



Volume 37 Number 4 July - August 2018

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 37 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 4 July - August 2018



ปีที่ 37 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2561

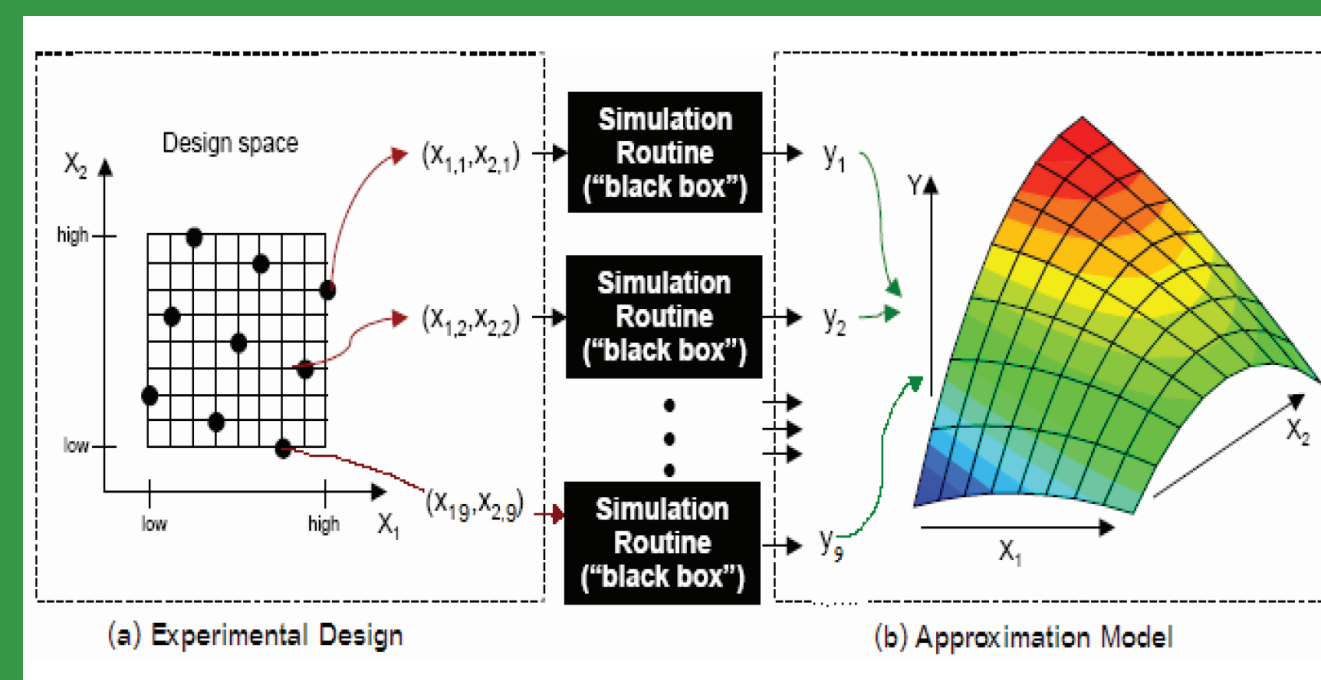
ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

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 ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรรพธนะ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิข้า
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรหม
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมฆากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนอมแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร 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.อภิญญา วงศ์พิริยโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดดพร รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทตร์วิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ 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 Mahasarakham University will be subject to verification of academic luminaries both from within and outside the University to assure journal quality standards.

