเดือนเมษายนเท่ากับ 0.04 ล้านตัว ตามลำดับ (Table 2)

3.3 ปริมาณน้ำหนักหอยตะกายทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 12.30 ตันต่อปีและปริมาณหอยตะกายมีค่าเฉลี่ย 1.03 ตันต่อเดือนพบว่าเดือนสิงหาคมมีหอยตะกายน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 3.28 ตัน รองลงมาเดือนมิถุนายนเท่ากับ 2.69 ตัน เดือนพฤศจิกายนเท่ากับ 1.66 ตันเดือนตุลาคมเท่ากับ 1.02 ตัน เดือนธันวาคมเท่ากับ 0.84 ตัน เดือนกันยายนเท่ากับ 0.79 ตัน เดือนมีนาคมเท่ากับ 0.57 ตัน เดือนพฤษภาคมเท่ากับ 0.39 ตัน เดือนกรกฎาคมเท่ากับ 0.36 ตัน เดือนมกราคมเท่ากับ 0.26 ตัน เดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.26 ตัน และเดือนเมษายนเท่ากับ 0.22 ตัน ตามลำดับ (Table 2)

### 4. คุณภาพน้ำ

ค่าอุณหภูมิมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 29.10-30.30°C ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.87±1.69, 29.56±0.30 และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 30.22±0.72 °C ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.91-8.38 ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 8.28±0.08, 8.02±0.04 และมีค่าเฉลี่ย 8.15±0.06 ตามลำดับ

**Table 2** Quantity and amount of Tiger moon snail

Month	Tiger moon snail				
	Number (body)	Quantity (body/ sq.m.)	Weight (gram / body)	Number (millions / month)	Heavy (tons / year)
May.	5	0.05	3.89	0.10	0.39
Jun.	15	0.15	8.97	0.30	2.69
Jul.	4	0.04	4.47	0.08	0.36
Aug.	28	0.28	5.86	0.56	3.28
Sep.	10	0.10	3.95	0.20	0.79
Oct.	8	0.08	6.38	0.16	1.02
Nov.	20	0.20	4.14	0.40	1.66
Dem.	8	0.08	5.28	0.16	0.84
Jan.	3	0.03	4.33	0.06	0.26
Feb.	2	0.02	6.47	0.04	0.26
Mar.	5	0.05	5.67	0.10	0.57
Apr.	2	0.02	5.47	0.04	0.22
<b>Average</b>	<b>9.17</b>	<b>0.09</b>	<b>5.41</b>	<b>0.18</b>	<b>1.03</b>
<b>Total</b>	<b>110</b>	<b>1.10</b>	<b>6.88</b>	<b>2.20</b>	<b>12.30</b>

ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 3.80-6.79 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $6.39 \pm 0.36$ ,  $4.32 \pm 0.33$  และมีค่าเฉลี่ย  $5.35 \pm 0.33$  mg/L ตามลำดับ

ค่าความเค็มมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 24.10-28.60psu ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $24.55 \pm 0.31$ ,  $27.62 \pm 0.74$  และมีค่าเฉลี่ย  $26.08 \pm 0.38$  psu ตามลำดับ

ค่าความขุ่นมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.10-179.00 NTU ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $63.65 \pm 58.99$ ,  $12.03 \pm 3.17$  และมีค่าเฉลี่ย  $37.84 \pm 29.91$  NTU ตามลำดับ

ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดละลายน้ำค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 47,875-56,000 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $52,967 \pm 3,028$ ,  $48,175 \pm 313$  และมีค่าเฉลี่ย  $50,571 \pm 3,226$  mg/L ตามลำดับ

ค่าTKN มีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.00-1.00 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.43 \pm 0.38$ ,  $0.14 \pm 0.18$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.28 \pm 0.22$  mg/L ตามลำดับ

ค่าไนเตรทมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.026-0.154 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.092 \pm 0.032$ ,  $0.050 \pm 0.017$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.071 \pm 0.021$  mg/L ตามลำดับ

ค่าออร์โทฟอสเฟตมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.01-0.80 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.21 \pm 0.24$ ,  $0.04 \pm 0.02$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.12 \pm 0.12$  mg/L ตามลำดับ

ค่าแอมโมเนียมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.002-0.071 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.036 \pm 0.013$ ,  $0.016 \pm 0.012$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.026 \pm 0.013$  mg/L ตามลำดับ

ค่าไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.036-0.088 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.064 \pm 0.012$ ,  $0.061 \pm 0.017$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.063 \pm 0.012$  mg/L ตามลำดับ

ค่าบีโอดี (BOD) มีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.30-5.40 mg/L ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $2.24 \pm 1.33$ ,  $0.83 \pm 0.23$  และมีค่าเฉลี่ย  $1.54 \pm 0.65$  mg/L ตามลำดับ

ค่าคลอโรฟิลล์ เอ มีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.28-22.07 mg/m<sup>3</sup> ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $1.62 \pm 0.75$ ,  $7.66 \pm 5.80$  และมีค่าเฉลี่ย  $4.69 \pm 2.70$  mg/m<sup>3</sup> ตามลำดับ (Table 2)

##### 5. คุณภาพดินตะกอน

ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 7.50-8.20 ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ  $7.77 \pm 0.18$ ,  $7.87 \pm 0.21$  และมีค่าเฉลี่ย  $7.82 \pm 0.20$  ตามลำดับ

ค่าอินทรีย์วัตถุมีค่าพิสัยอยู่ในช่วงระหว่าง 0.42-0.90 เปอร์เซ็นต์ ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $0.56 \pm 0.08$ ,  $0.64 \pm 0.15$  และมีค่าเฉลี่ย  $0.60 \pm 0.12$  เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค่าฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.00-21.00 mg/kg ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $4.00 \pm 5.71$ ,  $4.00 \pm 6.22$  และมีค่าเฉลี่ย  $3.65 \pm 5.81$  mg/kg ตามลำดับ

ค่าแคลเซียมมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 5,501-6,874 mg/kg ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $5,737 \pm 261$ ,  $5,918 \pm 390$  และมีค่าเฉลี่ย  $5,828 \pm 336$  mg/kg ตามลำดับ

ค่าโพแทสเซียมมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 269-646 mg/kg ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $374 \pm 41$ ,  $414 \pm 124$  และมีค่าเฉลี่ย  $394 \pm 92$  mg/kg ตามลำดับ

ค่าแมกนีเซียมมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 507-968 mg/kg ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $674 \pm 61$ ,  $707 \pm 136$  และมีค่าเฉลี่ย  $691 \pm 104$  mg/kg ตามลำดับ

ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุอินออน (CEC) มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.80-4.80 mg/kg ค่าเฉลี่ยฤดูฝน และฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $3.60 \pm 0.44$ ,  $3.26 \pm 0.82$  และมีค่าเฉลี่ย  $3.43 \pm 0.67$  mg/kg ตามลำดับ (Table 2)

6. ค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหอยตะกอกกับคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณหอยตะกอกกับคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนพบว่าปริมาณหอยตะกอกมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และค่าออร์โธฟอสเฟต ( $p < 0.05$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียม ( $p < 0.05$ ) (Table 2) ซึ่งปริมาณหอยตะกอกจะมีปริมาณมากถ้าค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ค่าออร์โธฟอสเฟตน้ำสูงและคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียมในดินตะกอนต่ำ แต่ปริมาณหอยตะกอกจะมีปริมาณต่ำถ้าค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด, ค่าออร์โธฟอสเฟตน้ำต่ำและคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียมในดินตะกอนสูง

## วิจารณ์ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยตะกอบบริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ยพบว่าหอยตะกอบอาศัยฝังตัวบนพื้นที่มีระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความ

ลึกดินตะกอนไม่เกิน 5 เซนติเมตร (0-5 เซนติเมตร) ดินตะกอนเป็นชนิดดินร่วนทราย (sandy loam) เนื้อดินประกอบด้วยดินทราย 42% ดินทรายแป้ง 46% ดินเหนียว 12% ขนาดเม็ดดิน 0.002-0.500 มิลลิเมตร มีช่องว่างของขนาดเม็ดดินขนาดเล็ก ความหนาแน่นและความพรุนของดินตะกอนมาก หาดเลนมีระดับที่เสมอกับผิวดินตะกอนทรายแป้งจนกระทั่งทำมุมลาดเอียงไม่เกิน 20 องศา มีคลื่นและลมสงบไม่รุนแรง น้ำทะเลขึ้นลงแบบน้ำคู้ (Semidiurnal tide) ใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง มีความเค็มอยู่ในช่วงระหว่าง 24.10-28.60 psu มีจำนวนหอยตะกอกทั้งหมดเท่ากับ 2.20 ล้านตัวต่อปี และมีค่าเฉลี่ย 0.18 ล้านตัวต่อเดือน ปริมาณน้ำหนักรวมของหอยตะกอกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 12.30 ตันต่อปี มีค่าเฉลี่ย 1.03 ตันต่อเดือน หอยตะกอกเป็นหอยฝาเดียวลำเหยื่อ (predation) เป็นศัตรูทางธรรมชาติ (Natural enemies) พฤติกรรมการเข้าทำลายในระบบนิเวศชายฝั่งทะเลที่อาศัยฝังตัวบริเวณพื้นผิวไม่มีความต้องการปริมาณอินทรีย์วัตถุและมีลักษณะรูปร่างที่กลมหรือวงรีไม่มีน้ำในตัวส่งผลทำให้ให้การเคลื่อนที่เร็วและเคลื่อนที่ได้ไกล มีอวัยวะพิเศษสามารถเจาะเปลือกเหยื่อให้เป็นรูและใช้งวง (proboscis) ที่มีแผ่นฟัน (radula) เข้าไปขูดเนื้อเยื่อภายในเป็นอาหาร อาหารของหอยตะกอก ได้แก่ หอยแครง *Anadara granosa* หอยทราย *Donax faba* หอยทับทิม *Umbonium vestiarum* หอยแสนช่า *Nassarius* sp. หนอนตัวกลม เม่นทะเล และสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่มีที่มีพฤติกรรมเคลื่อนไหวช้ารวมถึงหอยตะกอกมีพฤติกรรมกินกันเอง (cannibalism)<sup>1-8</sup> มีความแตกต่างจากการกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยแครง *Anadara granosa* ที่อาศัยฝังตัวในดินตะกอนหาดเลนที่ลักษณะดินตะกอนโคลนปนทรายเป็นเนื้อดินเป็นทรายแป้งมากกว่า 65% อาศัยและดำรงชีวิตฝังตัวบนพื้นที่มีระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 5 เซนติเมตร (0-5 เซนติเมตร) หาดเลนเรียบเสมอกับชายหาดเลนจนกระทั่งทำมุมลาดเอียงไม่เกิน 15 องศา คลื่นลมสงบไม่แรง การขึ้นลงของน้ำทะเลไม่เกิน 6 ชั่วโมง (mixed tide) อาหารหอยแครงได้แก่ไดอะตอม *Coscinodiscus*, ไดอะตอม *Rhizosolenia*, ไดอะตอม *Pleurosigma*, ไดอะตอม *Thalassiothrix*, ไดอะตอม *Nitzschia* และมีความเค็มอยู่ในช่วงระหว่าง 10-30 psu<sup>17,18</sup> มีความแตกต่างจากหอยปากเป็ด *Lingula anatina* อาศัยและดำรงชีวิตฝังตัวระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 15 เซนติเมตร (0-15 เซนติเมตร) ดินตะกอนเป็นชนิดดินทรายแป้ง (Silt Loam) เนื้อดินประกอบด้วยดินทราย 19 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง 68 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว 13 เปอร์เซ็นต์ หาดเลนทำมุมลาดเอียง 5-20 องศา มีคลื่นและลมสงบไม่รุนแรง น้ำทะเลขึ้น

ลงแบบน้ำคู่ (Semidiurnal tide) ใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง<sup>19</sup> จากการเก็บตัวอย่างหอยตะกายเป็นเวลา 12 เดือนในแปลงเก็บตัวอย่างทั้ง 10 แปลง หอยตะกายปริมาณ เดือนธันวาคม มีปริมาณสูงที่สุดจำนวน 28 ตัวและอัตราการความหนาแน่นจำนวน 0.28 ตัว/ตารางเมตร ซึ่งในฤดูหนาวพบหอยตะกายมากที่สุดจำนวน 57 ตัว เพราะว่าช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่น้ำทะเลลดต่ำสุดในช่วงเวลากลางคืนและลดต่ำสุดในช่วงเวลา 22.00-03.00 น. น้ำทะเลขึ้นสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวันทำให้เป็นอุปสรรคต่อการทำประมงของชาวประมงเนื่องจากแสงสว่างไม่เพียงพอต่อการทำประมงประกอบกับช่วงเวลาดังกล่าวหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ยพบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ได้แก่หอยตลับ *Meretrix casta*, หอยตลับ *Meretrix meretrix*, หอยตลับ *Marcia hiantina*, หอยตลับ *Marcia marmorata*, หอยตลับ *Marcia japonica*, หอยตลับ *Katelsysia hiantina*, หอยตลับ *Katelsysia marmorata*, หอยตลับ *Anomalocardia squamosa*, หอยหลอด *Solen strictus*, หอยหลอด *Solen regularis*, หอยสับ *Tellina sp.*, หอยเสียบ *Phaxas attenuates*, หอยแครง *Anadara granosa*, หอยทราย *Donax faba*,

หอยแครง *Nassarius sp.*, หอยวงศ์พระจันทร์ *Polinices didyma* และหอยขี้กิ้ง *Cerithidea cingulata*<sup>19</sup> ในจำนวนและปริมาณมากจึงส่งผลทำให้มีเกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและอยู่อาศัยของหอยตะกาย ส่งผลทำให้หอยตะกายมีปริมาณและอัตราการความหนาแน่นสูงตามไปด้วย ส่วนเดือนกุมภาพันธ์และเดือนเมษายน มีปริมาณต่ำที่สุดจำนวน 2 ตัวและอัตราการความหนาแน่นต่ำที่สุดจำนวน 0.02 ตัว/ตารางเมตร ในฤดูร้อนพบหอยตะกายต่ำที่สุดจำนวน 14 ตัว เพราะว่าเป็นเดือนที่ลมทะเลกำลังเปลี่ยนทิศจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้เป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจึงส่งผลทำให้เป็นช่วงระยะเวลาที่ร้อนที่สุดในประเทศไทยส่งผลทำให้น้ำทะเลและดินตะกอนมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามไปด้วย<sup>20</sup> ประกอบกับหอยตะกายอาศัยฝังตัวบนพื้นที่มีระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนไม่เกิน 5 เซนติเมตร (0-5 เซนติเมตร) เมื่อน้ำทะเลลดต่ำสุดมีระยะเวลามากกว่า 12 ชั่วโมง ทำให้มีเกิดสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและการฝังตัวอยู่อาศัยของหอยตะกายส่งผลทำให้มีปริมาณและอัตราการความหนาแน่นของหอยตะกายต่ำตามไปด้วย

**Table 3** Analysis of the relationship between Tiger moon snail with water quality and sediment quality

Parameters	Index	Rainy season	Summer season	Average	Person Correlation (r)	
					Person	P-value
Water quality	Temperature (°C)	30.87±1.69	29.56 ±0.30	30.22±0.72	0.062	0.372
	pH	8.28±0.08	8.02±0.04	8.15±0.06	0.201	0.143
	DO (mg/L)	6.39±0.36	4.32±0.33	5.35±0.33	0.320*	0.042
	Salinity (psu)	24.55±0.31	27.62±0.74	26.08±0.38	-0.185	0.164
	Turbidity (NTU)	63.65±58.99	12.03± 3.17	37.84±29.91	-0.227	0.114
	TDS (mg/L)	52,967±3,028	48,175±313	50,571±3,226	0.317*	0.044
	TKN (mg/L)	0.43±0.38	0.14±0.18	0.28±0.22	-0.066	0.365
	Nitrate (mg/L)	0.092±0.032	0.050±0.017	0.071±0.021	-0.061	0.375
	Phosphate (mg/L)	0.21±0.24	0.04±0.02	0.12±0.12	0.305*	0.049
	Ammonia (mg/L)	0.036±0.013	0.016±0.012	0.026±0.013	-0.189	0.159
	Hydrogen sulfide (mg/L)	0.064±0.012	0.061±0.017	0.063±0.012	-0.162	0.196
	BOD (mg/L)	2.24±1.33	0.83±0.23	1.54±0.65	0.217	0.125
Chlorophyll A (mg/m <sup>3</sup> )	1.62±0.75	7.66±5.80	4.69±2.70	0.266	0.078	
Sediment quality	pH	7.77±0.18	7.87±0.21	7.82± 0.20	0.246	0.148
	Organic matter (%)	0.56±0.08	0.64±0.15	0.60± 0.12	-0.149	0.265
	Phosphorus (mg/kg)	4.00±5.71	4.00±6.22	3.65± 5.81	0.055	0.409
	Calcium (mg/kg)	5,737±261	5918±390	5,828±336	-0.155	0.257
	Potassium (mg/kg)	374±41,	414±124	394±92	-0.262	0.132
	Magnesium (mg/kg)	674±61	707±136	691±104	-0.329*	0.028
	CEC (mg/kg)	3.60±0.44	3.26±0.82	3.43±0.67	-0.092	0.349

\* Significant (p<0.05)

จากการเก็บตัวอย่างหอยตะกายตามแนวตั้งฉากกับแนวชายชายฝั่งทะเลแบ่งตามไลน์ (L) พบว่ามีหอยตะกายปริมาณสูงที่สุดบริเวณไลน์ที่ L8 มีจำนวน 28 ตัว และอัตราความหนาแน่นสูงที่สุดบริเวณไลน์ที่ L8 มีจำนวน 0.28 ตัว/ตร.ม. เพราะว่าเป็นดินตะกอนชนิดดินร่วนทราย (sandy loam) ร้อยละอนุภาคดินตะกอนประกอบด้วยดินทราย (sand) 45 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง (silt) 43 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว (clay) 12 เปอร์เซ็นต์ มีช่องว่างของเม็ดดินความหนาแน่นและความพรุนของดินตะกอนปานกลางประกอบด้วยได้รับอิทธิพลธาตุอาหารจากการปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนพืชและหญ้ากรอง พืชชุ่มน้ำเทียมรวมถึงกิจกรรมชุมชนจากคลองอีแอต ส่วนตามแนวตั้งฉากกับแนวชายชายฝั่งทะเลบริเวณไลน์ L3 พบว่าหอยตะกายมีปริมาณต่ำที่สุดมีจำนวน 1 ตัวและอัตราความหนาแน่นต่ำที่สุดมีจำนวน 0.01 ตัว/ตร.ม. เพราะว่าเป็นดินตะกอนชนิดดินทรายแป้ง (silt loam) ร้อยละอนุภาคดินตะกอนประกอบด้วยดินทราย (sand) 34 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง (silt) 53 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว (clay) 13 เปอร์เซ็นต์ มีช่องว่างของเม็ดดินตะกอนขนาดเล็กความหนาแน่นและความพรุนของดินตะกอนมาก ประกอบด้วยได้รับอิทธิพลจากการประกอบอาชีพทำนาเกลือจากหมู่บ้านพะเนินส่งผลทำให้ทำให้ดินตะกอนบริเวณและความเค็มดังกล่าวไม่มีความเหมาะสมต่อ