Ownership

Mahasarakham 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 Mahasarakham University
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

Professor Dr.Pairot Pramual
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Mahasarakham 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
Mahasarakham 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
Mahasarakham University
Associate Professor Dr.Sirikasem Sirilak
Naresuan University
Associate Professor Dr.Anongrit Kangrang
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Chawalit Boonpok
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Napparad 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
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Alongkorn Lamom
Mahasarakham University
Assistant Professor Dr.Atthaporn Roongsitthichai
Mahasarakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Mahasarakham University
Mr.Paul Alexander Dulfer
Mahasarakham University
Chaweewan Akkasesthang
Mahasarakham University

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirat 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 สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ประกอบไปด้วยงานวิจัยจากหลากหลายสาขาวิชาที่ผ่านกระบวนการพิจารณาและคัดกรอง ตรวจสอบความถูกต้องจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่าง ๆ จำนวน 15 บทความ คลอบคลุมในศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศด้านอื่นๆ ที่เกิดจากการค้นพบ องค์ความรู้ใหม่ๆ และมีคุณค่าในเชิงวิชาการ มารวบรวมจัดพิมพ์เผยแพร่ ซึ่งผู้อ่านจะได้รับความรู้และสาระที่เป็นประโยชน์สามารถนำไปต่อยอดในศาสตร์ที่ผู้อ่านสนใจและพัฒนาให้เป็นนวัตกรรมที่เป็นรูปธรรม วารสารฯ ฉบับนี้ จึงมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับ นิสิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการ และผู้สนใจทั่วไป เพื่อใช้ประกอบการศึกษา เพิ่มพูนความรู้ และติดตามความรู้ใหม่ๆ ที่เกิดจากการวิจัยและพัฒนาของศาสตร์ด้านต่างๆ

กองบรรณาธิการขอขอบคุณผู้เขียนงานวิจัยทุกท่าน ที่ได้ส่งบทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารฯ ฉบับนี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฯ ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่านและทำหน้าที่ในการเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการ

รองศาสตราจารย์ ดร.บังอร กุมพล

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : การประยุกต์ใช้วิธีสืบค่าและวิธีปรับแก้ในขั้นตอนวิธีสืบค้นสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

ภาพปก : วิศรุต ขวัญคุ้ม และคณะ. 2561, 572-579.

สารบัญ

Health Science

ความสัมพันธ์ระหว่างประวัติครอบครัวและมะเร็งเต้านมในสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน 460

Relationship between family history and breast cancer among Thai premenopausal women

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์, รังษิณพดล โถทอง,

ปรารธนา สติติวิภาวี, ศุภชัย ปิตกุลตั้ง

Wisit Chaveepojnkamjorn, Natchaporn Pichainarong, Rungsinoppadol Thotong,

Pratana Satitvipawee, Supachai Pitikultang

เปรียบเทียบประสิทธิผลของการอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน โดยใช้วิดีโอ

และการอบรมแบบดั้งเดิมในกลุ่มนักเรียนโรงเรียนมัธยม จังหวัดมหาสารคาม 470

Comparison of the effectiveness of CPR training between the brief VDO training

and traditional training in the group of secondary school student in Mahasarakham province

นันทวรรณ ทิพยเนตร, เกียรติศักดิ์ ชัยพรหม, วชิร ชนะบุตร

Nantawan Tippayanate, Kiattisak Chaiyaprom, Wachira Chanabutr

Biological Science

ผลของสาร NAA ต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำเฟื่องฟ้า 478

Effect of 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) on the Cutting of Paper Flower

ยศนันท์ ศรีวิจารณ์

Yotsanon Sriwichan

ความชุกของการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุด (*Enterobius vermicularis*) ในนักเรียนระดับประถมศึกษา
จังหวัดชัยภูมิประเทศไทย 486

**Prevalence of *Enterobius vermicularis* infection among Students from Elementary Schools, C
haiyaphum Province, Thailand**

ปกกมล เหล่ารักษาวงษ์, อนัญญา ประดิษฐปรีชา, เอกพล กาละดี

Pokkamol Laoraksawong, Anunya Pradidthaprecha, Akaphol Kaladee

Physical Science

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา 494

Carbon Footprint of Organization: A Case Study of the Faculty of Science and Technology,

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

วัชรารมณ์ ดันติพานทิพย์

Watcharaporn Tantipanapip¹

สารบัญ

เซต A ในปริภูมิสองโครงสร้างเล็กสุด	504
A-Sets in Biminimal Structure Spaces	
ชนิกา กุลค้อ, จีระนันท์ คำภักดิ์, ดร.ณิ บุญชาลี	
Chanika Kulkhor, Jeeranunt Khampakdee, Daruni Boonchari	
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนเหล็กโดยใช้ซิลิกา ที่เตรียมจากกลบข้าวเหนียวและกลบข้าวเจ้า	511
Optimal Conditions for Adsorption of Fe(II) ions Using Silica Prepared from Glutinous and Jasmine Rice Husks	
อรสา อินทร์น้อย, วุฒิชัย เหล่าอง, สุธิดา โพธารินทร์	
Orrasa In-noi, Wuttichai Lao-ong, Sutida Potarin	
การกระเจิงของศักย์ยูกาวาโดยการใชหลักการควอนตัมเชิงพลวัต	519
Yukawa scattering treated by the Quantum dynamical principle	
อาณัติกร พลจันทัก, เสกสรร สุขะเสนา	
Anajak Phonchantuek, Seckson Sukhasena	
ความจำเพาะและโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) และโซเดียมกับกรดพิโคลินิก	525
Specificity and structures of Cu (II), CuNPs and Na complexes with picolinic acid	
นุชรินทร์ วะสุกัน, มะยุโซะ คุโน, สุจิตรา ศรีสังข์	
Nootcharin Wasukan, Mayuso kuno, Sujitra Srisung	
เยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิเดนฟลูออไรด์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง	534
Nanocomposites Polyvinylidene Fluoride Membrane for Direct Methanol Fuel Cells	
มรกต พุทธกาล, วิษณุ เจริญถนอม	
Moragote Buddhakala, Wissanu Charerntanom	
โอะริงามิและทฤษฎีกราฟ	546
Origami and Graph Theory	
ชนันท์ ลีวเฉลิมวงศ์	
Chanun Lewchalermvongs	
วิธีการวิเคราะห์สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาในอาหารปิ้งย่างไทยชนิดต่าง ๆ	552
Analysis Methods of Light Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Thai Grilled Food Varieties	
ธนาวัฒน์ จูมแพง	
Thanawat Jumeapaeng	

สารบัญ

Computer and Information Science

การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
สำหรับฟังก์ชันทดสอบแบบยูนิเทชัน

562

**Performance Comparison and Analysis of Crossover Techniques in Genetic Algorithms
for the Function of Unitation Problems**

ดิลก พุ่มสุวรรณ, สุณิสา ริมเจริญ

Dilok Pumsuwan, Sunisa Rimcharoen

การประยุกต์ใช้วิธีสับค่าและวิธีปรับแก้ในขั้นตอนวิธีสืบค้นสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

572

Application of Swap and Adjustment Method in Search Algorithm for Computer

Simulated Experiments

วิศรุต ขวัญคุ้ม, จิรารัตน์ เอี่ยมสอาด, ธนภัทร เอี่ยมตาล

Wisrut Kwankhoom, Jirarat leamsaard, Thanapat lamtan

การเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัย
โดยใช้วิธีวัดความคล้ายคลึงของคำและแบบจำลองเวกเตอร์สเปซ

580

**An Alternative Approach to Course Description Comparison for University Credit transfer
Using Word Similarity Measurement and Vector Space Model**

ณัฏฐ์ ดิษเจริญ, สราธิป เตชาวีวัฒนบูลย์

Nadh Ditcharoen, Sarathip Techawiwatthanaboon

ความสัมพันธ์ระหว่างประวัติครอบครัวและมะเร็งเต้านมในสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

Relationship between family history and breast cancer among Thai premenopausal women

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร^{1*}, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์², รังษิณพดล โถทอง³, ประรณนา สติติภาวี⁴, ศุภชัย ปิตกุลตั้ง⁵
 Wisit Chaveepojnkamjorn¹, Natchaporn Pichainarong², Rungsinoppadol Thotong³,
 Pratana Satitvipawee⁴, Supachai Pitikultang⁵