การดำรงชีวิตและอยู่อาศัยของหอยตะกายปริมาณและอัตราความหนาแน่นหอยตะกายตามระยะห่างชานกับชายฝั่งทะเลพบว่าที่ระยะ 500 เมตร (L500) พบว่ามีปริมาณสูงที่สุดจำนวน 24 ตัวและ อัตราความหนาแน่นสูงที่สุดจำนวน 0.24 ตัว/ตร.ม. เพราะว่าเป็นดินตะกอนเป็นชนิดดินร่วนทราย (sandy loam) ร้อยละอนุภาคดินตะกอนประกอบด้วยดินทราย (sand) 61 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง (silt) 33 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว (clay) 6 เปอร์เซ็นต์ มีช่องว่างของเม็ดดินตะกอนขนาดใหญ่ ความหนาแน่นและความพรุนของดินตะกอนน้อย จึงทำให้มีอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้ดีและมีออกซิเจนจึงเกิดกระบวนการ Aerobic metabolism แบคทีเรียในดินตะกอน เช่น *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Thiobacillus* และ *Nitrobacter* ทำให้หน้าไม่เปียกและสีของดินตะกอนเป็นสีเหลือง<sup>13, 14</sup> ประกอบด้วยที่ระยะ 500 เมตร พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในปริมาณมาก จึงส่งผลทำให้ปริมาณและอัตราความหนาแน่นของหอยตะกายสูงตามไปด้วยทำให้เกิดเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตและอยู่อาศัยตัวหอยตะกาย ส่วนปริมาณและอัตราความหนาแน่นของหอยตะกายจากชายฝั่งทะเลพบว่าที่ระยะ 0 เมตร (L0) ไม่พบหอยตะกายเพราะว่าจากหาดเลนติดกับขอบป่าชายเลนเป็นดินตะกอนเป็นชนิดดินร่วน (loamy sand) ร้อย

ละอนุภาคดินตะกอนประกอบด้วยดินทราย (sand) 16 เปอร์เซ็นต์ ดินทรายแป้ง (silt) 74 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียว (clay) 10 เปอร์เซ็นต์ ขนาดเม็ดดิน 0.002-0.050 มิลลิเมตร มีช่องว่างของขนาดเม็ดดินขนาดเล็ก ความหนาแน่นและความพรุนของดินตะกอนมากทำให้อากาศสามารถเคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้มีปริมาณสารอินทรีย์วัตถุน้อย<sup>13, 14</sup> ประกอบกับไม่พบสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่บริเวณดังกล่าวจึงส่งผลทำให้ปริมาณและอัตราความหนาแน่นของหอยตะกายต่ำตามไปด้วย

ผลจากการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $r$ ) ระหว่างปริมาณหอยตะกายกับค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนพบว่าปริมาณหอยตะกายมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ, ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และค่าออร์โธฟอสเฟต ( $p < 0.05$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียม ( $p < 0.05$ ) รวมถึงคุณภาพน้ำที่จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีที่ผ่านการบำบัดแล้ว<sup>21</sup> และคุณภาพดินตะกอน<sup>22</sup> อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไม่ส่งผลกระทบต่อสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ ระบบนิเวศและห่วงโซ่อาหารในหาดเลนงอกใหม่ มีความแตกต่างจากหาดลับ *Meretrix casta* มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำประกอบด้วยค่าอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าไนเตรท ( $p < 0.01$ ) และค่าคลอโรฟิลล์ เอ ( $p < 0.05$ ) คุณภาพดินตะกอนประกอบด้วยค่าอินทรีย์วัตถุ ค่าแคลเซียม ค่าโพแทสเซียม และค่าแมกนีเซียม ( $p < 0.01$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพน้ำประกอบด้วยค่าความเค็ม ค่าความขุ่น ( $p < 0.01$ ) และค่าแอมโมเนีย ( $p < 0.05$ )<sup>9</sup> หอยปากเบ็ด *Lingula anatina* มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำประกอบด้วยค่าบีโอดี (BOD) ( $p < 0.01$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าความเค็ม ( $p < 0.01$ ) และค่าความขุ่น ( $p < 0.05$ )<sup>19</sup>

## สรุปผลการศึกษา

1. หอยตะกายดำรงชีวิตและอาศัยฝังตัวบนพื้นดินตะกอนที่มีระดับเสมอกับผิวดินตะกอนจนกระทั่งความลึกดินตะกอนลึกไม่เกิน 5 เซนติเมตร ดินตะกอนเป็นชนิดดินร่วนทราย (sandy loam) เนื้อดินประกอบด้วยดินทราย 42% ดินทรายแป้ง 46% ดินเหนียว 12% ขนาดเม็ดดิน 0.002-0.500 มิลลิเมตร คลื่นและลมสงบ น้ำทะเลขึ้นลงแบบน้ำคู่ (Semidiurnal tide) ใช้เวลามากกว่า 12 ชั่วโมง หาดเลนมีระดับที่เสมอกับผิวดินตะกอนทรายจนกระทั่งทำมุมลาดเอียงไม่เกิน 20 องศา มีความเค็มอยู่ในช่วงระหว่าง 24.10-28.60 psu
2. หอยตะกายสามารถที่จะควบคุมปริมาณและ

จำนวนสัตว์หน้าดินได้สูงที่สุดเดือนธันวาคมจำนวน 28 ตัว, ระยะห่างขนานชายฝั่งทะเล 500 เมตร (L500) จำนวน 14 ตัว, ระยะตั้งฉากกับชายฝั่งทะเลบริเวณไลน์ที่ L8 จำนวน 28 ตัว, ช่วงฤดูหนาวจำนวน 57 ตัว ส่วนหอยตะกายสามารถที่จะควบคุมปริมาณและจำนวนสัตว์หน้าดินได้สูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์และเดือนเมษายน จำนวน 2 ตัว, ระยะห่างขนานชายฝั่งทะเล 0 เมตร (L0) ไม่พบหอยตะกาย, ที่ระยะตั้งฉากกับชายฝั่งทะเลบริเวณไลน์ L3 จำนวน 1 ตัว, ช่วงฤดูร้อนจำนวน 14 ตัว

3. พื้นที่หาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ยมีหอยตะกายจำนวนทั้งหมดประมาณ 2.20 ล้านตัวต่อปีและมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18 ล้านตัวต่อเดือน เดือนสิงหาคมมี หอยตะกายจำนวนมากที่สุด 0.56 ล้านตัว หอยตะกายมีปริมาณน้ำหนักรวมเท่ากับ 12.30 ตันต่อปี หอยตะกายมีปริมาณเฉลี่ย 1.03 ตันต่อเดือน และเดือนสิงหาคมมีปริมาณหอยตะกายมากที่สุดเท่ากับ 3.28 ตันต่อเดือน

4. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหอยตะกายกับคุณภาพน้ำและคุณภาพดินตะกอนพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับคุณภาพน้ำค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และค่าออร์โธฟอสเฟต ( $p < 0.05$ ) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพดินตะกอนค่าแมกนีเซียม ( $p < 0.05$ )

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมูลนิธิชัยพัฒนาที่สนับสนุนเงินทุนวิจัยและเจ้าหน้าที่โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Berry AJ, Predation by *Natica maculosa* Lamark (Naticidae : Gastropoda) upon the trochacean gastropod *Umbonium vestiarium* (L.) on a Malaysian Shore. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1982; 66(1):71-89.
- Berry AJ. Oxygen consumption and aspects of energetic in a malaysian Population of *Natica maculosa* Lamarck (Gastropoda) feeding on the trochacean gastropod *Umbonium vestiarium* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1983; 66(1): 93-100.

- Broom M.J. Size-selection, consumption rates and growth of the gastropods *Natica maculosa* Lamarck and *Thais Carinifera* (Lamarck) preying on the bivalve, *Anadara granosa* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 1982; 56(2-1): 213-233.
- Broom MJ, Structure and seasonality in a malaysian mudflat community. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 1982;15(2): 135-150.
- Broom MJ, A preliminary investigation into prey species preference by the tropical gastropods *Natica maculosa* Lamarck and *Thais Carinifera* (Lamarck). *Journal of Molluscan Studies*. 1983; 49(1): 43-52.
- Ansell AD, Morton B, Alternative predation tactics of a tropical naticid gastropod. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 1987; 111(2): 109-111.
- Suchart U, Maleeya K, Yaowaluk C, Siriwan J, Malacology. Department of Biology, Faculty of Science, Mahidol University. Bangkok; 1995.
- Swennen C, Moonlenbeek RG, Ruttanadukul N, Hobbelenk H, Dekker H, Hajisamae S. The Mollusks of the southern gulf of Thailand. *Thai Studies in Biodiversity*; 2001.
- เสถียรพงษ์ ขาวหิต เกษม จันท์แก้ว. อิทธิพลของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดต่อมูลค่าสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ที่สำคัญทางเศรษฐกิจบริเวณหาดเลนงอกใหม่แหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริจังหวัดเพชรบุรี. *วารสารวิจัยและพัฒนาเชิงพื้นที่* 2559; 8 (4): 15-28.
- เสถียรพงษ์ ขาวหิต เกษม จันท์แก้ว. ลักษณะนิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อมเฉพาะของหอยตลับ (*Meretrix casta*, Chemnitz, 1782) บริเวณหาดเลนแหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้* 2559; 7(1): 124-140.
- APHA, AWWA, WEF, Standard methods for examination of water and wastewater. Washington: American Public Health Association (APHA); 2005.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), Official method of analysis. 15<sup>th</sup>ed., Arlington: The Association of Official Analytical Chemists; 2005.

13. จารุมาศ เมฆสัมพันธ์. ดินตะกอน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552. ราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. วารพษวิทยาไทย 2556; 28(2): 27-36.
14. คณาจารย์ภาควิชาปฐพี. ปฐพีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
15. ทศนีย์ อัดตะนันท์ จงรักษ์ จันท์เจริญสุข. การวิเคราะห์ดินและพืช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ: 2532.
16. รัตนา มั่นสินประสิทธิ์ กมลรัตน์ พุทธิรักษา บุญฤทธิ์ เจริญสมบัติ อุดม เครือนิยม. ปัจจัยการอยู่อาศัยของหอยตลับ (*Meretrix spp.*) บริเวณชายฝั่งตำบลแหลมกลัด จังหวัดตราด. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงทะเล, กรมประมง; 2552.
17. นิพนธ์ ศิริพันธ์. การเลี้ยงหอยเศรษฐกิจ. สำนักพัฒนาและถ่ายทอดเทคโนโลยีการประมง, กรมประมง; 2543.
18. อรพรรณ โลหะสาร. การใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่หาดเลนงอกใหม่ในการเลี้ยงหอยแครง ตำบลคลองโคน อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ, สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์; 2556.
19. เสถียรพงษ์ ขาวหิต เกษม จันท์แก้ว. การกระจายเชิงพื้นที่และเวลาของหอยปากเปิด (*Lingula anatina*, Lamarck, 1801) บริเวณหาดเลนแหลมผักเบี้ย: โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2559; 21(2): 229-245.
20. เสถียรพงษ์ ขาวหิต. อิทธิพลของน้ำทิ้งชุมชนที่ผ่านการบำบัดต่อลักษณะนิเวศวิทยาสิ่งแวดล้อมเฉพาะทาง การเติบโตและวงจรชีวิตของหอยตลับ (*Meretrix spp.*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2559.
21. เสถียรพงษ์ ขาวหิต เกษม จันท์แก้ว. การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีต่อคุณภาพน้ำและระบบนิเวศวิทยาชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ย ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว. 2560; 33(2) (ตอบรับแล้วรอตีพิมพ์)
22. เสถียรพงษ์ ขาวหิต เกษม จันท์แก้ว วติน อิงคพัฒนากุล อรอนงค์ ผิวนิล อนุกรณ์ บุตรสันต์. การศึกษาความเข้มข้นโลหะหนัก (As, Cd, Cr, Hg, Ni และ Pb) ในดินตะกอนบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมือง เพชรบุรี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ย อันเนื่องมาจากพระ

ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัด  
 หยาดจากเส้นใยของเห็ดหิ้งพิมาน (*Phellinus linteus*) ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

Total contents of polysaccharide, phenol and flavonoid, and antioxidant activity of crude  
 hot boiling-water extract from cultured mycelia of *Phellinus linteus*

ชลลดา ไม้งาม,<sup>1</sup> ประไพรัตน์ สีพลไกร,<sup>2</sup> นิภาพร ชุติมันต์,<sup>3</sup> พนิดา เล้าชาญวุฒิ,<sup>4</sup> ประยุกต์ ศรีวิลัย<sup>5</sup>

Chonlada Maingam,<sup>1</sup> Prapairot Seephonkai,<sup>2</sup> Nipaporn Chutiman,<sup>3</sup> Panida Loutchanwoot,<sup>4</sup> Prayook Srivilai<sup>5</sup>

Received: 26 January 2017; Accepted: 27 April 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดหยาดจากเส้นใยของเห็ด *Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng ที่เพาะเลี้ยง และสกัดด้วยน้ำต้มเดือด วิเคราะห์ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ และศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันโดยใช้วิธี 2,2-ไดฟีนิล-1-พิกิลไฮดราซิล ผลการวิจัยพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์รวม คือ อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร โดยทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง ได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดเท่ากับ  $577.65 \pm 29.76$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาด ( $P < 0.05$ ) พบมอนอแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบ 4 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส แรมโนส และฟูโคส ในปริมาณเท่ากับ 397.75 18.20 34.42 และ 56.37 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาด ตามลำดับ มีปริมาณโปรตีนรวมเท่ากับ  $13.94 \pm 2.33$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาด ในสภาวะที่ไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร ระยะเวลาสกัด 6 ชั่วโมง ได้ปริมาณฟีนอลรวมสูงสุดเท่ากับ  $63.74 \pm 0.67$  มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดหยาด ( $P < 0.05$ ) ที่ระยะเวลาสกัด 3 และ 6 ชั่วโมง พบว่าได้ปริมาณของฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด เท่ากับ  $508.58 \pm 16.81$  และ  $515.25 \pm 5.61$  มิลลิกรัมของเคอเวซินต่อกรัมของสารสกัดหยาด ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ และมีศักยภาพในการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $243.25 \pm 30.82$  และ  $279.02 \pm 11.20$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ และสารสกัดที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ (%RSA) เท่ากับ  $84.85 \pm 8.90$  และ  $78.37 \pm 1.22$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: เห็ด พอลิแซ็กคาไรด์ ฟีนอล สารต้านอนุมูลอิสระ

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>4</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, <sup>5</sup> รองศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>3</sup> รองศาสตราจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Master degree student, <sup>4</sup> Assistant Professor, <sup>5</sup> Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahasarakham University, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

\* Corresponding Author: Prayook Srivilai (Ph.D.), Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham Province 44150, Thailand. E-mail address: prayook.s@msu.ac.th Alternate E-mail address: prayooks@hotmail.com



## Abstract

This research is aimed to determine the optimal conditions for the production of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng. The major bioactive compounds in the extract were investigated. Determination of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl-hydrate (DPPH) radical oxidation caused by the crude mycelial extract of *P. linteus* was performed for testing antioxidant activity. The results showed that under the optimized conditions for the extraction of total polysaccharides, i.e., 1:60 of the ratio of dried mycelia to water with homogenization and the extraction time of 6 hours, the maximum extraction yield was obtained ( $577.65 \pm 29.76$  mg/g of crude extract;  $P < 0.05$ ). Four types of monosaccharides, i.e., glucose, mannose, rhamnose and fucose, were found at 397.75, 18.20, 34.42 and 56.37 mg/g of crude extract, respectively. The content of total protein was  $13.94 \pm 2.33$  mg/g of crude extract. Under the optimized conditions without homogenization, i.e., 1:60 of the ratio of dried mycelia to water and the extraction time of 6 hours, the maximum extraction yield of total phenols was obtained to  $63.74 \pm 0.67$  mg of gallic acid equivalent/g of crude extract ( $P < 0.05$ ). Under the extraction periods of 3 and 6 hours, respectively, total flavonoids were obtained with the maximum yields of  $508.58 \pm 16.80$  and  $515.25 \pm 5.61$  mg of quercetin equivalent/g of crude extract ( $P < 0.05$ ), which possessed the maximum DPPH radical scavenging activities with the  $IC_{50}$  values of  $243.25 \pm 30.82$  and  $279.02 \pm 11.20$   $\mu\text{g/ml}$  ( $P < 0.05$ ), and at the concentration of 1000  $\mu\text{g/ml}$  of crude extract, the highest %RSA of  $84.85 \pm 8.90$  and  $78.37 \pm 1.22$  were obtained.

**Keywords:** Mushroom, Polysaccharide, Phenol, Antioxidant

## บทนำ

เห็ด *Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng. วงศ์ Hymenochaetaceae<sup>1</sup> มีฤทธิ์ทางยาสูง และออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย โดยมีการนำเห็ดชนิดนี้ไปใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ทั้งในด้านส่งเสริมสุขภาพและใช้เป็นยาสมุนไพร<sup>1</sup> จากผลการวิจัยที่ผ่านมา<sup>2-17</sup> พบว่าสารสกัดจากดอกเห็ดและเส้นใยเห็ด *P. linteus* มีสารสำคัญที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) และโปรตีนโอไกลแคน (proteoglycan) ซึ่งออกฤทธิ์ต้านการเจริญของเนื้องอก<sup>2-5</sup> และมะเร็งชนิดต่าง ๆ<sup>2,6-9</sup> ฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือดและป้องกันโรคเบาหวาน<sup>10,11</sup> ฤทธิ์ปรับการทำงานของระบบภูมิคุ้มกัน<sup>12,13</sup> ฤทธิ์ต้านการอักเสบ<sup>14-16</sup> และฤทธิ์ต้านความเป็นพิษต่อตับ<sup>17</sup>

อนุมูลอิสระหลายอย่างมีส่วนเกี่ยวข้องกับอุบัติการณ์ของการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคกล้ามเนื้อหัวใจและสมองขาดเลือดมาหล่อเลี้ยง ภาวะหลอดเลือดแข็งตัว โรคเบาหวาน โรคไขข้ออักเสบรูมาตอยด์ (rheumatoid arthritis) การอักเสบ โรคมะเร็งระยะเริ่มต้น และเกี่ยวข้องกับกระบวนการชราภาพ<sup>18,19</sup> เป็นต้น ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับสารต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยรักษาอาการเจ็บป่วยจากภาวะเครียดที่เกิดจากออกซิเดชัน (oxidative stress) เพราะสารต้านอนุมูลอิสระมีความสามารถยับยั้งอนุมูลอิสระจึงป้องกันเซลล์และเนื้อเยื่อจากความเสียหายของอนุมูลอิสระ<sup>20</sup> สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์บางชนิด เช่น บิวทิลเลท ไฮดรอกซีโทลูเอิน (butylated hydroxyanisole) และบิวทิลเลท ไฮดรอกซีโทลูอีน (butylated hydroxytoluene) ก่อให้เกิดความเป็นพิษเมื่อเปรียบเทียบกับสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ<sup>21,22</sup> ดังนั้นความต้องการสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความปลอดภัยจึงเพิ่มมากขึ้น

จากฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายของเห็ด *P. linteus* ส่งผลให้ดอกเห็ดที่พบในสภาพธรรมชาติมีจำนวนน้อยลง อีกทั้งการเจริญเติบโตของดอกเห็ดในสภาพธรรมชาติใช้เวลานานหลายสิบปี ดังนั้นการเพาะเลี้ยงเห็ด *P. linteus* ในสภาวะห้องปฏิบัติการจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อทำให้เกิดผลผลิตที่เพียงพอต่อความต้องการในการนำไปใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อม<sup>23,24</sup> ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ประสบความสำเร็จในการพัฒนาสูตรอาหารและสภาวะการเพาะเลี้ยงเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าสารที่สกัดได้จากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* มีศักยภาพเป็นยารักษาโรคใกล้เคียงกับสารที่สกัดจากดอกเห็ดที่ได้จากธรรมชาติ แต่ต้องประกอบทางเคมีที่พบในดอกเห็ดและเส้นใยยังมีความแตกต่างกันในบางชนิด<sup>24</sup>

จากการศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นพบว่ามีการนำเห็ดชนิดนี้มาต้มในน้ำเดือดและดื่มเพื่อบำรุงสุขภาพและรักษาโรค แต่ยังคงขาดข้อมูลที่ชัดเจนของชนิดของสาร และกรรมวิธีที่เหมาะสมในการต้มเพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่

เหมาะสมในการต้มเพื่อให้ได้สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในปริมาณมาก งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่