Received: 15 August 2017; Accepted: 20 February 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านประวัติครอบครัวและมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีก่อนหมดประจำเดือน 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) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม กับมะเร็งเต้านมเมื่อควบคุมตัวแปรรบกวน พบว่า กลุ่มที่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมสูงถึง 3.28 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ($OR_{adj} = 3.28, 95\%CI = 1.14-9.48$) ฉะนั้นการเฝ้าระวังมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีที่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม จะต้องดำเนินการร่วมกับการให้ความรู้ในการตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้อง และทราบถึงประโยชน์ และข้อจำกัดในวิธีดังกล่าว จะช่วยป้องกันและลดอุบัติการณ์ของโรคมะเร็งเต้านมลงได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ : ประวัติครอบครัว มะเร็งเต้านม สตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

Abstract

The objective of this research was to determine the association of family history 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. 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 a computerized statistical package. The results revealed that the

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

² รองศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ นักวิชาการ กลุ่มงานวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร 10400

⁴ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาชีวสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

⁵ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาอนามัยครอบครัว คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

¹ Assoc. Prof., Department of Epidemiology, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

² Assoc. Prof., Faculty of Public Health, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

³ Scholar, Research and Technology Assessment Division, National Cancer Institute, Bangkok 10400, Thailand.

⁴ Assoc. Prof., Department of Biostatistics, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

⁵ 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; Received: ; Accepted:

major type of breast cancer was the invasive ductal carcinoma (91.8%). The group with a family history of breast cancer when compared with group with no family history of breast cancer after adjusting for potential confounders has 3.28 times the risk of developing breast cancer (OR=3.28, 95%CI =1.14-9.48). Therefore, a surveillance system of Thai women with a family history of breast cancer should be conducted and should be accompanied by information on the advantages and the limitations of breast self examination technique among risk groups in order to reduce and prevent from this problem.

Keywords : Family history, breast cancer, Thai premenopausal women

บทนำ

โรคมะเร็งเป็นหนึ่งในสาเหตุการเสียชีวิตของพลเมืองโลกในอันดับต้นๆ เมื่อพิจารณาในรายละเอียด จะพบว่า มะเร็งเต้านมจัดเป็นมะเร็งที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด และพบมากเป็นอันดับหนึ่งในสตรี ทั้งในประเทศที่พัฒนา และกำลังพัฒนา¹ ปี พ.ศ. 2551 องค์การอนามัยโลกได้รายงานจำนวนผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ เพิ่มสูงถึง 12.7 ล้านคน ในจำนวนนี้เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมราว 1.38 ล้านคน (ร้อยละ 10.9) และมีผู้เสียชีวิตจากโรคมะเร็งโดยรวมราว 7.6 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ของสาเหตุการเสียชีวิตโดยรวม และร้อยละ 60 ของผู้เสียชีวิตจากมะเร็ง เกิดขึ้นในประเทศกำลังพัฒนา ในจำนวนนี้เป็นผู้เสียชีวิตจากมะเร็งเต้านมราว 458,000 คน²

สำหรับประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 มะเร็งโดยรวม จัดเป็นสาเหตุการตายอันดับหนึ่งของคนไทย รองลงมาคือ อุบัติเหตุ และโรคหัวใจ เมื่อพิจารณาในรายละเอียดพบว่ามะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งชนิดที่พบมากเป็นอันดับหนึ่งในสตรีไทย โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2548 มีรายงานอัตราป่วยมะเร็งเต้านมเท่ากับ 25.6 ต่อประชากรแสนคน และเพิ่มขึ้นเป็น 30.7 ต่อประชากรแสนคนในปี พ.ศ. 2551^{2,3} ในด้านความรุนแรงของโรค กระทรวงสาธารณสุขได้รายงานการเสียชีวิตของผู้ป่วยโรคมะเร็งเต้านมระหว่างปี พ.ศ. 2549-2558^{4,5} โดยวิเคราะห์จากใบมรณบัตรพบว่า แนวโน้มของการเสียชีวิตจากโรคมะเร็งเต้านมค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดัง Figure 1

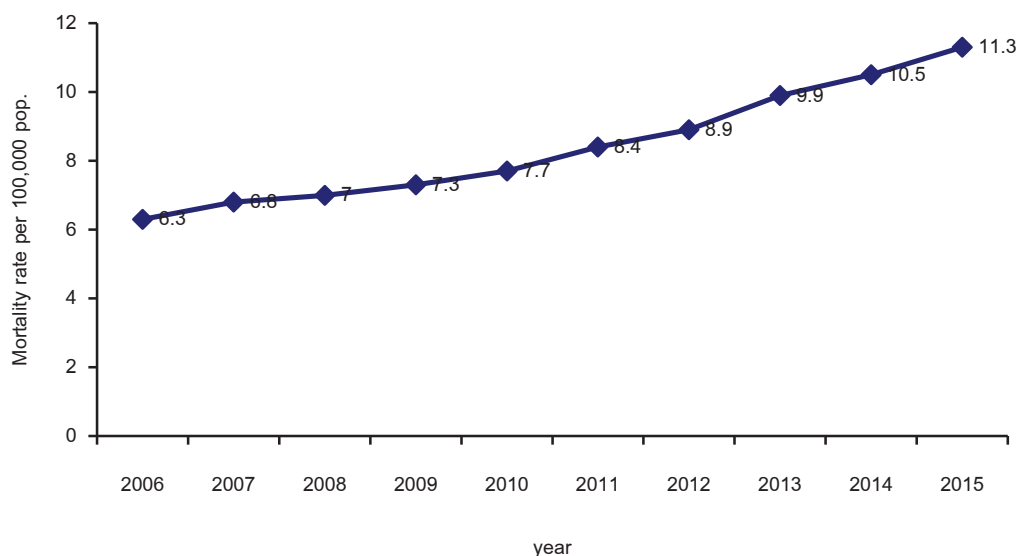


Figure 1 Mortality rates of female breast cancer, Thailand, 2006-2015. Source: Bureau of Policy and Strategy, Ministry of Public Health^{4,5}

ประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม เป็นปัจจัยหนึ่งทางพันธุกรรมที่มีการศึกษา โดยมีหลายงานวิจัยพบว่า ปัจจัยดังกล่าวจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคนี้อย่างมีนัยสำคัญ⁶⁻⁸ โดยพบมากในกลุ่มสตรีหลังหมดประจำเดือน สำหรับการศึกษาในประเทศไทย งานวิจัยที่ผ่านมาในกลุ่มสตรีก่อนหมดประจำเดือน ยังไม่มี

หลักฐานมากพอที่บ่งถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโรคมะเร็งเต้านมและประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีไทยก่อนหมดประจำเดือน

วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัย ใช้รูปแบบการศึกษาแบบเคสคอนโทรล (case-control) โดยควบคุมปัจจัยด้านอายุ (± 5 ปี) ภูมิสำเนา และระยะเวลาที่ได้รับการวินิจฉัย ระหว่าง cases และ controls ให้มีลักษณะเหมือนกัน

ประชากร ขนาดตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่าง ประชากรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผู้ป่วยสตรีมีประจำเดือนก่อนหมดประจำเดือนที่อายุน้อยกว่า 45 ปี (cases) และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านม โดยมีผลตรวจทางพยาธิวิทยา ยืนยันว่าเป็นมะเร็งเต้านม กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีวัยก่อนหมดประจำเดือนที่อายุน้อยกว่า 45 ปี ที่มาตรวจสุขภาพประจำปี ไม่ได้ป่วยเป็นมะเร็งทุกชนิด และได้รับการตรวจเต้านมยืนยันจากแพทย์เฉพาะทาง การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษาระบบเคสคอนโทรล โดยใช้สูตร⁹

$$n = \frac{\{Z_{\alpha/2} \sqrt{2P(1-P)} + Z_{\beta} \sqrt{P_1(1-P_1) + P_0(1-P_0)}\}^2}{(P_1 - P_0)^2}$$