เพาะเลี้ยง และสกัดด้วยน้ำต้มเดือด วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ มอนอแซ็กคาไรด์ ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ และศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบที่ได้ ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพ และใช้เป็นยารักษาโรคในการแพทย์ทางเลือก นอกจากนี้ยังเป็นอีกแนวทางหนึ่งของการอนุรักษ์จำนวนและพันธุกรรมของเห็ด *P. linteus* ที่พบในสภาพธรรมชาติ

## วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง และสกัดด้วยน้ำต้มเดือด วิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง และสกัดด้วยน้ำต้มเดือด ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ มอนอแซ็กคาไรด์ โปรตีน ฟีนอล และฟลาโวนอยด์ ประเมินฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. เครื่องมือและสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ดีพีพีเอซ (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl;  $C_{18}H_{12}N_5O_6$ ; CAS No. 1898-66-4; MW 394.32 g/mol) กรดแกลลิก (Gallic acid;  $(HO)_3C_6H_2CO_2H$ ; MW 170.12 g/mol; CAS No. 149-91-7) เควอเซติน (Quercetin;  $C_{15}H_{10}O_7$ ; MW 302.24 g/mol;  $\geq 95\%$ ; CAS No. 117-39-5) วิตามินซี (Ascorbic acid;  $C_6H_8O_6$ ; MW 176.124 g/mol; CAS No. 50-81-70) ดี-กลูโคส (D-glucose;  $C_6H_{12}O_6$ ; 180.156 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 50-99-7) ดี-แอราบิโนส (D-arabinose;  $C_5H_{10}O_5$ ; MW 150.13 g/mol;  $\geq 98\%$ ; CAS No 147-81-9) ดี-ฟรุคโทส (D-fructose  $C_6H_{12}O_6$ ; MW 180.156 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 57-48-7) แอล-ฟูโคส (L-fucose;  $C_6H_{12}O_5$ ; MW 164.157 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 87-96-7) ดี-กาแล็กโทส (D-galactose;  $C_6H_{12}O_6$ ; MW 180.156 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 10257-28-0) ดี-แมนโนส (D-mannose;  $C_6H_{12}O_6$ ; MW 180.156;  $\geq 99\%$ ; CAS No 530-26-7) แอล-รามโนส (L-rhamnose;  $C_6H_{12}O_5$ ; MW 164.157 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 10485-94-6) ดี-ไซโลส (D-xylose;  $C_5H_{10}O_5$ ; MW 150.13 g/mol;  $\geq 99\%$ ; CAS No 58-86-6) ดี-เทรฮาโลส (D-trehalose;  $C_{12}H_{22}O_{11}$ ; MW 342.297 g/mol; CAS No 99-20-7) ผลิตโดยบริษัท Sigma Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา เมทานอล (Methanol;  $CH_3OH$ ; MW 32.04 g/mol; CAS No. 67-56-1)

และน้ำยาโฟลีน-ซีโอแคลทู (Folin-Ciocalteu's phenol reagent) ผลิตโดยบริษัท MERCK ประเทศสหพันธรัฐเยอรมนี และน้ำปราศจากไอออน (deionized water)

เครื่องโครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatography; HPLC) รุ่น 10A (บริษัท Shimadzu Cooperation Analysis & Measuring Instruments Division Kyoto ประเทศญี่ปุ่น)

เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (Rotary evaporator) รุ่น Rotavapor 215 (บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ชนิด Ultraviolet-Visible Spectrophotometer รุ่น Genesys 20 (บริษัท Thermo Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา)

เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) รุ่น Polyttron PT2100 (บริษัท Kinematica ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

### 2. ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

นำตัวอย่างเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ในสภาพธรรมชาติ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชร กัญจนรัช ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มาเพาะเลี้ยงในสภาวะห้องปฏิบัติการ เป็นเวลา 28 วัน เพื่อเพิ่มปริมาณ โดยใช้สูตรอาหารและสภาวะการเพาะเลี้ยงที่เหมาะสมซึ่งพัฒนาขึ้นเองโดยคณะผู้วิจัย

### 3. การเตรียมสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง

ทำการเตรียมสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงโดยวิธีการที่พัฒนาขึ้นเองโดยคณะผู้วิจัย โดยนำเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและผ่านการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) มาตัดเป็นชิ้นขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร วางแผนการทดลองแบบ 2x3x3 factorial design โดยมีปัจจัย 3 ปัจจัยดังนี้

การทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) โดยใช้ความเร็วรอบ 15000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 นาที และไม่มีกรทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน (without homogenization)

ระยะเวลาการต้มสกัดในน้ำต้มเดือดมี 3 ระดับ คือ 3 6 และ 12 ชั่วโมง

อัตราส่วนของเส้นใยต่อน้ำมี 3 ระดับ คือ 1:20 1:40 และ 1:60 กรัมต่อมิลลิลิตร

นำเส้นใยที่แบ่งแยกชุดการทดลอง มาสกัดด้วย น้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำควบคุม อุณหภูมิ (water bath) เมื่อครบกำหนดเวลา กรองเอาตะกอน ออกด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำสารสกัดหยาบที่ได้ไปปั่นเหวี่ยง ที่ความเร็วรอบ 5500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที และกรองเอาตะกอนออกด้วยกระดาษ กรอง Whatman เบอร์ 4 และนำสารสกัดหยาบที่ได้มาระเหย เอาน้ำออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน และทำให้แห้ง แบบแช่แข็งที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บสารสกัดหยาบไว้ในที่อุณหภูมิ -80 องศาเซลเซียส เพื่อรอ การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ สำคัญที่พบในสารสกัดหยาบที่ได้ในขั้นตอนต่อไป

#### 4. การวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม ด้วยวิธีมาตรฐานฟีนอล-กรดซัลฟูริก<sup>25,26</sup>

เตรียมสารละลายของสารสกัดหยาบจากเส้นใย ของเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย จากนั้นปิเปต สารละลายที่เตรียมได้ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด ทดลองแก้ว ผสมกับสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร จาก นั้นเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ( $H_2SO_4$ ; 95-97 เปอร์เซ็นต์) ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเขย่านาน 30 วินาที นำไป แช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร คำนวณปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม โดยเปรียบเทียบกับกราฟเส้นตรงมาตรฐานของ สารละลายกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 5-500 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง

#### 5. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวม

วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวม<sup>27</sup> โดยมีขั้นตอนและ วิธีการตามที่แนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตชุดน้ำยา Bradford สำเร็จรูป (Quick start Bradford protein assay kit, บริษัท Bio-Rad ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยเตรียมสารสกัดหยาบจาก เส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร โดยใช้ น้ำปราศจากไอออนเป็นตัวทำละลาย จากนั้น ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด ทดลองแก้วผสมกับสารละลาย 1x Dye reagent ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 595 นาโน เมตร คำนวณปริมาณโปรตีนรวม โดยเปรียบเทียบกับกราฟ เส้นตรงมาตรฐานของสารละลาย Bovine serum albumin

(BSA) ในช่วงความเข้มข้น 1.25-25 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง

#### 6. การวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของมอโนแซ็กคาไรด์โดยใช้เทคนิค HPLC

นำสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่ผ่านการย่อยพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยกรดไตรฟลูออโรอะซิติก (trifluoroacetic acid)<sup>28,29</sup> ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร มาละลายด้วย น้ำปราศจากไอออนปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร กรองสารละลาย ตัวอย่างผ่านที่กรองไนลอน ขนาดรู 0.45 ไมครอน ลงในขวด แก้วขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์ ชนิดและปริมาณของมอโนแซ็กคาไรด์ด้วยวิธีโครมาโทกราฟี เพลวสมรรถนะสูง โดยใช้เครื่อง HPLC และคอลัมน์ Aminex รุ่น HPX-87H ขนาด 300 mm x 7.8 mm พร้อมด้วย Bio-Rad micro-guard cartridges ขนาด 30 x 4.6 mm ของบริษัท Bio-Rad ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยดัดแปลงวิธีและขั้นตอน การวิเคราะห์มาจากคู่มือการใช้เครื่อง (Guide to Aminex HPLC Columns, 2011) อัตราการไหล 0.5 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรการฉีด 20 ไมโครลิตร และระยะเวลาที่ใช้ 40 นาทีต่อ ตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบกับกราฟเส้นตรงมาตรฐานของ สารละลายมอโนแซ็กคาไรด์ 9 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แอราบีโนส ฟรุคโทส ซูโครส กาแลกโทส แมนโนส แรมโนส ซาโลส และเทร ฮาโลส ในช่วงความเข้มข้น 25-3000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

#### 7. การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวม ด้วยวิธี มาตรฐานฟอลิน-ซีโอแคลทู<sup>30</sup>

เตรียมสารละลายของสารสกัดหยาบจากเส้นใย ของเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นปิเปต สารละลายที่เตรียมได้ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอด ทดลองแก้ว ผสมกับน้ำยาฟอลิน-ซีโอแคลทู (รีเอเจนต์) เจือจาง 10 เท่า ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 7.5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที ตรวจ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร คำนวณ ปริมาณฟีนอลรวม โดยเปรียบเทียบกับกราฟเส้นตรงมาตรฐาน ของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก ในช่วงความเข้มข้น 1-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง

#### 8. การวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวม (ดัดแปลงจากวิธีของ Zhishen และคณะ, 1999)<sup>31</sup>

เตรียมสารละลายของสารสกัดหยาบจากเส้นใย ของเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อ

มิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นบีบอัดสารละลายที่เตรียมได้ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองแก้ว เติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 1 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไนไตรท์ที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมสารละลายอะลูมิเนียมไตรคลอไรด์ที่ความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 4 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร และเติมน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 10 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร คำนวณปริมาณของฟลาโวนอยด์รวมโดยเปรียบเทียบกับกราฟเส้นตรงมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานเคอเวซิน ในช่วงความเข้มข้น 2-250 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง

### 9. การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay<sup>32</sup>

เตรียมสารละลายของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 50-500 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย จากนั้นบีบอัดสารละลายที่เตรียมไว้ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายดีพีพีเอชในเมทานอล ความเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 15 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ฤทธิ์การกำจัดอนุมูลอิสระ (Percentage of radical scavenging activity; %RSA) นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นต่างๆ เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่ำสุดที่สารละลายตัวอย่างสามารถกำจัดอนุมูลอิสระดีพีพีเอชได้ 50 เปอร์เซ็นต์หรือเรียกว่าค่า  $IC_{50}$  เปรียบเทียบกับ  $IC_{50}$  ของสารต้านอนุมูลอิสระมาตรฐานเคอเวซินและวิตามินซี โดยการทดลองที่แต่ละความเข้มข้นทำ 3 ซ้ำเพื่อหาค่า  $IC_{50}$  ของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus*

### 10. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม ฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) และทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) โดยเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยใช้วิธี Tukey's HSD post hoc test ทดสอบที่ระดับ

นัยสำคัญ 0.05 ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ( $IC_{50}$ ) กับปริมาณฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และพอลิแซ็กคาไรด์รวม ประเมินโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; r) ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Statistical Package for Social Sciences (SPSS) (version 11.5 บริษัท SPSS ประเทศสหรัฐอเมริกา)

## ผลการวิจัย

### 1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีมาตรฐานฟีนอล-กรดซัลฟูริก โดยใช้กลูโคสเป็นสารมาตรฐาน ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 เมื่อทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกัน และค่าเฉลี่ยปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมของแต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมของกลุ่ม a ในสภาวะการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร โดยมีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ  $577.65 \pm 29.76$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาบ

### 2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีของ Bradford<sup>30</sup> โดยใช้สารละลาย Bovine serum albumin เป็นสารมาตรฐาน ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 เมื่อทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกัน และค่าเฉลี่ยปริมาณโปรตีนรวมของแต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณโปรตีนรวมของกลุ่ม a ในสภาวะการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร โดยมีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ  $54.76 \pm 1.03$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาบ

### 3. ผลการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณมอโนแซ็กคาไรด์ในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของมอโนแซ็กคาไรด์ในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีเหลวสมรรถนะสูงได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 3 โดยเปรียบเทียบระยะเวลาที่สารสกัดหยาบใช้ในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ (retention time) กับมอโนแซ็กคาไรด์มาตรฐาน และคำนวณปริมาณมอโนแซ็กคาไรด์ในสารสกัดหยาบโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารมาตรฐานมอโนแซ็กคาไรด์ ได้แก่ เทอฮาโลส กลูโคส แมนโนสไซโลส แรมโนส ฟรักโทส ซูโคส และแอรอาบิโนส พบชนิดของมอโนแซ็กคาไรด์ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส แรมโนส และซูโคส ซึ่งปริมาณของกลูโคสมีมากที่สุดเท่ากับ 16.78-556.47 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัดหยาบ

### 4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีโฟลีน-ซีโอแคลทู โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานฟีนอล ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 เมื่อทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกัน และค่าเฉลี่ยปริมาณฟีนอลรวมของแต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณฟีนอลรวมของกลุ่ม a ในสภาวะการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร โดยไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ  $63.74 \pm 0.67$  มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดหยาบ

### 5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟลาโวนอยด์รวมในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีของ Zhishen และคณะ (1999)<sup>29</sup> โดยใช้ควอเซตินเป็นสารมาตรฐานฟลาโวนอยด์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 เมื่อทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกัน และค่าเฉลี่ยปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของแต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเฉลี่ยของปริมาณฟลาโวนอยด์รวมของกลุ่ม a ในสภาวะการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร โดยไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 3 และ 6 ชั่วโมง มีค่ามากที่สุด ( $P < 0.05$ ) เท่ากับ  $508.58 \pm 16.81$  และ  $515.25 \pm 5.61$  มิลลิกรัมของควอเซตินต่อกรัมของสารสกัดหยาบ ตามลำดับ

### 6. การทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด

จากการทดสอบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยวิธีดีพีพีเอชได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 1 และ Table 2 เมื่อทดสอบปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยร่วมกัน พบว่าปัจจัยทั้ง 3 มีอิทธิพลร่วมกัน และค่าเฉลี่ยค่า  $IC_{50}$  แต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันทั้ง 3 ปัจจัย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) โดยค่าเฉลี่ยในกลุ่ม i ในสภาวะการสกัดที่ใช้อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร โดยไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด 3 และ 6 ชั่วโมง มีค่า  $IC_{50}$  ต่ำที่สุด (มีประสิทธิภาพต้านออกซิเดชันดีที่มากที่สุด) เท่ากับ  $243.25 \pm 30.82$  และ  $279.02 \pm 11.20$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ( $P < 0.05$ ) และที่ความเข้มข้น 1000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระ (%RSA) สูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ  $84.85 \pm 8.90$  และ  $78.37 \pm 1.22$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่สารมาตรฐานควอเซตินและวิตามินซี ให้ค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ  $10.97 \pm 2.75$  และ  $8.189 \pm 0.23$  ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดอนุมูลอิสระเท่ากับ  $93.14 \pm 0.05$  และ  $93.24 \pm 0.41$  เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เมื่อนำข้อมูลจากทุกชุดการทดลองมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $IC_{50}$  กับปริมาณของฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และพอลิแซ็กคาไรด์รวมของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* โดยประเมินจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่า  $IC_{50}$  กับปริมาณฟีนอลรวมของชุดการทดลองทั้งที่มีและไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.801 และ 0.775 ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่า  $IC_{50}$  กับปริมาณฟลาโวนอยด์รวมมีค่าเท่ากับ 0.839 และ 0.827 ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างค่า  $IC_{50}$  กับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม มีค่าเท่ากับ

0.016 และ 0.399 ( $P < 0.05$ ) ตามลำดับ (Table 4; Figure 1)

### อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานแรกที่ทำการศึกษาประสิทธิผลของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด และแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงมีชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ รวมทั้งฤทธิ์ต้านออกซิเดชันใกล้เคียงกับสารสกัดจากดอกเห็ด *P. linteus* ที่พบในสภาพธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมของสารสกัดจากเห็ด *P. linteus* ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้วิธีมาตรฐานฟินอล-กรดซัลฟูริก พบว่าสารสกัดจากเห็ด *P. linteus* ของแต่ละกลุ่มทดลองในแต่ละชุดการทดลองมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์รวม คือ อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร โดยทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสกัดในน้ำต้มเดือด 6 ชั่วโมง มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ  $577.65 \pm 29.76$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ( $P < 0.05$ ) คิดเป็น 57.76 เปอร์เซ็นต์ โดยมีมอนอแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบ 4 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส แรมโนส และฟูโคส ในปริมาณเท่ากับ 397.75 18.20 34.42 และ 56.37 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนรวมเท่ากับ  $13.94 \pm 2.33$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ( $P < 0.05$ ) คิดเป็น 1.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากพบโปรตีนในปริมาณที่น้อยกว่าของงานวิจัยก่อนหน้านี้<sup>28,33-36</sup>

จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ซึ่งทำการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมจากสารสกัดดอกเห็ด *P. linteus* ด้วยน้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง และตกตะกอนในเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ พบว่าได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม คิดเป็น 72.2 เปอร์เซ็นต์ พบมอนอแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบ 3 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส และกาแลกโทส ในอัตราส่วนเท่ากับ 23.8 41.6 และ 23.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนรวมคิดเป็น 22.3 เปอร์เซ็นต์<sup>34</sup> และจากการสกัดดอกเห็ด *P. linteus* ด้วยน้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 3

ชั่วโมง และตกตะกอนในเอทานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ และไดอะไลซิส (dialysis) ได้สารสกัดหยาบซึ่งประกอบด้วยสารประกอบเชิงซ้อนของพอลิแซ็กคาไรด์-โปรตีน (polysaccharide protein complex) โดยมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมและโปรตีนรวม คิดเป็น 73 และ 16 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบมอนอแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบ 5 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส กาแลกโทส ฟรุคโทส และ กลูโคซามีน (glucosamine) ในอัตราส่วนเท่ากับ 61.9 19.5 5.5 4.9 และ 2.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ<sup>35</sup> การวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ของสารสกัดจากดอกเห็ด *P. linteus* ที่สกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส โดยทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาการสกัด 4-5 วัน และตกตะกอนในเอทานอลความเข้มข้น 65 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมสูงสุดเท่ากับ 96.5 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณโปรตีนรวมเท่ากับ 1.7 เปอร์เซ็นต์<sup>31</sup> และพบว่าสารสกัดหยาบพอลิแซ็กคาไรด์จากดอกเห็ด *P. linteus* ที่ใช้วิธีการสกัดเดียวกับของ Wei และคณะ (2008) มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ คิดเป็น 62.6 เปอร์เซ็นต์<sup>37</sup> จากการศึกษาเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการสกัด 12 ชั่วโมง และตกตะกอนในเอทานอลความเข้มข้น 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่ามีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมเท่ากับ 82.5 เปอร์เซ็นต์ พบมอนอแซ็กคาไรด์เป็นองค์ประกอบ 5 ชนิด ได้แก่ กลูโคส แมนโนส กาแลกโทส แอราบิโนส และไซโลส ในอัตราส่วนเท่ากับ 21.1 44.2 24.1 7.0 และ 3.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีปริมาณโปรตีนรวม เท่ากับ 13.2 เปอร์เซ็นต์<sup>25</sup> การศึกษาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมของสารสกัดจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง และสกัดด้วยน้ำต้มเดือด อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร ระยะเวลาการสกัด 10 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมและโปรตีนรวม คิดเป็น 83.2 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ<sup>36</sup>

ดังนั้นจากการศึกษาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมชนิดและปริมาณของมอนอแซ็กคาไรด์ของสารสกัดจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด (อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา<sup>25,31,35-37</sup> พบว่าปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่ได้มีความแตกต่างกัน รวมถึงองค์ประกอบและปริมาณของมอนอแซ็กคาไรด์ และความบริสุทธิ์ของสารที่ได้จากการสกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ลักษณะ และคุณสมบัติเฉพาะทางเคมี รวมทั้งสภาพตัวของทั้งตัวทำละลายและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด สภาวะขั้นตอนและวิธีการสกัดที่ทำให้ได้มาซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่างๆ

ของเห็ดแตกต่างกัน เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ระยะเวลา อุณหภูมิ ตลอดจนสิ่งรบกวนต่างๆ ในขั้นตอนการสกัด เป็นต้น ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงในงานวิจัยครั้งนี้มีปริมาณ เท่ากับ 57.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าของดอกเห็ด<sup>34,35</sup> ทั้งนี้อาจเกิดจากความแตกต่างของอายุ อาหาร สภาพแวดล้อมของการเจริญเติบโต ของดอกเห็ดในสภาพธรรมชาติและของเส้นใยที่ได้จากการ เพาะเลี้ยงในสภาวะห้องปฏิบัติการ ซึ่งอาจส่งผลต่อปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ที่ผลิตขึ้นและสกัดได้ แต่ในแง่ของวิธีการสกัด พบว่างานวิจัยนี้ใช้วิธีการสกัดโดยต้มในน้ำเดือด ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย

สะดวก และเป็นวิธีที่มีปัญหาท้องถิ่นซึ่งคนส่วนใหญ่สามารถ ทำเองได้ นอกจากนี้งานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าสารสกัดหยาบจาก เส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงมีปริมาณกลูโคส มากกว่าของงานวิจัยอื่น<sup>25,34,35</sup> ซึ่งกลูโคสเป็นแหล่งพลังงาน หลักของเซลล์ต่างๆ ของร่างกายและมีจุดนฤกความสำคัญอย่างมาก เกี่ยวกับการทำงานของสมองของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยในสมองของผู้ใหญ่เซลล์ประสาทต้องการพลังงานมากที่สุด โดยกลูโคสจากกระแสเลือดต้องมีการขนส่งอย่างต่อเนื่องไปยัง สมอง<sup>38,39</sup>

**Table 1** DPPH radical scavenging activity, total contents of phenolic compounds, flavonoids and polysaccharides of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus* without homogenization condition.