โดยกำหนดให้ $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ที่ $\alpha = 0.05$ $Z_{\beta} = 0.84$ ที่ $\beta = 0.20$ P_0 = สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มควบคุม = 0.32^9 ; P_1 = สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มผู้ป่วย = 0.68^9 จากการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรดังกล่าว จะได้ขนาดตัวอย่าง cases และ controls กลุ่มละ 256 ราย สำหรับการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่าง cases และ controls กลุ่มละ 257 ราย รวมทั้งสิ้น 514 ราย

สถานที่ทำการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการวิจัย คือสถาบันมะเร็งแห่งชาติ เป็นผู้เข้ามารักษาและวินิจฉัย และมาตรวจสุขภาพประจำปี ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)

1. ยินดีให้ความร่วมมือ และให้ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตนเอง และครอบครัว ภายหลังได้รับการอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยแล้ว สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย และลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย
2. สามารถสื่อสารโดยไม่มีอุปสรรคทางการฟังหรือการได้ยิน หรือความบกพร่องทางการพูด หรือการได้ยิน
3. กลุ่มผู้ป่วย (cases) เป็นสตรีไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านม มีอายุน้อยกว่า 45 ปี มีรอบเดือน (menstrual cycle) และได้รับการวินิจฉัยยืนยันว่าเป็นมะเร็งเต้านมชนิดปฐมภูมิ

4. กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีไทยที่มาตรวจสุขภาพประจำปี มีอายุน้อยกว่า 45 ปี มีรอบเดือน และได้รับการวินิจฉัยยืนยันว่าไม่เป็นมะเร็งประเภทใดๆ และไม่เคยเป็นมะเร็งประเภทใดเลย

การพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัย

โครงการวิจัย ผ่านการพิจารณาเห็นชอบโดยสอดคล้องกับคำประกาศเฮลซิงกิ และได้รับอนุมัติให้ทำการวิจัย และเก็บข้อมูล จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (MUPH 2014-090) และคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยของสถาบันมะเร็งแห่งชาติ, กระทรวงสาธารณสุข (148/2556)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษา ประกอบด้วย

- 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

ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนการศึกษาดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถาม

2. ทำหนังสือถึงผู้อำนวยการสถาบันมะเร็งแห่งชาติที่จะทำการวิจัย เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ ซึ่งแจ้งรายละเอียดในการเก็บข้อมูล

3. หลังจากผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ให้ผู้วิจัยทำการวิจัยได้ ผู้วิจัยจะดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง พร้อมผู้ช่วยวิจัยที่ผ่านการฝึกอบรม

4. ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยแนะนำตนเองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ในการวิจัย สิทธิในการตัดสินใจเข้าร่วมหรือบอกเลิกในการตอบแบบสอบถาม การรักษาความลับของกลุ่มตัวอย่าง และขอความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม

5. เมื่อกลุ่มตัวอย่างให้ความร่วมมือ ผู้วิจัยจะแจกแบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างกรอกรายละเอียดด้วยตนเอง อธิบายถึงการตอบแบบสอบถามให้เข้าใจอย่างละเอียด ใช้เวลาประมาณ 30 นาที

6. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ในเดือนพฤศจิกายน 2556 - ธันวาคม 2557

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาตรวจสอบความเรียบร้อย ความสมบูรณ์ ความครบถ้วนของข้อมูล และประมวลผล วิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา บรรยาย

ลักษณะของประชากรที่ศึกษา และปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ ด้วยความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น สถิติเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ สถิติทดสอบไคสแควร์ (Chi-square test) และสถิติวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบคอนดิชันนอลลอจิสติก (Multivariable conditional logistic regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ของประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม กับการเกิดมะเร็งเต้านม โดยควบคุมปัจจัยด้านสุขภาพและอนามัยเจริญพันธุ์

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) นัถือพุทธ (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 (n=257)		Controls (n=257)		p-value ^a
	n	%	n	%	
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	

Table 1 General characteristics of cases and controls (continued)

Characteristics	Cases (n=257)		Controls (n=257)		p-value ^a
	n	%	n	%	
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	
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		