Assay	3h			6h			12h		
	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)
DPPH radical scavenging activity (IC <sub>50</sub> )	517.87 ± 39.41 <sup>c</sup>	327.57 ± 15.87 <sup>gh</sup>	243.25 ± 30.82 <sup>i</sup>	484.89 ± 92.81 <sup>c</sup>	335.80 ± 27.56 <sup>gh</sup>	279.02 ± 11.20 <sup>hi</sup>	540.99 ± 50.09 <sup>c</sup>	326.98 ± 25.55 <sup>d</sup>	308.91 ± 3.02 <sup>gh</sup>
Total phenolic content (mg GAE/ g of crude extract)	22.43 ± 2.49 <sup>jk</sup>	27.47 ± 1.20 <sup>hi</sup>	54.74 ± 4.30 <sup>b</sup>	27.19 ± 3.00 <sup>hi</sup>	34.80 ± 2.10 <sup>f</sup>	63.74 ± 0.67 <sup>a</sup>	33.61 ± 3.44 <sup>fg</sup>	39.93 ± 1.30 <sup>de</sup>	56.35 ± 5.08 <sup>b</sup>
Total flavonoid content (mg QE/ g of crude extract)	234.71 ± 15.13 <sup>e</sup>	409.61 ± 57.07 <sup>c</sup>	508.58 ± 16.81 <sup>a</sup>	343.71 ± 12.15 <sup>d</sup>	470.50 ± 12.87 <sup>b</sup>	515.25 ± 5.61 <sup>a</sup>	218.83 ± 22.52 <sup>e</sup>	409.37 ± 6.27 <sup>c</sup>	438.14 ± 26.27 <sup>bc</sup>
Polysaccharides content (mg / g of crude extract)	291.52 ± 13.17 <sup>i</sup>	365.17 ± 24.40 <sup>jk</sup>	411.00 ± 12.61 <sup>efghi</sup>	534.15 ± 20.23 <sup>abc</sup>	393.53 ± 12.53 <sup>ghij</sup>	428.50 ± 40.92 <sup>efghi</sup>	449.27 ± 17.01 <sup>defg</sup>	513.99 ± 31.07 <sup>abcd</sup>	365.62 ± 31.69 <sup>ijk</sup>
Protein content (mg / g of crude extract)	17.83 ± 0.06 <sup>i</sup>	35.45 ± 0.25 <sup>d</sup>	21.09 ± 0.28 <sup>hi</sup>	18.64 ± 0.37 <sup>j</sup>	22.24 ± 0.21 <sup>gh</sup>	25.52 ± 0.75 <sup>f</sup>	16.94 ± 0.20 <sup>j</sup>	21.34 ± 0.79 <sup>hi</sup>	21.16 ± 0.17 <sup>hi</sup>

Values are expressed as means ± S.E.M. of triplicate measurements. Means with different letters were statistically significant differences ( $P < 0.05$ ; One-way ANOVA with post hoc Tukey's HSD test).

**Table 2** DPPH radical scavenging activity, total contents of phenolic compounds, flavonoids and polysaccharides of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus* under homogenization condition.

Assay	3h			6h			12h		
	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)
DPPH radical scavenging activity (IC <sub>50</sub> )	960.08 ± 79.12 <sup>a</sup>	701.66 ± 14.16 <sup>b</sup>	414.71 ± 1.16 <sup>df</sup>	927.58 ± 29.43 <sup>a</sup>	345.84 ± 4.54 <sup>g</sup>	365.47 ± 7.17 <sup>dfg</sup>	1015.6 ± 20.80 <sup>a</sup>	352.45 ± 5.57 <sup>fg</sup>	749.41 ± 11.94 <sup>b</sup>
Total phenolic content (mg GAE/ g of crude extract)	16.51 ± 0.54 <sup>i</sup>	26.56 ± 1.35 <sup>hij</sup>	29.60 ± 0.62 <sup>gh</sup>	25.08 ± 0.89 <sup>ij</sup>	43.41 ± 0.54 <sup>cd</sup>	36.54 ± 1.17 <sup>ef</sup>	19.20 ± 0.54 <sup>kl</sup>	46.83 ± 0.67 <sup>c</sup>	29.07 ± 0.82 <sup>hi</sup>
Total flavonoid content (mg QE/ g of crude extract)	60.89 ± 1.49 <sup>i</sup>	54.44 ± 4.30 <sup>i</sup>	101.78 ± 8.33 <sup>gh</sup>	57.07 ± 3.33 <sup>i</sup>	134.34 ± 6.88 <sup>fg</sup>	138.82 ± 7.74 <sup>f</sup>	51.30 ± 4.16 <sup>i</sup>	133.03 ± 4.41 <sup>fg</sup>	68.56 ± 4.44 <sup>hi</sup>
Polysaccharides content (mg / g of crude extract)	447.22 ± 30.93 <sup>defgh</sup>	400.13 ± 25.23 <sup>fghij</sup>	335.32 ± 7.57 <sup>kl</sup>	577.65 ± 29.76 <sup>a</sup>	313.09 ± 13.35 <sup>kl</sup>	379.23 ± 64.70 <sup>hijk</sup>	479.23 ± 40.73 <sup>bcdde</sup>	465.48 ± 64.51 <sup>cdef</sup>	535.32 ± 75.00 <sup>ab</sup>
Protein content (mg / g of crude extract)	25.06 ± 2.64 <sup>fg</sup>	22.80 ± 0.00 <sup>gh</sup>	39.31 ± 0.13 <sup>c</sup>	13.94 ± 2.33 <sup>k</sup>	47.37 ± 0.33 <sup>b</sup>	54.76 ± 1.03 <sup>a</sup>	10.76 ± 0.41 <sup>l</sup>	30.34 ± 0.52 <sup>e</sup>	18.51 ± 2.12 <sup>j</sup>

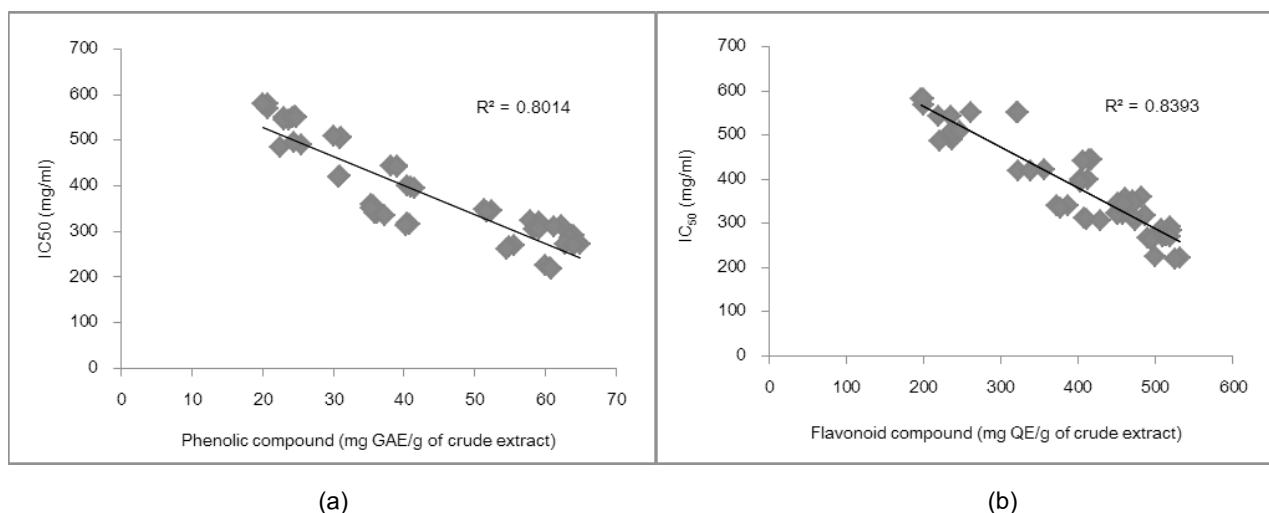
Values are expressed as means ± S.E.M. of triplicate measurements. Means with different letters were statistically significant differences ( $P < 0.05$ ; One-way ANOVA with post hoc Tukey's HSD test).

**Table 3** Monosaccharides content of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus*

Monosaccharides (mg/g of crude extract)	Without homogenization condition									With homogenization								
	3h			6h			12h			3h			6h			12h		
	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)	(1:20)	(1:40)	(1:60)
Glucose	nd	nd	nd	395.07	nd	311.40	nd	351.89	nd	451.56	556.47	192.74	397.75	392.69	352.91	17.26	17.74	16.78
Mannose	nd	nd	nd	-	nd	-	nd	6.49	nd	14.37	15.14	11.19	18.20	24.61	17.99	7.25	7.27	7.27
Rhamnose	nd	nd	nd	63.24	nd	39.44	nd	52.04	nd	30.52	30.30	20.42	34.42	40.91	28.13	15.81	17.27	17.02
Fucose	nd	nd	nd	29.18	nd	31.50	nd	32.31	nd	52.43	64.45	23.22	56.37	39.01	42.51	7.74	8.36	8.75

nd = not determined

- = not found

**Figure 1** The correlation between the  $IC_{50}$  values of antioxidant activities and total phenolic content (a), total flavonoid content (b) of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus* without homogenization condition.**Table 4** Correlation of the total contents of different bioactive components of crude hot boiling-water extract from the cultured mycelia of *Phellinus linteus*.

Relation	Correlation coefficient
$IC_{50}$ and phenolic content (without-homogenization)	$r = 0.801$
$IC_{50}$ and phenolic content (homogenization)	$r = 0.775$
$IC_{50}$ and flavonoid content (without-homogenization)	$r = 0.839$
$IC_{50}$ and flavonoid content (homogenization)	$r = 0.828$
$IC_{50}$ and polysaccharide content (without-homogenization)	$r = 0.012$
$IC_{50}$ and polysaccharide content (homogenization)	$r = 0.399$



โปรตีนที่พบในเห็ดทำหน้าที่เป็นเอนไซม์ หรือหน่วยย่อยของเอนไซม์<sup>40</sup> เสริมสร้างภูมิคุ้มกัน<sup>41</sup> ยับยั้งการเพิ่มจำนวนเซลล์เนื้องอก<sup>42</sup> งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนรวมของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือด พบว่าปริมาณโปรตีนรวมที่ได้มีน้อย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ด้วยน้ำต้มเดือดอาจไม่ใช่แหล่งที่ดีของโปรตีน

ฟีนอลที่พบในเห็ดทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชันหรือสารต้านอนุมูลอิสระ<sup>43</sup> การต้านและกำจัดอนุมูลอิสระเป็นหนึ่งในกลไกของการยับยั้งการเกิดและกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิดจากกระบวนการออกซิเดชันของลิพิด (lipid) วิธีการกำจัดสารอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอชสามารถนำมาใช้ในการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบหรือสารสกัดที่เฉพาะเจาะจงโดยใช้ระยะเวลาการทดสอบสั้นและมีประสิทธิภาพ<sup>44</sup> งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส พบว่าวิธีการและสภาวะการสกัดสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ในทุกกลุ่มทดลองสามารถสกัดได้ปริมาณฟีนอลรวม และฟลาโวนอยด์รวมได้ดี และส่งผลต่อประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างแต่ละกลุ่มการทดลองที่แตกต่างกัน โดยผลของค่า  $IC_{50}$  เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสาร ซึ่งในการวิเคราะห์ได้ทำการตรวจวัดฤทธิ์ต้านออกซิเดชันด้วยวิธีดีฟิฟิเอชโดยใช้ควอเซตินและวิตามินซีเป็นสารมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าไม่มีสารสกัดหยาบจากกลุ่มการทดลองใดแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันแรงเท่ากับควอเซตินและวิตามินซีซึ่งเป็นสารควบคุมเชิงบวก (positive control compound) เมื่อเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่ได้จากสภาวะการสกัดที่ไม่มีกับมีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน พบว่าสารสกัดหยาบที่ไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชันเกือบทุกกลุ่มทดลองแสดงฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้สูงกว่าสารสกัดหยาบที่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน

ภายใต้สภาวะการสกัดที่ไม่มีมีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดคือ 3 และ 6 ชั่วโมง ให้ค่า  $IC_{50}$  ต่ำสุด คือมีประสิทธิภาพต้านออกซิเดชันดีที่สุด สอดคล้องกับการมีปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมสูงที่สุด จากการศึกษาก่อนหน้านี้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมจากสารสกัดน้ำร้อนจากเส้นใย สารสกัดเมทานอลจาก

เส้นใย และจากอาหารเพาะเลี้ยงเส้นใยของเห็ด *P. igniarius* พบว่าสารสกัดน้ำร้อนจากเส้นใยมีปริมาณ ฟีนอลรวมมากที่สุดเท่ากับ  $23.14 \pm 0.21$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด รองลงมาคือสารสกัดเมทานอลจากเส้นใย และอาหารเพาะเลี้ยงเส้นใย โดยมีค่าเท่ากับ  $10.06 \pm 0.12$  และ  $6.43 \pm 0.15$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ และที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดเมทานอลจากเส้นใยมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระมากที่สุด เท่ากับ 80.1 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือสารสกัดน้ำร้อนจากเส้นใยและอาหารเพาะเลี้ยงเส้นใย เท่ากับ 43.1 และ 30.0 ตามลำดับ<sup>45</sup> นอกจากนี้จากการศึกษาอาหารเพาะเลี้ยงเส้นใย สารสกัดเอทานอลของดอกเห็ดและเส้นใยที่เพาะเลี้ยงของเห็ด *P. igniarius* ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราส่วนเส้นใยและดอกเห็ด 1 กรัมต่อเอทานอลความเข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาการสกัด 24 ชั่วโมง พบว่าสารสกัดเอทานอลของดอกเห็ดมีปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด เท่ากับ  $15.35 \pm 0.13$  และ  $10.36 \pm 0.87$  มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ เมื่อทดสอบความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอช พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 25-400 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดเอทานอลของดอกเห็ดมีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอช คิดเป็น 93.25-95.60 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่สารสกัดเอทานอลของเส้นใยมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระรองลงมา<sup>45</sup> การศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเมทานอลจากดอกเห็ด *P. gilvus* *P. rimosus* และ *P. badius* พบว่าสารสกัดเมทานอลจากดอกเห็ด *P. gilvus* มีปริมาณของฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมมากที่สุด เท่ากับ 49.31 และ 30.58 มิลลิกรัมต่อกรัมของสารสกัด ตามลำดับ และมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระสูงที่สุด คิดเป็น 90.83 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา ได้แก่ สารสกัดเมทานอลจากดอกเห็ด *P. rimosus* และ *P. badius*<sup>47</sup> ในการศึกษาของ Cheung และคณะ (2003)<sup>44</sup> พบว่าที่ความเข้มข้น 9 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร สารสกัดน้ำจากดอกเห็ด *Lentinus edodes* มีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระ (40.4 เปอร์เซ็นต์) สูงกว่าสารสกัดเมทานอลจากดอกเห็ด (29.4 เปอร์เซ็นต์) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )<sup>44</sup> และเมื่อเปรียบเทียบสารสกัดหยาบของดอกเห็ดสดและแห้งของเห็ด *Lentinus* sp. สายพันธุ์ RJ-2 ที่สกัดด้วยน้ำต้มเดือด พบว่ามีฤทธิ์ในการกำจัดอนุมูลอิสระดีฟิฟิเอชใกล้เคียงกัน โดยมีค่า  $IC_{50}$  เท่ากับ 0.418 และ 0.432 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลรวมที่พบในสารสกัดหยาบของดอกเห็ดสดและแห้ง เท่ากับ  $53.08 \pm 1.45$  และ  $51.09 \pm 1.45$  มิลลิกรัมต่อสารสกัดหยาบ ตามลำดับ<sup>48</sup> ถึงแม้ว่ายังมีสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่นๆ อีกที่พบในสารสกัดจากเห็ดเหล่านี้ แต่ฟีนอลและ

ฟลาโวนอยด์จัดเป็นสารสำคัญต่อการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน<sup>44</sup> งานวิจัยครั้งนี้ยังพบว่าสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงและสกัดด้วยน้ำต้มเดือดมีปริมาณ ฟลาโวนอยด์รวมและฟีนอลรวมมากกว่าสารสกัดน้ำร้อน เมทานอล และเอทานอลจากเส้นใยและดอกเห็ด *P. igniarius*<sup>45,46</sup> และมีปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมมากกว่าสารสกัด เมทานอลของดอกเห็ด *P. gilvus* *P. rimosus* และ *P. badius*<sup>52</sup> จากงานวิจัยครั้งนี้พบว่าปริมาณฟลาโวนอยด์รวมที่ได้มี ปริมาณมากกว่าฟีนอลรวมถึง 10 เท่า ซึ่งสารทั้งสองชนิดนี้ เป็นที่ทราบจากรายงานก่อนหน้านี้ว่าทำหน้าที่เป็นสารออก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญที่พบในเห็ด *Phellinus* spp.<sup>44-47,54</sup> จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการมีฤทธิ์ต้าน ออกซิเดชันของสารสกัดจากดอกเห็ดและเส้นใยของเห็ดใน สกุล *Phellinus* spp. มีความสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลหรือ ฟลาโวนอยด์รวมที่พบในสารสกัดจากเห็ด และสารสกัดน้ำต้ม เดือดจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงมีฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระได้ดีเทียบเท่าสารสกัดจากดอกเห็ด ซึ่งจากการ ศึกษาฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมของสารสกัดจากไบเจกัวย (*Mesona chinesis*) และไบหมาน้อย (*Cissampelos pareira* L.) ในอัตราส่วนใบ พืช 1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 50 มิลลิลิตร พบว่าน้ำร้อนเป็นตัว ทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดสารออกฤทธิ์ทั้งฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมจากไบเจกัวยและไบหมาน้อย และสารสกัด จากน้ำร้อนยังให้ค่า IC<sub>50</sub> ที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัด ด้วยตัวทำละลายชนิดอื่น ดังนั้นสารสกัดด้วยน้ำร้อนมีฤทธิ์ใน การต้านออกซิเดชันที่ดี<sup>49</sup> โดยทั่วไปสารสกัดเมทานอลและสาร สกัดเอทานอลมีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระได้ดีกว่า สารสกัดน้ำร้อน<sup>52</sup> แต่สารสกัดน้ำร้อนมีประสิทธิภาพในการ ต้านอนุมูลอิสระได้ดีเช่นกันโดยไม่เป็นพิษต่อร่างกายผู้บริโภค<sup>49</sup> นอกจากนี้การใช้สารต้านอนุมูลอิสระสังเคราะห์อาจเป็น อันตรายต่อร่างกายของมนุษย์เมื่อได้รับในปริมาณที่มากเกินไป หรืออาจมีการสะสมภายในร่างกายในระยะยาวส่งผลทำให้เกิด โรคและความผิดปกติต่างๆ ตามมา เช่น โรคมะเร็ง โรคตับ และความดันโลหิตสูง<sup>53</sup> เป็นต้น