^aChi-square test

ปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ กับ มะเร็งเต้านม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างหยาบระหว่างปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ กับมะเร็งเต้านม พบว่า ประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม อายุ<14 ปีที่มีประจำเดือนครั้งแรก การมีบุตร (parity) เคยแท้งบุตร การทานยาคุมกำเนิด บุหรี่มือสอง การทานวิตามินรวม และดัชนีมวลกาย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับมะเร็งเต้านม ($p<0.05$) ดัง Table 2 และเมื่อทำการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติกแบบหลายตัวแปร (Multi-

variable conditional logistic regression analysis) โดยควบคุมปัจจัยประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม อายุ<14 ปีที่มีประจำเดือนครั้งแรก การมีบุตร เคยแท้งบุตร การทานยาคุมกำเนิด บุหรี่มือสอง การทานวิตามินรวม และค่าดัชนีมวลกาย พบว่า ปัจจัยด้านประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ยังคงมีความสัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม โดยกลุ่มที่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมเป็น 3.28 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่ไม่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ($p=0.002$) ดัง Table 3

Table 2 Univariable conditional logistic regression analysis of characteristics associated with breast cancer.

Characteristics	Cases		Controls		OR _c	95%CI	p-value ^a	
	n	%	n	%				
Family history of 1 st degree relatives diagnosed with BC								
No	211	82.1	249	96.9	1			
Yes	46	17.9	8	3.1	6.43	2.89-14.25	< 0.001*	
History of benign breast tumor								
No	209	81.3	235	91.3	1			
Yes	48	18.7	22	8.6	2.37	1.39-4.05	0.001*	
Age at menarche (yrs)								
≥14	83	32.3	140	54.5	1			
<14	174	67.7	117	45.5	2.54	1.74-3.72	< 0.001*	
Parity								
No	193	75.1	172	66.9	1			
Yes	64	24.9	85	33.1	0.68	0.46-1.00	0.051	
Miscarriage								
No	186	72.4	214	83.3	1			
Yes	71	27.6	43	16.7	1.93	1.24-3.00	0.003*	
Breastfeeding								
No	110	42.8	120	46.7	1			
Yes	147	57.2	137	53.3	1.05	0.92-1.18	0.487	
Oral contraceptive use								
No	90	35.0	162	63.0	1			
Yes	167	65.0	95	37.0	3.32	2.22-4.96	< 0.001*	
Active smoking								
No	248	96.5	251	97.7	1			
Yes	9	3.5	6	2.3	1.50	0.53-4.21	0.437	
Passive smoking								
No	153	59.5	198	77.1	1			
Yes	104	40.5	59	22.9	2.22	1.46-3.37	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	0.26	0.16-0.42	< 0.001*	
Body mass index (kg/m ²)								
18.5-22.9	89	34.7	122	47.4	1			
23.0-24.9	44	17.1	54	21.0	1.18	0.71-1.97	0.531	
25.0-29.9	88	34.2	41	16.0	3.07	1.87-5.05	< 0.001*	
≥30.0	26	10.1	10	3.9	3.68	1.64-8.25	< 0.001*	
<18.5	10	3.9	30	11.7	0.44	0.20-0.95	0.036	

^aUnivariate analysis performed on 257 matched pairs, BC=Breast cancer, OR_c = crude odds ratio, CI= confidence interval

*Significant at p-value < 0.05

1st degree relatives mean mother, father, sister, brother, daughter and son

History of benign breast tumor means subject who reported benign breast tumor

Age at menarche means age at the first menstrual cycle, or first menstrual bleeding, in female humans

Parity means the number of times a female is or has been pregnant and carried the pregnancies to a viable gestational age

Miscarriage means loss of an embryo or fetus before the 20th week of pregnancy

Table 3 Multivariable conditional logistic regression analysis of family history of breast cancer associated with breast cancer patients.