ในเห็ดมีสารประกอบทางเคมีต่างๆ มากมาย ซึ่งมี คุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ แต่สารที่มีความสำคัญต่อ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ คือฟีนอลและฟลาโวนอยด์ เมื่อปริมาณ ของฟีนอล หรือฟลาโวนอยด์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพใน การต้านอนุมูลอิสระเพิ่มสูงขึ้น<sup>50</sup> จากงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณา ความสัมพันธ์ของปริมาณฟีนอลรวม ฟลาโวนอยด์รวม และ พอลิแซ็กคาไรด์รวมจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง ต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระพบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ

ปริมาณฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมมีความสัมพันธ์กับ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในทุกๆ วิธีการทดสอบ ซึ่งข้อมูลที่ได้มีค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กันในเชิงบวก สอดคล้องกับงานวิจัย ก่อนหน้านี้<sup>49-51</sup> และเมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (ค่า IC<sub>50</sub>) กับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่พบในสารสกัดหยาบ จากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยง พบว่าไม่มีความ สัมพันธ์เชิงเส้นที่ชัดเจน งานวิจัยนี้เป็นงานแรกที่แสดงให้เห็น ว่าพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้น้อยมาก

### สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าสารสกัดหยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ ฟีนอล และ ฟลาโวนอยด์ โดยพบปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์สูงที่สุด รองลงมาคือ ฟลาโวนอยด์ ฟีนอล และโปรตีน ตามลำดับ

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ คือ อัตราส่วนเส้นใยแห้ง 1 กรัมต่อน้ำ 20 มิลลิลิตร โดย ทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสกัดในน้ำต้มเดือด 6 ชั่วโมง ได้ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมสูงสุด และพบกลูโคสเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ โดยมีโปรตีนปนเปื้อนอยู่น้อย ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของการสกัดฟีนอล คือ อัตราส่วนเส้นใย 1 กรัมต่อน้ำ 60 มิลลิลิตร โดยที่ไม่มีการทำให้เซลล์ของเส้นใยแตกด้วยวิธีโฮโมจีไนเซชัน ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มสกัดในน้ำต้มเดือด 6 ชั่วโมง ได้ปริมาณ ฟีนอลรวมสูงสุด และที่ระยะเวลาการต้มสกัด 3 และ 6 ชั่วโมง พบว่ามีปริมาณฟลาโวนอยด์รวมสูงสุด และมีประสิทธิภาพในการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันสูงสุด และเมื่อเปรียบเทียบกับ สารสกัดหยาบจากดอกเห็ด *P. linteus* ที่พบในสภาพธรรมชาติ พบว่ามีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ รวมทั้งฤทธิ์ต้าน ออกซิเดชันใกล้เคียงกัน

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้สามารถนำสารสกัด หยาบจากเส้นใยของเห็ด *P. linteus* ที่เพาะเลี้ยงไปพัฒนาต่อยอดเพื่อทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพด้านอื่นๆ และพัฒนาไปเป็น นวัตกรรมผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพ และยารักษาโรคเพื่อใช้ในการแพทย์ทางเลือก

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงาน พัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) และทุนอุดหนุน

การวิจัยสำหรับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 จากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ ขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชรกา กาญจนรัช สำหรับความช่วยเหลือเรื่องตัวอย่างเห็ดที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- Dai YC, Cu BK. Progress on the species of medicinal fungus *Inonotus sanghuang*, J. Beijing Forestry Univ 2014;36:1-6.
- Han SB, Lee CW, Jeon YJ, Hong ND, Yoo ID, Yang KH et al. The inhibitory effect of polysaccharides isolated from *Phellinus linteus* on tumor growth and metastasis. Immunopharmacology 1999;41(2): 157-64.
- Nakamura T, Matsugo S, Uzuka Y, Matsuo S, Kawagishi H. Fractionation and anti-tumor activity of the mycelia of liquid-cultured *Phellinus linteus*. Biosci Biotechnol Biochem 2004;68(4):868-72.
- Kim GY, Oh WK, Shin BC, Shin YI, Park YC, Ahn SC et al. Proteoglycan isolated from *Phellinus linteus* inhibits tumor growth through mechanisms leading to an activation of CD11c<sup>+</sup> CD8<sup>+</sup> DC and type I helper T cell-dominant immune state. FEBS Letters 2004;576(3):391-400.
- Kim GY, Choi GS, Lee SH, Park YM. Acidic polysaccharide isolated from *Phellinus linteus* enhances through the up-regulation of nitric oxide and tumor necrosis factor from peritoneal macrophages. J Ethnopharmacol 2004;95(1):69-76.
- Li G, Kim DH, Kim TD, Park BJ, Park HD, Park JII et al. Protein-bound polysaccharide from *Phellinus linteus* induces G<sub>2</sub>/M phase arrest and apoptosis in SW480 human colon cancer cells. Cancer Lett 2004;216(2):175-81.
- Han SB, Lee CW, Kang JS, Yoon YD, Lee KH, Lee K et al. Acidic polysaccharide from *Phellinus linteus* inhibits melanoma cell metastasis by blocking cell adhesion and invasion. Int Immunopharmacol 2006;6(4):697-702.
- Collins L, Zhu T, Guo J, Xiao ZJ, Chen CY. *Phellinus linteus* sensitises apoptosis induced by doxorubicin in prostate cancer. Br J Cancer 2006;95(3):282-88.
- Zhu T, Guo J, Collins L, Kelly J, Xiao ZJ, Kim SH et al. *Phellinus linteus* activates different pathways to induce apoptosis in prostate cancer cells. Br J Cancer 2007;96(4):583-90.
- Kim HM, Kang JS, Kim JY, Park SK, Kim HS, Lee YJ et al. Evaluation of antidiabetic activity of polysaccharide isolated from *Phellinus linteus* in non-obese diabetic mouse. Int Immunopharmacol 2010;10(1): 72-8.
- Zhao C, Liao Z, Wu X, Liu Y, Liu X, Lin Z, Huang Y, Liu B. Isolation, Purification, and Structural Features of a Polysaccharide from *Phellinus linteus* and Its Hypoglycemic Effect in Alloxan-Induced Diabetic Mice. J Food Sci 2014;79(5):1002-10.
- Kim GY, Park SK, Lee MK, Lee SH, Oh YH, Kwak JY et al. Proteoglycan isolated from *Phellinus linteus* activates murine B lymphocytes via protein kinase C and protein tyrosine kinase. Int Immunopharmacol 2003;3(9):1281-92.
- Li YG, Ji DF, Zhong S, Zhu JX, Chen S, Hu GY. Anti-tumor effects of proteoglycan from *Phellinus linteus* by immunomodulating and inhibiting Reg IV/EGFR/Akt signaling pathway in colorectal carcinoma. Int J Biol Macromol 2011;48(3):511-7.
- Kim GY, Roh SI, Park SK, Ahn SC, Oh YH, Lee JD et al. Alleviation of Experimental Septic Shock in Mice by Acidic Polysaccharide Isolated from the Medicinal Mushroom *Phellinus linteus*. Biol Pharm Bull 2003;26(10):1418-23.
- Kim BC, Jeon WK, Hong HY, Jeon KB, Hahn JH, Kim YM et al. The anti-inflammatory activity of *Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curt.) is mediated through the PKC/Nrf2/ARE signaling to up-regulation of heme oxygenase-1. J Ethnopharmacol 2007;113(2):240-47.
- Kim HG, Yoon DH, Lee WH, Han SK, Shrestha B, Kim CH et al. *Phellinus linteus* inhibits inflammatory mediators by suppressing redox-based NF- $\kappa$ B and MAPKs activation in lipopolysaccharide-induced RAW 264.7 macrophage. J. Ethnopharmacol 2007;114(3): 307-15.

17. Gao C, Zhong L, Jiang L, Geng C, Yao X, Cao J. *Phellinus linteus* mushroom protects against tacrine-induced mitochondrial impairment and oxidative stress in HepG<sub>2</sub> cells. *Phytomedicine* 2013;20(8-9):705-09.
18. Coyle JT, Puttfarcken P. Oxidative stress, glutamate, and neurodegenerative disorders. *Science* 1993;262(5134):689-95.
19. Margai I, Plotkine M, Lerouet D. Antioxidant strategies in the treatment of stroke. *Free Radic Biol Med* 2005;39(4):429-43.
20. Diplock AT, Charleux JL, Crozier-Willi G, Kok FJ, Rice-Evans C, Roberfroid M et al. Functional food science and defense against reactive oxidative species. *Br J Nutr* 1998;80 (Suppl. 1):S77-S112.
21. Saito M, Sakagami H, Fujisawa S. Cytotoxicity and apoptosis induction by butylated hydroxyanisole (BHA) and butylated hydroxytoluene (BHT). *Anticancer Res* 2003; 23(6C):4693-701.
22. Stefanidou M, Alevisopoulos G, Chatziioannou A, Kouteslinis A. Assessing food additive toxicity using a cell model. *Vet Hum Toxicol* 2003;45(2):103-05.
23. Hur H. Cultural characteristics and log-mediated cultivation of the medicinal mushroom, *Phellinus linteus*. *Mycobiol* 2008; 36(2):81-7.
24. Chen H, Tian T, Miao H, Zhao YY. Traditional uses, fermentation, phytochemistry and pharmacology of *Phellinus linteus*: A review. *Fitoterapia* 2016;113:6-26.
25. DuBois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 1956;28(3): 350-6.
26. Albalasmeh AA, Berhe AA, Ghezzehei TA. A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Carbohydr Polym* 2013;97(2):253-61.
27. Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein of protein-dye binding. *Anal Biochem* 1976;72(1-2):248-52.
28. Wei S, Helsper JP, Van Griensven LJ. Phenolic Compounds Present in Medicinal Mushroom Extracts Generate Reactive Oxygen Species in Human Cells In Vitro. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2008;10(1):1-13.
29. Pramanik M, Chakraborty I, Mondal S, Islam S. Structural analysis of a water-soluble glucan (Fr.I) of an edible mushroom, *Pleurotus sajor-caju*. *Carbohydr Res* 2007;342(17):2670-5.
30. Samchai S, Seephokai P, Sangdee A, Puntumchai A, Klinhom U. Antioxidant, Cytotoxic and Antimalarial Activities from Crude extracts of Mushroom *Phellinus linteus*. *Biol Sci* 2009;9(7):778-83.
31. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The Determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effect on superoxide radicals. *Food Chem* 1999;64(4):555-9.
32. Seephonkai P, Samchai S, Thongsom A, Sunaart S, Kiemsanmuang B, Chakuton K. DPPH radical scavenging activity and total phenolics of *Phellinus* mushroom extracts collected from northeast of Thailand. *Chin. J. Nat. Med* 2011;9(6):441-5.
33. Song KS, Cho SM, Lee JH, Kim HM, Han SB, Ko KS, Yoo ID. B-lymphocyte stimulating polysaccharide from mushroom *Phellinus linteus*. *Chem Pharm Bull (Tokyo)* 1995;43 (12):2105-08.
34. Kim GY, Park HS, Nam BH, Lee SJ, Lee JD. Purification and characterization of acidic proteo-heteroglycan from the fruiting body of *Phellinus linteus* (Berk. & M.A. Curtis) Teng. *Bioresource Technology* 2003;89(1):81-7.
35. Kim GY, Lee JY, Lee JO, Ryu CH, Choi BT, Jeong YK et al. Partial characterization and immunostimulatory effect of a novel polysaccharide-protein complex extracted from *Phellinus linteus*. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2006;70(5):1218-26.
36. Matsuba S, Matsuno H, Sakuma M, Komatsu Y. *Phellinus linteus* Extract Augments the Immune Response in Mitomycin C-Induced Immunodeficient Mice. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2008;5(1):85-90.
37. Kozarski M, Klaus A, Niksic M, Jakovljevic D, Helsper JP, Van Griensven LJ. Antioxidative and immunomodulating activities of polysaccharide extracts of

- the medicinal mushrooms *Agaricus bisporus*, *Agaricus brasiliensis*, *Ganoderma lucidum* and *Phellinus linteus* Food Chem 2011;129(4):1667-75
38. Howarth C, Gleeson P, Attwell D. Updated energy budgets for neural computation in the neocortex and cerebellum. J Cereb Blood Flow Metab 2012;32(7): 1222-32.
  39. Erbsloh F, Bernsmeier A, Hillesheim H. The glucose consumption of the brain & its dependence on the liver. Arch Psychiatr Nervenkr Z Gesamte Neurol Psychiatr 1958; 196(6):611-26.
  40. Praveen K, Viswanath B, Usha KY, Pallavi H, Venkata Subba Reddy G, Naveen M, Rajasekhar Reddy B. Lignolytic Enzymes of a Mushroom *Stereum ostrea* Isolated from Wood Logs. Enzyme Res 2011; 2011(1):1-6.
  41. Maiti S, Bhutia SK, Makkick SK, Kumar A, Khadgi N, Maiti TK. Antiproliferative and immunostimulatory protein fraction from edible mushroom. Environ Toxicol Pharmacol 2008; 26(1):187-91.
  42. Hsu HC, Hsu CI, Lin RH, Kao CL, Lin JY. Fip-vvo, a new fungal immunomodulatory protein isolated from *Volvariella volvacea*. Biochem J 1997;323(Pt 2): 557-65.
  43. Ishikawa Y, Morimoto K, Hamasaki T. Flavoglucin, a metabolite of *Eurotium chevalieri*, its antioxidation and synergism with tocopherol. J Am Oil Chem Soc 1984;61(12): 1864-8.
  44. Cheung LM, Cheung PC, Ooi VE. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. Food Chem 2003;81(2):249-55.
  45. Lung MY, Tsai JC, Huang PC. Antioxidant Properties of Edible Basidiomycete *Phellinus igniarius* in Submerged Cultures. J Food Sci 2010;75(1):E18-24.
  46. Jin GH, Lee MW, Im KH, Lee TS. Antioxidant, anti-acetylcholinesterase and xanthine oxidase inhibitory activities of three extracts from *Phellinus igniarius*. J mushroom 2014;12(1):1-7.
  47. Ayala-Zavala JF, Silva-Espinoza BA, Cruz-Valenzuela MR, Villegas-Ochoa MA, Esqueda M, González-Aguilar GA et al. Antioxidant and antifungal potential of methanol extracts of *Phellinus* spp. From Sonora, Mexico. Rev Iberoam Micol 2012;29(3):132-8.
  48. Thetarimuang C, Khammuang S, Sarnthima R. Antioxidant activity of crude polysaccharides from edible fresh and dry mushroom fruiting bodies of *Lentinus* sp. Strain RJ-2. Int J Pharm 2011;7(1):58-65.
  49. อนันต์ โพธิ์ลังกา, วรวิทย์ รัตนพิเศษ, เกียรติศักดิ์ สงศรีโรจน์. การต้านอนุมูลอิสระและปริมาณของฟีนอลิกกับฟลาโวนอยด์ของสารสกัดจากต้นเงาะก้วยและต้นหมาน้อย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2014; 33(2):224-32.
  50. Rice-Evans CA, Miller NT, Paganga G. Antioxidant properties of phenolic compounds, Trends in Plant Science 1997;2(4):304-330.
  51. Velioglu YS, Mazza G, Gao L, Oomah BD. Antioxidant activity and total phenolics in elected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chem 1998;46(10):4113-7.
  52. Shihidi F, Wanasundara PK. Phenolic antioxidants. Crit Rev Food Sci Nutr 1992;32(1):67-103.
  53. Pokorny J, Yanishlieva N, Gordon M. Antioxidants in food: practical applications, New York: CRC Press; 2001. p.380-388.
  54. Chang HY, Ho YL, Sheu MJ, Lin YH, Theng MC, Wu SH et al. Antioxidant and free radical scavenging activities of *Phellinus merrillii* extracts, Botanical Studies 2007;48(4):407-17.

# ผลกึ่งเฉียบพลันของกวาวเครือขาวต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้

## Sub-acute Effects of Kwao Khrua Khao [*Puerariacandollei* Wall. Ex Benth. Var. *mirifica* (Airy Shaw & Suvat.) Niyomdham] on Growth of Reproductive Organs and Hepatic Lipid Metabolic Parameters in Male Rats

ปัทมา จันทาศรี,<sup>1</sup> ประยุกต์ ศรีวิลัย,<sup>2</sup> พนิดา เล้าชาญวุฒิ<sup>3\*</sup>

Patthama Chanthasri,<sup>1</sup> Prayook Srivilai,<sup>2</sup> Panida Loutchanwoot<sup>3\*</sup>

Received: 26 January 2017 ; Accepted: 27 April 2017

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและประเมินความเป็นพิษของกวาวเครือขาวต่อการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์และเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้ โดยแบ่งหนูออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ตัว และให้สารทดสอบโดยป้อนเข้าทางปากสู่กระเพาะอาหารโดยตรง เป็นเวลา 28 วัน ตามระเบียบวิธีวิจัยของ OECD Test Guideline No.407 (Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents) กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพา ได้แก่ น้ำกลั่น (0.7 มล.ต่อตัวต่อวัน) กลุ่มที่ 2 ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาดต่าง ๆ ได้แก่ 10 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน กลุ่มที่ 3 กลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน ได้แก่ ฟลูตาไมด์ (10 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน) กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน ได้แก่ 17 บีตา-เอสตราไดออล (2 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน) โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เมื่อสิ้นสุดการทดลองการุณยฆาตหนูผ่าเก็บอวัยวะเป้าหมาย ได้แก่ อัณฑะ ต่อมลูกหมาก เซมินัล เวสิเคิลอีพิดีไดมิสตีบ และไต โดยชั่งน้ำหนักสดของอวัยวะเป้าหมายภายหลังการุณยฆาตทันที และนำซีรัมมาตรวจวัดค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับ ผลการวิจัยพบว่า กวาวเครือขาวที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวันมีผลต่ออัตราการกินอาหารโดยเฉลี่ย แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวสุดท้ายและไม่ก่อให้เกิดการตายของหนู กวาวเครือขาวที่ขนาด 750 และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมาก และอีพิดีไดมิสตีบลดลงคล้ายกับผลของฮอร์โมนเอสโตรเจนและฟลูตาไมด์ หนูที่ได้รับกวาวเครือขาวที่ขนาด 750 และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน มีระดับคอเลสเตอรอลรวม ไตรกลีเซอไรด์คอเลสเตอรอลชนิดไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำและสูงในซีรัมลดลง โดยมีผลคล้ายกับหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออลส่วนฟลูตาไมด์ให้ผลตรงกันข้าม งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่แสดงให้เห็นว่ากวาวเครือขาวออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนมากกว่าต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจนต่อการทำงานของอวัยวะสืบพันธุ์และเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้

คำสำคัญ: ไฟโตเอสโตรเจน อัณฑะ ต่อมลูกหมาก เซมินัล เวสิเคิลไขมัน

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, <sup>2</sup> รองศาสตราจารย์, <sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

<sup>1</sup> Master degree student, <sup>2</sup> Associate Professor, <sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand

\* Corresponding Author: PanidaLoutchanwoot, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham Province 44150, Thailand. E-mail address: panida.l@msu.ac.th Alternate E-mail address: oupanida@hotmail.com

**Abstract**

This study aims at investigating the subacute effects, and mechanisms of action and toxicity of Kwao Khrua Khao (*Pueraria mirifica*; PM) on the growth of reproductive organs and hepatic lipid metabolism in male rats. Animal maintenance and treatments were carried out in accordance with the OECD Test Guideline No.40 7 (Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents). Rats were allocated into 4 major groups (12 rats per group). Group 1 was orally gavaged with distilled water (Control). Group 2 was orogastric treated with PM suspended in distilled water of 10, 100, 750, and 1,500 mg/kg BW/day. Group 3 was orally gavaged with 10 mg/kg BW/day of the pure anti-androgenic reference drug, flutamide (FLUT). Group 4 was subcutaneously injected with 2 mg/kg BW/day of the positive estrogenic reference compound,  $17\beta$ -estradiol (E2). Test compounds were given in the volume of 0.7 ml/rat/day for 28 consecutive days. At the end of treatment interval, animals were sacrificed and the target organs, i.e., testes, ventral prostate, seminal vesicles, epididymides, liver and kidneys were dissected and weighed. Serum levels of hepatic lipids metabolic parameters were measured. The results demonstrated that PM at the doses of 100, 750 and 1,500 mg/kg BW/day significantly decreased the average food intakes without altering the mean final body weights, and no treatment-related toxicity, or mortality were observed. Relative weights of seminal vesicles, ventral prostate, and epididymides were significantly decreased in the rats treated with 750 and 1,500 mg PM/kg BW/day, as well as estradiol- and flutamide-treated rats. The marked decreases in plasma levels of total cholesterol, triglycerides, high- and low-density lipoprotein cholesterol were observed in rats given 750 and 1,500 mg PM/kg BW/day, as well as estradiol-treated rats, whereas flutamide exerted opposite effects. Taken together, the data revealed for the first time that PM may exert estrogenic rather than anti-androgenic activity on the growth of reproductive organs and hepatic lipids metabolic parameters in the intact male rat.

**Keywords:** Phytoestrogen, Testes, Prostate, Seminal vesicle, Lipid

**บทนำ**

กวาวเครือขาว (Kwao Khrua Khao) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Puerariacandollei* Wall. ex Benth. var. *mirifica* (Airy Shaw & Suvat.) Niyomdham จัดอยู่ในพืชวงศ์ Fabaceae พบมากในบริเวณพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเล 300-800 เมตร พื้นที่ราบเชิงเขา พื้นที่ลาดชันและป่าเบญจพรรณทางภาคเหนือ ภาคตะวันตกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย<sup>1</sup> จากรายงานการวิจัยพบว่ารากสะสมอาหารของกวาวเครือขาวอุดมไปด้วยไฟโตเอสโตรเจน (phytoestrogens) ในปริมาณสูงซึ่งพบอย่างน้อย 19 ชนิด<sup>2,3</sup> ไฟโตเอสโตรเจนเป็นสารประกอบที่พืชสามารถสร้างขึ้นเองได้ตามธรรมชาติ และมีโครงสร้างโมเลกุลคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน โดยเฉพาะชนิด  $17\beta$ -เอสตราไดออล ( $17\beta$ -estradiol; E2) และสามารถจับกับตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน (estrogen receptor; ER) ได้จึงสามารถออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน<sup>4</sup>

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ากวาวเครือขาวออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน โดยจากการศึกษาในสภาวะนอกร่างกาย (*in vitro* assay) โดยใช้เทคนิค Cell proliferation assay พบว่ากวาวเครือขาวมีผลกระตุ้นการเจริญแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนของเซลล์สายพันธุ์มะเร็งเต้านมของมนุษย์ (human mammary

adenocarcinoma cancer cell line; MCF-7)<sup>5,6</sup> และจากการศึกษาในสภาวะร่างกายพบว่ากวาวเครือขาวมีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของมดลูกทั้งทางด้านน้ำหนักการเจริญแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนของเซลล์เยื่อโพรงมดลูกและการเพิ่มความหนาของชั้นโพรงมดลูก (endometrium) อีกทั้งยังทำให้มดลูกบวมเต่งและมีปริมาณของเหลวภายในมดลูกเพิ่มมากขึ้น กระตุ้นการเจริญพัฒนาของถุงไข่และการตกไข่ในหนูแรทเพศเมียที่ไม่ได้ตั้งครรภ์<sup>7,8</sup> และหนูแรทเพศเมียที่ตั้งครรภ์<sup>6,9</sup> นอกจากนี้ กวาวเครือขาวมีผลเพิ่มการขยายของรอบประจำเดือน และยับยั้งการหลั่งลูทีนไนซิงฮอร์โมน (lutinizing hormone; LH) และฟอลลิเคิลสติมูเลตติงฮอร์โมน (follicle stimulating hormone; FSH) ในลิงเพศเมีย<sup>10-12</sup> จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าการใช้กวาวเครือขาวช่วยบรรเทาอาการวัยหมดประจำเดือนในผู้หญิงวัยหมดประจำเดือน<sup>13</sup>

แต่ปัจจุบันพบว่ายังไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจนในการนำกวาวเครือขาวมาใช้กับผู้ป่วยโรคและพบว่ายังมีการศึกษาน้อยและขาดข้อมูลที่แน่ชัดเกี่ยวกับฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทางเภสัชวิทยาของกวาวเครือขาวในสัตว์เพศผู้ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ากวาวเครือขาวมีผลทำให้น้ำหนักสัดของอวัยวะสืบพันธุ์ของหนูแรทเพศผู้ลดลง<sup>7,14,15</sup> แต่

เนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่มีการใช้กลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจนและกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจนประกอบควบคู่กัน และไม่ได้ทำตามระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐานสากล OECD Test Guideline No.407 (Repeated Dose 28-day Oral Toxicity Study in Rodents) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินฤทธิ์กลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและความเป็นพิษของกาวาเครือขาวต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้โดยใช้ฮอร์โมน 17 บีตา-เอสตราไดโอล เป็นสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน (positive estrogenic compound) และ ฟลูตาไมด์ (flutamide; FLUT) เป็นสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน (positive anti-androgenic compound) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการแพทย์ทางเลือก เพื่อใช้ในการรักษาและป้องกันโรคที่เกี่ยวข้องกับฮอร์โมนเพศและเพื่อเสริมสร้างความมั่นใจต่อผู้บริโภคในการนำกาวาเครือขาวไปใช้ประโยชน์อย่างปลอดภัยต่อสุขภาพโดยรวม

## วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

### สารทดสอบที่ใช้กับสัตว์ทดลอง

ผงกาวาเครือขาว สายพันธุ์วีชัย 3 (ได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย เชิดชูวิชาศาสตร์ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

น้ำมันมะกอกบริสุทธิ์ (extra virgin olive oil; laboratory grade) บริษัท SOS Cuetara ประเทศสเปน

ฮอร์โมนเอสโตรเจนสังเคราะห์ ( $17\beta$ -estradiol; E2) ( $1,3,5$ -Estratriene- $3,17\beta$ -diol;  $C_{18}H_{24}O_2$ ; CAS-number 50-28-2) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี

สารต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจน (flutamide; FLUT) (2-methyl-N-[4'-nitro-3'-(trifluoromethyl) phenyl]-propanamide;  $C_{11}H_{11}F_3N_2O_3$  CAS-number 13311-84-7) บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศเยอรมนี

### สัตว์ทดลอง

หนูแรทเพศผู้ (*Rattus novogicus*) อายุ 14 สัปดาห์ สายพันธุ์สปราก-ดอว์เลย์ (Sprague-Dawley) ชนิด Outbred น้ำหนักตัวประมาณ 430-450 กรัม (สำนักสัตว์ทดลองแห่งชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม)

### การเลี้ยงและการแบ่งกลุ่มสัตว์ทดลอง

การเลี้ยงและการปฏิบัติกับสัตว์ทดลองของงานวิจัยนี้เป็นไปตามระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐานสากลที่ได้รับการยอมรับโดยองค์กรนานาชาติ Organization for Economic Co-oper-

ation and Development (OECD guidelines for the testing of chemicals No.407) และได้รับการรับรองอนุมัติจริยธรรมและจรรยาบรรณการวิจัยในสัตว์ทดลองจากคณะกรรมการกำกับและส่งเสริมการดำเนินการต่อสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เลขที่การรับรอง : 0006/2558) โดยดำเนินการเลี้ยง และปฏิบัติกับสัตว์ทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการหนูแรท ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เริ่มเลี้ยงสัตว์ทดลองวันที่ 1-28 มีนาคม 2557 เป็นระยะเวลา 28 วันโดยนำหนูแรทมาเลี้ยงก่อนเริ่มการทดลองเป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ร่างกายหนูได้ปรับสภาพ โดยเลี้ยงหนูในห้องเลี้ยงที่มีการควบคุมแสงสว่าง โดยกำหนดระยะเวลาของการได้รับแสงสว่างในแต่ละวันเท่ากับ 12 ชั่วโมง ความชื้นอุณหภูมิไว้ที่  $24\pm 1$  องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ 50-55 เปอร์เซ็นต์ โดยให้หนูสามารถเข้าถึงอาหารสำเร็จรูปชนิดที่ปราศจากถั่วเหลืองเจือปน (บริษัท SsniffSpezialdiäten GmbH ประเทศเยอรมนี) และน้ำกลั่นได้เพียงพอต่อความต้องการ (*ad libitum*) นำหนูจำนวน 84 ตัวมาชั่งน้ำหนักและจัดกลุ่มโดยการสุ่มให้แต่ละกลุ่มมีน้ำหนักตัวเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และไม่มี ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $435.96 \pm 0.08$  กรัม) และแบ่งกลุ่มออกเป็น 4 กลุ่มหลัก กลุ่มละ 12 ตัวดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพา (Vehicle control group) ได้แก่ น้ำกลั่นปริมาตร 0.7 มล.ต่อตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปากสู่กระเพาะอาหารโดยตรง (orogastric gavage)

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มทดลอง (Treatment group) ที่ได้รับผงกาวาเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปากสู่กระเพาะอาหารโดยตรง

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจนได้แก่ 17 บีตา-เอสตราไดโอลขนาด 2 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนังปริมาตร 0.2 มล.ต่อตัวต่อวันโดยมีน้ำมันมะกอกเป็นสารตัวพา

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจนได้แก่ ฟลูตาไมด์ขนาด 10 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปากสู่กระเพาะอาหารโดยตรง ปริมาตร 0.7 มล.ต่อตัวต่อวัน โดยมีน้ำมันมะกอกเป็นสารตัวพา

โดยให้สารทดสอบกับหนูทุกวัน ๆ ละ 1 ครั้ง ระยะเวลา 08.00-09.00 น. เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 28 วัน โดยใน



ระหว่างระยะเวลาการทดลองทุก ๆ 5 วัน บันทึกน้ำหนักหนู และอัตราการกินอาหารและตรวจอาการความผิดปกติทางคลินิก ทุกวัน

**การการุณยฆาตสัตว์ทดลองและการเก็บตัวอย่าง อวัยวะเป้าหมาย**

เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการทดลองการุณยฆาตหนูโดย ทำให้สลบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub> asphyxiation) และตัดคอด้วยเครื่องกิโยติน (guillotine) เก็บเลือดจากส่วน ลำตัว และผ่าเก็บอวัยวะเป้าหมายที่ตอบสนองต่อฤทธิ์ฮอร์โมน แอนโดรเจนได้แก่ อัณฑะ (Testes) ต่อมลูกหมาก (ventral prostate) เซมิเนล เวสิเคิล (seminal vesicles) และอีพิดิไดมิส (epididymides) รวมทั้งตับและไตซึ่งน้ำหนักสดของอวัยวะเป้าหมายภายหลังการุณยฆาตทันที

**การปั่นแยกและเก็บตัวอย่างซีรัม เพื่อการตรวจ วัดค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน ในตับ**

นำตัวอย่างเลือดที่เก็บได้จากส่วนลำตัวของหนูมาปั่น แยกซีรัมโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อ นาที เป็นเวลา 20 นาทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นำซีรัมมา ตรวจวัดค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน ในตับ โดยใช้เทคนิค Enzymatic colorimetric assay ด้วย เครื่องวิเคราะห์ทางเคมีอัตโนมัติ ยี่ห้อ VitrosECi รุ่น 3600 (บริษัท Johnson & Johnson ประเทศสหรัฐอเมริกา)

**ปัจจัยตรวจสอบ**

- น้ำหนักตัวของหนูเมื่อสิ้นสุดการทดลอง
- อัตราการกินอาหาร (กรัมต่อตัวต่อวัน)
- น้ำหนักสดของอัณฑะ ต่อมลูกหมาก เซมิเนล เวสิเคิล อีพิดิไดมิสตับ และไต

ค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมัน ในตับในซีรัม ได้แก่ คอเลสเตอรอลรวม (total cholesterol;

TC) คอเลสเตอรอลชนิดไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ (low-density lipoprotein cholesterol; LDL-C) และคอเลสเตอรอล ชนิดไลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นสูง (high-density lipoprotein cholesterol; HDL-C) และไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides; TG)

**การวิเคราะห์ทางสถิติ**

บันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดลองในรูปแบบของค่าเฉลี่ย ± ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าเฉลี่ย (Mean ± S.E.M.) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลระหว่างกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลอง ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) และทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) โดยการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparison) โดยใช้วิธี Dunnett's post hoc test ด้วยโปรแกรม Graph Pad Prism (version 5.0) (บริษัท Graph Pad Software ประเทศ สหรัฐอเมริกา) ถ้าค่า P-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.01 แสดงว่าข้อมูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัย สำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ผลการศึกษา**

**น้ำหนักตัว**

จากผลการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวเริ่มต้น ของหนูทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัว พา โดยมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวเริ่มต้นเท่ากับ 435.96 ± 0.08 กรัม และน้ำหนักตัวสุดท้ายของหนูทุกกลุ่มไม่มีความแตกต่าง กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ยกเว้นหนูกลุ่มที่ได้รับ ฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวสุดท้ายลดลง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.01) คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบ เทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 83.46 เปอร์เซ็นต์ (Table 1)

**Table 1** Mean initial and final body weights and averagedaily food consumption of adult male rats treated with *Puerariamirifica* (PM), 17β-estradiol (E2),and flutamide(FLUT) for 28consecutivedays.

Treatment	Initial body weight (g)	Final body weight (g)	Food intake (g/animal/day)
Vehicle control	440.20 ± 14.33	450.60 ± 15.30	17.89 ± 0.26
PM-10	430.10 ± 5.05	446.60 ± 4.54 <sup>##</sup>	17.58 ± 0.25 <sup>##</sup>
PM-100	437.00 ± 5.06	439.70 ± 6.95 <sup>##</sup>	16.39 ± 0.36 <sup>##</sup>
PM-750	439.60 ± 8.11	406.70 ± 10.57	14.87 ± 0.82 <sup>*</sup>
PM-1500	442.00 ± 11.93	413.90 ± 12.21 <sup>#</sup>	14.39 ± 0.96 <sup>*</sup>
FLUT	436.50 ± 11.44	431.60 ± 13.81 <sup>##</sup>	14.62 ± 0.54 <sup>*</sup>
E2	437.10 ± 16.20	376.10 ± 10.37 <sup>**</sup>	13.49 ± 0.49 <sup>*</sup>

Data represent means ± S.E.M. (\*P<0.05 versus vehicle controlgroup; \*\*P<0.01 versus vehicle control group; #P<0.05 versus E2 group; ##P<0.01 versus E2 group; \*P<0.05 versus FLUT group)





วัน และหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอล มีค่าเฉลี่ยของระดับ TC ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 48.43 42.82 35.13 และ 26.40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 3) ในขณะที่พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับ TC และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของระดับ TC กับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 ( $P<0.01$ ) 100 ( $P<0.01$ ) และ 750 ( $P<0.05$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) และเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน พบว่าหนู

กลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน มีค่าเฉลี่ยของระดับ TC แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) (Table 3)

**ระดับ LDL-C ในตับ**

จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยของระดับ LDL-C ของหนูทุกกลุ่มกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพา พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 ( $P<0.05$ ) 750 ( $P<0.01$ ) และ 1,500 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน และหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอล มีค่าเฉลี่ยของระดับ LDL-C ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัว

**Table 2** Relative wet weights of reproductive and accessory organs of adult male rats treated with *Puerariamirifica* (PM),  $17\beta$ -estradiol (E2), and flutamide(FLUT) for 28 consecutive days.

Treatment	Testes (g/100g)	Seminal vesicles (g/100g)	Ventral prostate (g/100g)	Epididymides (g/100g)	Liver (g/100g)	Kidneys (g/100g)
Vehicle control	0.856±0.018	0.337±0.014	0.084±0.006	0.0023±0.0001	3.210±0.052	0.666±0.010
PM-10	0.863± 0.022 <sup>###++</sup>	0.330±0.026 <sup>###++</sup>	0.099±0.007 <sup>###++</sup>	0.0024±0.0001 <sup>###++</sup>	3.230±0.057 <sup>###++</sup>	0.683±0.010 <sup>##</sup>
PM-100	0.855±0.016 <sup>###++</sup>	0.309±0.006 <sup>###++</sup>	0.059±0.005 <sup>###</sup>	0.0024±0.0000 <sup>###++</sup>	3.380±0.083 <sup>*</sup>	0.726±0.016 <sup>###</sup>
PM-750	0.839±0.035 <sup>###++</sup>	0.154±0.020 <sup>**###</sup>	0.053±0.010 <sup>###</sup>	0.0022±0.0001 <sup>###</sup>	3.665±0.089 <sup>**</sup>	0.762±0.006 <sup>###++</sup>
PM-1500	0.820±0.047 <sup>###++</sup>	0.139±0.026 <sup>**###</sup>	0.037±0.004 <sup>**###</sup>	0.0019±0.0001 <sup>**###</sup>	3.856±0.044 <sup>**</sup>	0.740±0.025 <sup>**#</sup>
FLUT	0.941±0.013 <sup>**###</sup>	0.211±0.011 <sup>**###</sup>	0.061±0.005 <sup>###</sup>	0.0018±0.0000 <sup>**###</sup>	3.634±0.067 <sup>**</sup>	0.690±0.012 <sup>##</sup>
E2	0.232±0.012 <sup>**</sup>	0.059±0.002 <sup>**###</sup>	0.014±0.001 <sup>**</sup>	0.0006±0.0000 <sup>**</sup>	3.615±0.127 <sup>*</sup>	0.799±0.015 <sup>**</sup>

Data represent means ± S.E.M. (\* $P<0.05$  versus vehicle control group; \*\* $P<0.01$  vehicle control group; # $P<0.05$  versus E2 group; ## $P<0.01$  versus E2 group; + $P<0.05$  versus FLUT group; ++ $P<0.01$  versus FLUT group)

**Table 3** Serum levels of total cholesterol (TC), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), and triglycerides (TG) of adult male rats treated consecutively with *Puerariamirifica* (PM),  $17\beta$ -estradiol (E2), and flutamide (FLUT) for 28 consecutive days.

Treatment	TC (mg/dl)	LDL-C (mg/dl)	HDL-C (mg/dl)	TG (mg/dl)
Vehicle control	80.17 ± 5.461	24.00 ± 2.352	30.33± 5.025	211.5 ± 16.84
PM-10	74.00± 5.046 <sup>##</sup>	25.00 ± 1.770 <sup>###++</sup>	30.67 ± 4.326 <sup>###++</sup>	207.0± 8.311 <sup>##</sup>
PM-100	38.83± 3.754 <sup>**###++</sup>	16.50 ± 2.391 <sup>**</sup>	13.33± 3.180 <sup>**</sup>	182.7± 15.760 <sup>##</sup>
PM-750	34.33 ± 3.639 <sup>**###++</sup>	9.333 ± 2.140 <sup>###++</sup>	7.833± 1.887 <sup>###++</sup>	153.8± 9.061 <sup>###</sup>
PM-1500	28.17 ± 3.291 <sup>**</sup>	13.00 ± 2.266 <sup>###++</sup>	7.000 ± 1.238 <sup>###++</sup>	124.0 ± 7.506 <sup>**###++</sup>
FLUT	75.17± 6.096 <sup>##</sup>	44.50 ± 3.686 <sup>**###</sup>	53.83 ± 2.688 <sup>**###</sup>	180.3 ± 11.660 <sup>##</sup>
E2	21.17 ± 3.745 <sup>**</sup>	14.00 ± 2.082 <sup>**</sup>	7.667 ± 1.406 <sup>**</sup>	111.5 ± 8.433 <sup>**</sup>

Data represent means ± S.E.M. (\* $P<0.05$ versus vehicle control group; \*\* $P<0.01$ versus vehicle control group; # $P<0.05$ versus E2 group; ## $P<0.01$ versus E2 group; ++ $P<0.01$ versus FLUT group)

พาเท่ากับ 68.7538.8854.16 และ 58.33 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม หนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์มีค่าเฉลี่ยของระดับ LDL-C เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 185.41 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของระดับ LDL-C ของหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) และเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของระดับ LDL-C แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) (Table 3)

#### ดับ HDL-C ในดับ

จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยของระดับ HDL-C ของหนูทุกกลุ่มกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพา พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 ( $P<0.05$ ) 750 ( $P<0.01$ ) และ 1,500 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวันและหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออล มีค่าเฉลี่ยของระดับ HDL-C ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 43.9425.8223.07 และ 25.27เปอร์เซ็นต์ตามลำดับในทางตรงกันข้ามหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์มีค่าเฉลี่ยของระดับ HDL-C เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยมีค่าเพิ่มขึ้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 177.48 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) เมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) (Table 3) และเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นทุกกลุ่มมีค่าเฉลี่ยของระดับ HDL-C แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) (Table 3)

#### ระดับ TG ในดับ

จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของค่าเฉลี่ยของระดับ TG ของหนูทุกกลุ่มกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพา พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 750 ( $P<0.05$ ) และ 1,500 มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน และหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออล มีค่าเฉลี่ยของระดับ TG ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) โดยมีค่าลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารตัวพาเท่ากับ 72.7158.62 และ 52.71 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 3) ในขณะที่หนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยของระดับ TG และเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 100 และ 750 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) และเมื่อเปรียบเทียบกับหนูกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจน พบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 100 และ 750 ( $P<0.01$ ) มก.ต่อกก.น้ำหนักตัวต่อวัน มีค่าเฉลี่ยของระดับ TG แตกต่างจากหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ ) (Table 3)

#### อภิปรายผลการวิจัย

กวาวเครือขาวเป็นพืชสมุนไพรไทยที่อุดมไปด้วยสารไฟโตเอสโตรเจนเช่น ฟิฟาริน เจนีสเทอีน ดาอิดเซอีน และ สารเมแทบอลิต์ ได้แก่ อีควอล<sup>1,3,16</sup> โดยอีควอลสามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นได้ทั้งคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน<sup>17-20</sup>และต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจน<sup>21-23</sup>แต่ในปัจจุบันพบว่าในสัตว์เพศผู้ยังมีการศึกษาน้อยและยังขาดข้อมูลที่แน่ชัดเกี่ยวกับฤทธิ์กลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพและทางเภสัชวิทยาของกวาวเครือขาวในสัตว์เพศผู้ และเนื่องจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่มีการใช้กลุ่มควบคุมที่ได้รับสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจนและสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์ต้านฮอร์โมนแอนโดรเจนประกอบควบคู่กัน นอกจากนี้ยังไม่มีการศึกษาตามระเบียบวิธีวิจัยมาตรฐานสากลของ OECD Test Guideline No.407 งานวิจัยนี้เป็นงานแรกที่นำสารอ้างอิงที่เป็นทั้งสารที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน ได้แก่ 17 บีตา-เอสตราไดออล และสารที่ออกฤทธิ์ต้านฤทธิ์ของฮอร์โมนแอนโดรเจน ได้แก่ ฟลูตาไมด์ มาใช้ควบคู่กันในการประเมิน

ฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และการเปลี่ยนแปลงของค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้

จากการให้หนูแรทเพศผู้ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลและฟลูตาไมด์เป็นระยะเวลา 28 วัน พบว่าไม่มีการตายของหนูทุกกลุ่มเกิดขึ้น น้ำหนักตัวสุดท้ายของหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่มีการให้หนูเม้าส์เพศผู้ อายุ 50-60 วัน ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 และ 100 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปากเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวสุดท้ายเปลี่ยนแปลง<sup>14</sup> และหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 10 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันไม่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวสุดท้าย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรทเพศผู้ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 10 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 28 วัน ไม่มีผลทำให้น้ำหนักตัวสุดท้ายเปลี่ยนแปลง<sup>24,25</sup> แต่หนูในกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลที่ขนาด 2 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันมีน้ำหนักตัวสุดท้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรทเพศผู้ได้รับฮอร์โมนเอthinylestradiol (ethinylestradiol) ที่ขนาด 0.2 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 28 วัน มีผลทำให้น้ำหนักตัวสุดท้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>26,27</sup> อย่างไรก็ตามพบว่าหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันมีแนวโน้มที่จะมีน้ำหนักตัวลดลงสอดคล้องกับอัตราการกินอาหารที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรทเพศผู้ น้ำหนัก 100 ± 20 กรัม ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 และ 1,000 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 90 วัน มีผลทำให้น้ำหนักตัวและอัตราการกินอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>28</sup> ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากไอโซฟลาโวนส์ที่พบในกวาวเครือขาว ได้แก่ เจนิสเทอินและดาอิดเซอิน<sup>1,3,16</sup> มีผลลดอัตราการกินอาหาร โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของศูนย์ควบคุมความหิวในระบบประสาทส่วนกลาง<sup>29</sup> เช่นเดียวกับหนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลมีอัตราการกินอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรทเพศผู้ อายุ 49 วัน ได้รับอาหารที่มีฮอร์โมนเอสตราไดโอดอลผสมอยู่ที่ขนาด 2.5 10 และ 50 ppm เป็นระยะเวลา 90 วัน มีผลทำให้อัตรา

การกินอาหารลดลง<sup>30</sup> ทั้งนี้เนื่องมาจากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าฮอร์โมนเอสโตรเจนภายในร่างกายสามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการกินอาหารของหนูแรท<sup>31,32</sup> โดยออกฤทธิ์ปรับลดการทำงานของเพปไทด์ฮอร์โมนหลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการกินอาหารและกระตุ้นความอยากอาหารในระบบประสาทส่วนกลาง<sup>29,31,32</sup> เช่น นิวโรเพปไทด์ วาย (Neuropeptide Y) ซึ่งสังเคราะห์และหลั่งออกมาจากสมองส่วนไฮโปทาลามัส (hypothalamus)<sup>29,32-34</sup> และเกรลิน (ghrelin) หรือเลโนมอเรนิน (leiomorenin) ซึ่งสังเคราะห์มาจากท่อทางเดินอาหาร<sup>29,32</sup> เป็นต้น

นอกจากนี้หนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์มีอัตราการกินอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าการให้หนูแรทเพศผู้ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 0.25 1 และ 4 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 28 วัน<sup>35</sup> และที่ขนาด 25 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 10 วัน<sup>36</sup> มีผลทำให้อัตราการกินอาหารลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นถึงฤทธิ์ลดความอยากอาหารของฟลูตาไมด์ซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกการออกฤทธิ์ด้านการทำงานของฮอร์โมนแอนโดรเจนของฟลูตาไมด์ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าฮอร์โมนแอนโดรเจนภายในร่างกายออกฤทธิ์กระตุ้นการเจริญของเนื้อเยื่อ เสริมสร้างมวลร่างกาย และความอยากอาหารผ่านการทำงานของตัวรับฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen receptor) ในหนูแรทเพศผู้<sup>31,37</sup> จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่ากวาวเครือขาวน่าจะออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนอย่างอ่อนต่อการลดอัตราการกินอาหารในหนูแรทเพศผู้ เนื่องจากกวาวเครือขาวสามารถจับกับตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน<sup>38-40</sup> แต่ไม่สามารถจับกับตัวรับฮอร์โมนแอนโดรเจนได้<sup>41</sup>

จากผลการศึกษาฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกวาวเครือขาวต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์ในหนูแรทเพศผู้พบว่าผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมากส่วนล่าง และอู่พิติไดมัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักสดสัมพัทธ์ของอวัยวะซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jaroenporn และคณะ (2006)<sup>14</sup> ที่มีการให้หนูเม้าส์เพศผู้ อายุ 50-60 วัน ได้รับผงกวาวเครือขาวที่แขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ส่งผลทำให้น้ำหนักสดสุทธิของเซมินัล เวสิเคิล และอู่พิติไดมัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่น้ำหนักสดสุทธิของอวัยวะไม่เปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการให้หนูแรทเพศผู้ตัวเต็มวัยได้รับ

ผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 14 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดของเซมินัล เวสิเคิล และอีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>42</sup> และเช่นเดียวกันกับการศึกษาของ วิไลพร ประสิทธิ์และคณะ (2544)<sup>43</sup> ซึ่งพบว่าทำให้หนูแรทเพศผู้ อายุ 4 สัปดาห์ ได้รับกวาวเครือขาวที่ขนาด 100 มิลลิกรัม วันละ 3 ครั้ง เป็นระยะเวลา 14 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดของ เซมินัล เวสิเคิลและอีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะดาวิดเซอินที่พบในกวาวเครือขาวสามารถ ถูกเมแทบอลิซึมโดยแบคทีเรียในลำไส้ได้เป็นอีควอล (equol)<sup>44</sup> ซึ่งมีโครงสร้างทางโมเลกุลคล้ายกับฮอร์โมน 17 บีตา-เอสตรา ไดออลและสามารถเข้าจับกับทั้งตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจนและ ตัวรับฮอร์โมนแอนโดรเจน (androgen receptor; AR)<sup>45-47</sup> โดยอีควอลสามารถออกฤทธิ์เป็นได้ทั้งคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน<sup>17-20</sup> และต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจน<sup>21,23</sup> มีผลทำให้น้ำหนักของ เซมินัล เวสิเคิล<sup>18,19</sup> ต่อมลูกหมากและอีพิดิไดมิส<sup>21</sup> ลดลงอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ

การให้หนูแรทเพศผู้ อายุ 14 สัปดาห์ ได้รับฟลูตา ไมด์ที่ขนาด 10 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน มีผลทำให้น้ำหนัก สดสัมพัทธ์ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมากส่วนล่าง และ อีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และน้ำหนักสด สัมพัทธ์ของอัณฑะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรทตัวเต็มวัย เพศผู้ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 10 และ 100 มก.ต่อ กก. น้ำหนัก ตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 28 วัน มีผล ทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของต่อมลูกหมากและอีพิดิไดมิสลด ลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>24,25</sup> เช่นเดียวกับการให้หนูแรท เพศผู้ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 20 50 และ 100 มก.ต่อ กก. น้ำ หนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 15 วัน มี ผลทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมาก และ อีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>48</sup> และจากงานวิจัย ของ Toyoda และคณะ (2000)<sup>35</sup> พบว่าการให้หนูแรทเพศผู้ได้ รับฟลูตาไมด์ ที่ขนาด 0.25 1 และ 4 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อ วัน เป็นระยะเวลา 28 วัน และที่ขนาด 100 มก.ต่อ กก. น้ำหนัก ตัวต่อวัน เป็นระยะเวลา 5 วัน<sup>19</sup> โดยป้อนเข้าทางปาก มีผล ทำให้น้ำหนักของอัณฑะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับขนาด การได้รับ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่งานวิจัย ในครั้งนี้หนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 10 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งเป็นขนาดการให้ที่มากกว่า ในระยะเวลา 28 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นานกว่าจึงทำให้น้ำหนักของอัณฑะ เพิ่มขึ้นชัดเจนกว่าทั้งนี้เนื่องจากฟลูตาไมด์ออกฤทธิ์ต้านฤทธิ์ ฮอร์โมนแอนโดรเจน โดยแย่งจับกับตัวรับของฮอร์โมนแอนโดร

เจน ทำให้เกิดการยับยั้งการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนแอนโดรเจน ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะที่มีความไวในการตอบสนองต่อการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนแอนโดรเจนอย่างจำเพาะ ได้แก่ เซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมาก และอีพิดิไดมิส<sup>24,25,48</sup>

นอกจากนี้หนูกลุ่มที่ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดออล ซึ่งเป็นสารอ้างอิงเชิงบวกที่ออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ที่ขนาด 2 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของอัณฑะ เซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมากส่วนล่าง และอีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการให้หนูแรท ตัวเต็มวัยเพศผู้ได้รับฮอร์โมนเอธินอลเอสตราไดออลที่ขนาด 0.2 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปากเป็นระยะ ระยะเวลา 28 วัน ทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อม ลูกหมากส่วนบนร่วมข้างและต่อมลูกหมากส่วนล่างลดลงอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>26,27</sup> เช่นเดียวกับการศึกษาให้หนูแรทเพศผู้ อายุ 50-60วัน ได้รับฮอร์โมนเอสโตรเจนสังเคราะห์ไดเอสทิลสทิล เบสทอล (diethylstilbestol) ที่ขนาด 200 ไมโครกรัมต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ มีผลทำให้น้ำหนักสดสัมพัทธ์ของอัณฑะ เซมินัล เวสิเคิล และ อีพิดิไดมิสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>14</sup> เนื่องจากฮอร์โมน เอสโตรเจนที่ได้รับเพิ่มจากภายนอกร่างกายทำให้เกิดการ ควบคุมย้อนกลับแบบยับยั้ง (negative feedback) ต่อการ ทำงานของชุดอวัยวะไฮโปทาลามัส-ต่อมพิทูอิทารี-ต่อมเพศ (hypothalamic-pituitarygonadal-axis) ที่ระดับของสมองส่วน ไฮโปทาลามัสและต่อมพิทูอิทารี ส่งผลทำให้มีการสร้างและหลั่ง ของโกนาโดโทรปิน รีลีสซิงฮอร์โมน (gonadotropin-releasing hormone) และลูทีไนซิงฮอร์โมนลดลง ตามลำดับ ทำให้ลด ขบวนการชีวสังเคราะห์ของฮอร์โมนแอนโดรเจน และส่งผลลด การเจริญเติบโตของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์และ มีความไวต่อการตอบสนองต่อการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนแอนโดรเจนอย่างมาก ได้แก่ เซมินัล เวสิเคิลต่อมลูกหมาก และ อีพิดิไดมิส<sup>24,25,48</sup> ดังนั้นกวาวเครือขาวที่ขนาดสูงที่ใช้ในการ วิจัยครั้งนี้ คือ 750 และ 1,500 มก.ต่อ กก. น้ำหนักตัวต่อวัน สามารถออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นไปได้อย่างคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนหรือต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจนต่อการเจริญเติบโต ของเซมินัล เวสิเคิล ต่อมลูกหมากส่วนล่าง และอีพิดิไดมิส ถึงแม้ว่ากวาวเครือขาวไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของ อัณฑะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่กวาวเครือขาวมีแนวโน้ม ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดสัมพัทธ์ของอัณฑะ ลดลงคล้ายกับผลของฮอร์โมนเอสตราไดออล ในขณะที่ฟลูตา ไมด์มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสดสัมพัทธ์ของอัณฑะเพิ่มขึ้น จึงสามารถคาดคะเนได้ว่ากวาวเครือขาวน่าจะออกฤทธิ์ทาง

ชีวภาพที่เป็นไปได้ต่อการเจริญเติบโตของอณูเซลล์คล้ายกับฮอร์โมนเอสโตรเจนอย่างอ่อนมากกว่าต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจน

นอกจากนี้ยังพบว่า การได้รับผงกวาวเครือขาวที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน ฮอร์โมนเอสตราไดโอดและฟลูตาไมด์มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการให้หนูแรพเพคส์ที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 และ 1,000 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 90 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>28</sup> เช่นเดียวกับการให้หนูแรพเพคส์ได้รับฮอร์โมนเอสโตรเจนและฟลูตาไมด์ มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>17,20,27,48</sup> ซึ่งการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวอาจเกิดจากการมีกิจกรรมของเอนไซม์ในตับเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวทำหน้าที่หลักในการควบคุมขบวนการเมแทบอลิซึมสารซีโนไบโอติก (xenobiotic compounds)<sup>49-51</sup>

ได้เป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่หลักในการกำจัดและกรองของเสียออกจากร่างกาย การได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน และฮอร์โมนเอสตราไดโอด มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการให้หนูแรพเพคส์ที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 1,000 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 90 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>28</sup> ในทำนองเดียวกับการให้หนูเม้าส์เพศผู้ อายุ 30 วัน ได้รับเจนิสเทออินขนาด 2.5 ไมโครกรัมต่อน้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 90 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>52</sup> สอดคล้องกับการให้หนูแรพเพคส์ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอดเบนโซเอทที่ขนาด 0.01 และ 0.04 มิลลิกรัมต่อตัวต่อวัน โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เป็นระยะเวลา 21 และ 42 วัน มีผลทำให้น้ำหนักสดสัณพัทธ์ของตัวเพิ่มขึ้น<sup>53</sup> ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากดาอิดเซออินที่พบในกวาวเครือขาวสามารถถูกเมแทบอลิซึมเป็นอีควอลซึ่งการให้หนูแรพเพคส์ได้รับอีควอลส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มการทำงานของไตทำให้มีการขับน้ำออกจากไตเพิ่มมากขึ้น<sup>54</sup>

จากการตรวจวัดระดับของค่าทางชีวเคมีในซีรัมที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับได้แก่ TC LDL-C HDL-C และ TG โดยใช้เทคนิค Enzymatic colorimetric assay พบว่ากวาวเครือขาวที่ขนาด 100 750 และ 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน มีผลลดระดับของ TC LDL-C และ HDL-C ในซีรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระดับของ TG ลดลง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเฉพาะในหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 1,500 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของทรงพล ชีวะพัฒน์และคณะ (2543)<sup>28</sup> ที่ให้หนูแรพเพคส์ น้ำหนัก 100±20 กรัม ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 10 100 และ 1,000 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันมีผลทำให้ระดับของ TC ในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ระดับของ TG ในซีรัมลดลงในหนูกลุ่มที่ได้รับผงกวาวเครือขาวแขวนตะกอนในน้ำกลั่นที่ขนาด 1,000 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน ในทำนองเดียวกับการให้หนูแรพเพคส์ได้รับดาอิดเซออิน ซึ่งเป็นไฟโตเอสโตรเจนชนิดหนึ่งที่พบในกวาวเครือขาว<sup>1,3,16</sup> ที่ขนาด 20 และ 60 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 60 วัน มีผลลดระดับของ TCTG และ LDL-C ในซีรัมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>55</sup> และการให้หนูแรพเพคส์ได้รับเจนิสเทออินและดาอิดเซออินที่ขนาด 30 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ส่งผลให้ระดับของ TCHDL-C และ LDL-C ในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>56</sup> จากงานวิจัยนี้พบว่าผลของกวาวเครือขาวต่อการลดระดับไขมันในซีรัมคล้ายกับผลของฮอร์โมนเอสตราไดโอด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ให้หนูแรพเพคส์ อายุ 3 เดือน ได้รับฮอร์โมนเอสตราไดโอด วาลิเรทที่ขนาด 0.6 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 5 วัน ส่งผลให้ระดับของ TC LDL-C และ HDL-C ในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>17</sup> และการให้หนูแรพเพคส์ที่ถูกตัดรังไข่ได้รับฮอร์โมนเอสโตรเจนที่ขนาด 0.2 ม.ล โดยฉีดเข้าใต้ผิวหนัง เป็นระยะเวลา 4 วัน มีผลทำให้ระดับของ TC และ HDL-C ในซีรัมลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>57</sup>

ในทางตรงกันข้ามหนูกลุ่มที่ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 10 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน มีระดับของ TC LDL-C และ HDL-C ในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Loutchanwoot และคณะ (2015)<sup>20</sup> ที่ให้หนูแรพเพคส์ได้รับฟลูตาไมด์ที่ขนาด 100 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวัน โดยป้อนทางปากสู่กระเพาะอาหารโดยตรงเป็นระยะเวลา 5 วัน มีผลทำให้ระดับของ TC LDL-C และ HDL-C เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เช่นเดียวกับการให้หนูแรพเพคส์ได้รับฟลูตาไมด์ ที่ขนาด 30 มก.ต่อกก. น้ำหนักตัวต่อวันโดยป้อนเข้าทางปาก เป็นระยะเวลา 60 วัน มีผลทำให้ระดับของ TC และ LDL-C ในซีรัมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>55</sup>

## สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และความเป็นพิษของกวาวเครือขาวต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะ



## on Growth of Reproductive Organs and Hepatic Lipid Metabolic Parameters in Male Rats

สืบพันธุ์และค่าทางชีวเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้โดยให้หนูแรทเพศผู้ได้รับผงกวาวเครือขาวแวนตะกอนในน้ำกลั่นโดยบ้วนเข้าทางปาก และให้ได้รับน้ำและอาหารสำเร็จรูปที่ปราศจากถั่วเหลืองเจือปน เป็นระยะเวลา 28 วัน ตามระเบียบวิธีวิจัยของ OECD Test Guideline No.407 โดยใช้กลุ่มควบคุมที่ได้รับสารออกฤทธิ์เป็นฮอร์โมนเอสโตรเจน และกลุ่มควบคุมที่ได้รับสารต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจนประกอบควบคุมกัน สามารถสรุปได้ว่าการให้หนูเพศผู้ได้รับกวาวเครือขาว ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย และไม่ทำให้เกิดการตายของหนู โดยกวาวเครือขาวสามารถออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนอย่างอ่อนมากกว่าต้านฤทธิ์ฮอร์โมนแอนโดรเจนต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และเมแทบอลิซึมของไขมันในตับของหนูแรทเพศผู้ ดังนั้นการนำกวาวเครือขาวไปใช้ในเพศชายควรคำนึงถึงฤทธิ์และกลไกการออกฤทธิ์ทางชีวภาพของกวาวเครือขาวซึ่งออกฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนซึ่งเป็นฮอร์โมนชนิดหลักที่ทำให้หน้าที่ควบคุมและกระตุ้นให้เกิดพัฒนาการและการแสดงออกซึ่งลักษณะทางเพศของเพศหญิง

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อพัฒนานิสิตระดับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

### เอกสารอ้างอิง

1. Malavijitnond S, Kiatthaipipat P, Cherdshewasart W, Watanabe G, Taya K. Different effects of *Puerariamirifica*, a herb containing phytoestrogens, on LH and FSH secretion in gonadectomized female and male rat, J PharmacolSci 2004;96(4):428-35.
2. Chansakaow S, Ishikawa T, Seki H, Sekine K, Okada M, Chaichantipyuth C. Identification of deoxymiroestrol as the actual rejuvenating principle of "KwaoKeur," *Puerariamirifica*. The known miroestrol may be an artifact. J Nat Prod 2000;63(2):173-75.
3. Cherdshewasart W, Subtang S, Dahlan W. Major isoflavonoid contents of the phytoestrogen rich-herb *Puerariamirifica* in comparison with *Puerarialobata*. J Pharm Biomed Anal 2007;43(2):428-34.
4. Murkies AL, Wilcox G, Davis SR. Clinical review 92: Phytoestrogens. J ClinEndocrinolMetab 1998;83(2): 297-03.
5. Cherdshewasart W, Cheewasopit W, Picha P. The differential antiproliferation effect of white (*Puerariamirifica*), red (*Butea superba*), and black (*Mucunacolletii*) KwaoKrua plants on the growth of MCF-7 cells. J Ethnopharmacol 2004;93(2-3):255-60.
6. Cherdshewasart W, Traisup V, Picha P. Determination of the estrogenic activity of wild phytoestrogen-rich *Puerariamirifica* by MCF-7 proliferation assay. J Reprod Dev 2008;54(1):63-7.
7. Chivapat S, Chavalittumrong P, Rattanajarasroj S, Chuthaputti A, panyamang S. Toxicity study of *Puerariamirifica* Airy Shaw et Suvatabandhu. Bull Med Sci 2000;42(3):202-23.
8. Saenphet K, Kantaoop P, Saenphet S, Aritajat S. Mutagenicity of *Puerariamirifica* Airy Shaw & Suvatabandhu and antimutagenicity of *Thunbergialaurifolia* Linn. Southeast Asian J Trop Med Public Health 2005;36(Suppl 4):238-41.
9. Malaivijitnond S, Tungmunthum D, Gittarasanee S, Kawin K, Limjunyawong N. Puerarin exhibits weak estrogenic activity in female rats. Fitoterapia 2010;81(6):569-76.
10. Trisomboon H, Malaivijitnond S, Watanabe G, Taya K. Estrogenic effects of *Puerariamirifica* on the menstrual cycle and hormone-related ovarian functions in cyclic female cynomolgus monkeys. J PharmacolSci 2004;94(1):51-9.
11. Trisomboon H, Malaivijitnond S, Watanabe G, Taya K. Ovulation block by *Puerariamirifica*: a study of its endocrinological effect in female monkeys. Endocrine 2005;26(1):33-9.
12. Trisomboon H, Malaivijitnond S, Watanabe G, Cherdshewasart W, Taya K. The estrogenic effect of *Puerariamirifica* on gonadotrophin levels in aged monkeys. Endocrine 2006; 29(1):129-34.
13. Muangman V, Cherdshewasart W. Clinical trails of the phytoestrogen-rich herb, *Puerariamirifica*, as a crude drug in the treatment of symptoms in menopausal women. SirirajHospGaz 2001;53(5):300-9.
14. Jaroenporn S, Malaivijitnond S, Wattanasirmit K. Effects of *Puerariamirifica*, an herb containing phytoestrogens, on reproductive organs and fertility of

- adult male mice. *Endocrine* 2006;30(1):93-101.
15. Urasopon N, Hamada Y, Asaoka K, Cherdshewasart W, Malaivijitnond S. *Puerariamirifica*, a phytoestrogen-rich herb, prevents bone loss in orchidectomized rats. *Maturitas* 2007;56(3):322-31.
  16. Malaivijitnond S. Medical applications of phytoestrogens from the Thai herb *Puerariamirifica*. *Front Med*. 2012;6(1):8-21.
  17. มัลลิกา สระศรี, ประยุกต์ ศรีวิไล, พนิดา เล้าชาญวุฒิ. ผลของอีควอลต่อการเจริญเติบโตของอวัยวะสืบพันธุ์และอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบสืบพันธุ์และเมแทบอลิซึมของไขมันในตับในหนูแรดตัวเต็มวัยเพศผู้. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2015;34(2):140-55.
  18. Loutchanwoot P, Srivilai P, Jarry H. Effects of the natural endocrine disruptor equol on the pituitary function in adult male rats. *Toxicology* 2013;304:69-75.
  19. Loutchanwoot P, Srivilai P, Jarry H. Lack of anti-androgen effects of equol on reproductive neuroendocrine function in the adult rat. *Horm Behav* 2014;65:22-31.
  20. Loutchanwoot P, Srivilai P, Jarry H. The influence of equol on the hypothalamic-pituitary-thyroid axis and hepatic lipid metabolic parameters in adult male rats. *Lifsci* 2015;128:1-7.
  21. Lund TD, Munson JD, Haldy EM, Setchell KD, Lephart ED, Handa JR. Equol is a novel antiandrogen that inhibits prostate growth and hormone feedback. *Biol-Reprod* 2004; 70(4):1188-95.
  22. Lund TD, Blake C, Bu L, Hamaker AN, Lephart ED. Equol an isoflavonoid: potential for improved prostate health, *in vitro* and *in vivo* evidence. *Reprod-BiolEndocrinol* 2011;9(4):1-9.
  23. Hedlund TE, Johannes WU, Miller GJ. Soy isoflavonoid equol modulates the growth of benign and malignant prostatic epithelial cells *in vitro*. *Prostate* 2003;54(1):68-78.
  24. Andrews P, Freyberger A, Hartmann E, Eiben R, Loofl, Schmidt U, Temerowski M, Becka M. Feasibility and potential gains of enhancing the subacute rat study protocol (OECD test guideline no. 407) by additional parameters selected to determine endocrine modulation. A pre-validation study to determine endocrine-mediated effects of the antiandrogenic drug flutamide. *Arch Toxicol* 2001;75(2):65-73.
  25. Kunimatsu T, Yamada T, Miyata K, Yabushita S, Seki T, Okuno Y, Matsuo M. Evaluation for reliability and feasibility of the draft protocol for the enhanced rat 28-day subacute study (OECD Guideline 407) using androgen antagonist flutamide. *Toxicology* 2004; 200(1):77-89.
  26. Andrews P, Freyberger A, Hartmann E, Eiben R, Loofl, Schmidt U, Temerowski M, Folkerts A, Stahl B, Kayser M. Sensitive detection of the endocrine effects of the estrogen analogue ethinylestradiol using a modified enhanced subacute rat study protocol (OECD Test Guideline no. 407). *Arch Toxicol* 2002;76(4): 194-202.
  27. Yamasaki K, Sawaki M, Noda S, Imatanaka N, Takatsuki M. Subacute oral toxicity study of ethinylestradiol and bisphenol A, based on the draft protocol for the "Enhanced OECD Test Guideline no. 407". *Arch Toxicol* 2002;76(2):65-74.
  28. ทรงพล ชีวะพัฒน์, ปราณี ชาลิตธำรง, สดุดี รัตนจรัสโรจน์, อัญชลี จุฑะพุทธิ, สมเกียรติ ปัญญามัง. พิษวิทยาของกวางเครือขาว. *กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์* 2543;42(3):202-23.
  29. Zhang Y, Na X, Zhang Y, Li L, Zhao X, Cui H. Isoflavone reduces body weight by decreasing food intake in ovariectomized rats. *Ann Nutrmetab* 2009;54:163-70.
  30. Biegel LB, Flaws JA, Hirshfield AN, O'Connor JC, Elliott GS, Ladics GS, et al. 90-day feeding and one-generation reproduction study in Crl:CD BR rats with 17 beta-estradiol. *Toxicol Sci*. 1998 44(2):116-42.
  31. Kalra SP, Dube MG, Pu S, Xu B, Horvath TL, Kalra PS. Interacting appetite-regulating pathways in the hypothalamic regulation of body weight. *Endocr Rev* 1999;20(1):68-100.
  32. Santollo J, Eckel LA. Estradiol decreases the orexigenic effect of neuropeptide Y, but not agouti-related protein, in ovariectomized rats. *Behav Brain Res* 2007;191(2):173-77.
  33. Daniels AJ, Grizzle MK, Wiard RP, Matthews JE, Heyer D. Food intake inhibition and reduction in body

## on Growth of Reproductive Organs and Hepatic Lipid Metabolic Parameters in Male Rats

- weight gain in lean and obese rodents treated with GW438014A, a potent and selective NPY-Y5 receptor antagonist. *RegulPept*2002;106:47-54.
34. Kanatani A, Ishihara A, Asahi S, Tanaka T, Ozaki S, Ihara M. Potent neuropeptide Y Y1 receptor antagonist, 1229U91; blockade of neuropeptide Y-induced and physiological food intake. *Endocrinology* 1996;137:3177-82.
  35. Toyoda K, Shibutani M, Tamura T, Koujitani T, Uneyama C, Hirose M. Repeated dose (28 days) oral toxicity study of flutamide in rats, based on the draft protocol for the 'Enhanced OECD Test Guideline 407' for screening for endocrine-disrupting chemicals. *Arch Toxicol* 2000;74(3):127-32.
  36. Kim SS, Lee RD, Lim KL, Kwack SJ, Rhee GS, Seok JH, Lee GS, An BS, Jeung EB, Park KL. Potential estrogenic and antiandrogenic effects of permethrin in rats. *J Reprod Dev* 2005;51(2):201-10.
  37. Dupont A, Cusan L, Gomez JL, Koutsilieris M, Suburu R, Emond J, et al. Combination therapy with flutamide and the LHRH agonist [D-Trp6, des-Gly-NH(2)10]LHRH ethylamide in stage C prostatic carcinoma. *Br J Urol* 1993;72(5 Pt 1):629-34.
  38. Lee YS, Park JS, Cho SD, Son JK, Cherdshewasart W, Kang KS. Requirement of Metabolic Activation for Estrogenic Activity of *Pueraria mirifica*. *J Vet Sci* 2002;3(4):273-7.
  39. Boue SM, Wiese TE, Nehls S, Burow ME, Elliott S, Carter-Wientjes CH, et al. Evaluation of the Estrogenic Effects of Legume Extracts Containing Phytoestrogens. *J Agric Food Chem* 2003 Apr 9;51(8):2193-9.
  40. Boonchird C, Mahapanichkul T, Cherdshewasart W. Differential binding with ER $\alpha$  and ER $\beta$  of the phytoestrogen-rich plant *Pueraria mirifica*. *Braz J Med Biol Res* 2010;43(2):195-200.
  41. Okamura S, Sawada Y, Satoh T, Sakamoto H, Saito Y, Sumino H, et al. *Pueraria mirifica* phytoestrogens improve dyslipidemia in postmenopausal women probably by activating estrogen receptor subtypes. *Tohoku J Exp Med* 2008;216(4):341-51.
  42. ยุพดี ลางคิลจันทร์. การศึกษาผลของกวาวเครือขาว (*Pueraria mirifica*) ที่มีต่ออวัยวะสืบพันธุ์ ต่อมหมวกไต ตับ พฤติกรรมการสืบพันธุ์ และการสืบพันธุ์ในหนูขาวเพศผู้. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาชีววิทยา. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2527.
  43. วิไลพร ประสิทธิ์, วรรณดา สุจริต, ผกาดี พงษ์เกษ. ผลของกวาวเครือขาวต่ออวัยวะของระบบสืบพันธุ์ในหนูขาวเพศผู้. ใน: การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39, 5-7 กุมภาพันธ์ 2544, กรุงเทพฯ, หน้า 537-42.
  44. Yuan JP, Wang JH, Liu X. Metabolism of dietary soy isoflavones to equol by human intestinal microflora: implications for health. *Mol Nutr Food Res* 2007;51(7):765-81.
  45. Bovee TF, Schoonen WG, Hamers AR, Bento MJ, Peijnenburg AA. Screening of synthetic and plant-derived compounds for (anti)estrogenic and (anti)androgenic activities. *Anal Bioanal Chem* 2008;390(4):1111-9.
  46. Muthyala RS, Ju YH, Sheng S, Williams LD, Derge DR, Katzenellenbogen BS, Helferich WG, Katzenellenbogen JA. Equol, a natural estrogenic metabolite from soy isoflavone: convenient preparation and resolution of R- and S-equols and their differing binding and biological activity through estrogen receptors  $\alpha$  and  $\beta$ . *Bioorg Med Chem* 2004;12(6):1559-1567.
  47. Sathyamoorthy N, Wang TT. Differential effects of dietary phyto-oestrogens daidzein and equol on human breast cancer MCF-7 cells. *Eur J Cancer* 1997;33(14):2384-2389.
  48. O'Connor JC, Frame SR, Ladics GS. Evaluation of a 15-day screening assay using intact male rats for identifying antiandrogens. *Toxicol Sci* 2002;69(1):92-108.
  49. Manna F, Ahmed HH, Estefan SF, Sharaf HA, Eskander EF. *Saccharomyces cerevisiae* intervention for relieving flutamide-induced hepatotoxicity in male rats. *Pharmazie* 2005;60:689-95.
  50. Sato K, Ohuchi A, Sook SH, Toyomizu M, Akiba Y. Changes in mRNA expression of 3-hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase and cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase in chickens. *Biochim Biophys Acta* 2003;1630:96-102.

51. Spady DK, Cuthbert JA, Willard MN, Meidell RS. Overexpression of cholesterol 7-hydroxylase (CYP7A) in mice lacking the low density lipoprotein (LDL) receptor gene. *J Biol Chem* 2003;273:126-32.
52. Kyselovaa V, Peknicovaa J, Boubelikb M, Buckiovac D. Body and organ weight, sperm acrosomal status and reproduction after genistein and diethylstilbestrol treatment of CD1 mice in a multigenerational study. *Theriogenology* 2004;61(7-8):1307-25.
53. Ludden JB, Krueger E, Wright IS. Effect of testosterone propionate, estradiol benzoate and desoxycorticosterone acetate on the kidneys of adu rats. *Endocrinology* 1941;28(4):619-29.
54. Gimenez I, Lou M, Vargas F, Alvarez-Guerra M, Mayoral JA, Martinez RM, Garay RP, Alda JO. Renal and vascular actions of equol in the rat. *J Hypertens* 1997;15:1303-08.
55. Lateef A, Khan AQ, Tahir M, Khan R, Rehman MU, Ali F, Hamiza OO, Sarwat S. Androgen deprivation by flutamide modulates uPAR, MMP-9 expressions, lipid profile, and oxidative stress: amelioration by daidzein. *Mol Cell Biochem* 2013;374:49-59.
56. Susic-Jurjevic B, Filipovic B, Ajdzanovic V, Brkic D, Ristic N, Stojanoski MM, et al. Subcutaneously administered genistein and daidzein decrease serum cholesterol and increase triglyceride levels in male middle-aged rats. *Exp Biol Med (Maywood)* 2007;232(9):1222-7.
57. Lundeen SG, Carver JM, McKean ML, Winneker RC. Characterization of the ovariectomized rat model for the evaluation of estrogen effects on plasma cholesterol levels. *Endocrinology* 1997;138(4):1552-8.

## คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาผลงานพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

### การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

### บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

**ชื่อเรื่อง (Title)** ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

**ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)]** และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

**บทคัดย่อ (Abstract)** เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรู้คำย่อ

**คำสำคัญ (Keyword)** ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

**บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

**วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods)** ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

**ผลการศึกษา (Results)** รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

**วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion)** แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

**ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams)** ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

**กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

**เอกสารอ้างอิง (References)** ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ [www.journal.msu.ac.th](http://www.journal.msu.ac.th)

### 1. การอ้างอิงหนังสือ

**รูปแบบ:** ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. พิมพ์ครั้งที่. สถานที่เมืองพิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. p 22-5. (ชื่อชุด; vol 288).

**ตัวอย่าง:** Getqen,TE. Health economics: Fundamentals of funds. New York: John Wiley & Son; 1997. P. 12-5 (Annals of New York academy of science; voll 288).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

### 2. การอ้างอิงจากวารสาร

**รูปแบบ:** ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

**ตัวอย่าง:**

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppel AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

### 3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

**รูปแบบ :** ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

**ตัวอย่าง:** Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infomatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceedings of the 7<sup>th</sup> World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศรินทร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

#### 4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

**รูปแบบ:** ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

**ตัวอย่าง:** Stedmin's medical dictionary. 26<sup>th</sup> ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

#### 5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

**รูปแบบ:** ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

**ตัวอย่าง:** Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. The Washington Post 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

#### 6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

**รูปแบบ:** ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

**ตัวอย่าง:** More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

## Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

### Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.
2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.
3. Browallia font type is required with font size as follows:
  - Title the article: 18 pt. Bold
  - Name(s) of the authors: 16 pt.
  - Main Heading: 16 pt. Bold
  - Sub-heading: 14 pt. Bold
  - Body of the text: 14 pt
  - Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.
4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.
5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.
6. Organization of research articles.

**Title:** denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters. Name(s) of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

**Abstract:** This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

**Keywords:** Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

**Introduction:** A summary of who is doing what, why where, and when?

**Materials and Methods:** A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

**Results:** Present the output. If the information is complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

**Discussion and Conclusion:** Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.



**Tables, figures, diagrams, pictures:** should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

**Acknowledgement:** the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

**References:** listed and referred to in vancouver style.  
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

### **Review of manuscripts:**

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.

2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments

3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



## ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล .....

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

.....

.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี      ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน      ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณ์หรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ทำxonนยง ในนาม:

**นางฉวีวรรณ อังครระเศรษฐ์ กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**

**ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 00033**



## Membership Application Form

### Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

- One-Year membership (400 Baht)
- Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree  
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 00033