Variables	OR _c	95%CI	p-value	OR _{adj}	95%CI	LRT p-value
Family history of 1 st degree relatives diagnosed with BC						
No	1			1		
Yes	6.43	2.89-14.25	<0.001	3.28	1.14-9.48	0.002

OR_c = crude odds ratio, BC=breast cancer, CI=confidence interval, LRT= likelihood ratio test

OR_{adj} = adjusted odds ratio for history of benign breast tumor, age at menarche, miscarriage, oral contraceptive use, passive smoking, multivitamin use and body mass index

ข้อมูลผู้ป่วยมะเร็งเต้านม

Cases เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่ได้รับการตรวจวินิจฉัยยืนยันทางห้องปฏิบัติการ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557 ส่วนใหญ่ มีน้ำหนัก 55-64 กก. (ร้อยละ 40.5) และมีส่วนสูง ระหว่าง 150-159 ซม. (ร้อยละ 65.7) เมื่อพิจารณาขนาดรูปร่างโดยใช้ค่าดัชนีมวลกายพบว่า ส่วนใหญ่มีภาวะน้ำหนักเกิน และภาวะอ้วน (ร้อยละ 61.4)

ตำแหน่งที่พบมะเร็ง ส่วนใหญ่พบทั้งสองด้าน (ร้อยละ 52.2)

ชนิดของมะเร็งเต้านมที่พบมาก ได้แก่ IDC-NOS (ร้อยละ 91.8) ระยะดำเนินโรคลงอยู่ที่ระยะที่ 2 (ร้อยละ 45.5) ในกลุ่มผู้ป่วยที่มีประวัติครอบครัวที่เป็นมะเร็งเต้านมเฉพาะญาติสายตรง ส่วนมากมาจากฝ่ายมารดา (ร้อยละ 63) รองลงมาคือ พี่สาว/น้องสาว (ร้อยละ 28.3) ดัง Table 4

Table 4 Characteristics of studied cases.

Variables	Cases (n=257)	
	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 studied cases. (continued)

Variables	Cases (n=257)	
	No.	%
Types		
Invasive ductal carcinoma, not otherwise specified (IDC-NOS)	236	91.8
Ductal carcinoma in situ (DCIS)	4	1.5
Others	17	6.7
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
Family history of 1st degree relatives diagnosed with BC (n= 46)		
Mother	29	63.0
Father	1	2.2
Sister	13	28.3
Brother	3	6.5

Tumor stage means the stage of a malignant tumor according to the TNM Classification of Malignant Tumors (TNM)

วิจารณ์และสรุปผล

ประชากรที่ศึกษา เป็นสตรีไทยที่มารับบริการที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ส่วนใหญ่มีอายุ 40-44 ปี หรือราวร้อยละ 60 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านประชากร พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายคลึงกันทั้งด้านอายุ สถานภาพสมรส และภูมิลาเนา เป็นต้น เมื่อควบคุมปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ที่สัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม พบว่า กลุ่มที่มีประวัติครอบครัวสายตรงที่เป็นมะเร็งเต้านมเสี่ยงที่จะเกิดมะเร็งเต้านมสูง ($OR_{adj} = 3.28$) สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา^{6-8,11-13} แต่ปัจจัยดังกล่าวไม่ส่งผลต่อความรุนแรงของมะเร็งเต้านมแต่อย่างใด¹⁴ ในงานวิจัยนี้ ผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งเต้านม มีประวัติครอบครัวสายตรงที่เป็นมะเร็งเต้านมร้อยละ 17.9 และเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดเฉพาะผู้ป่วยที่มีประวัติครอบครัวที่เป็นมะเร็งเต้านม พบว่า ส่วนมากมารดาเป็นมะเร็งเต้านม (ร้อยละ 63) บางงานวิจัยแสดงถึงปัจจัยด้านประวัติครอบครัวสายตรงที่เป็นมะเร็งเต้านม (2^{nd} degree family history of breast cancer) โดยพบว่า ญาติสายตรงด้านมารดาเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมสูงกว่าญาติสายตรงด้านบิดา¹⁵ ฉะนั้น การใช้ประวัติครอบครัวสายตรงที่เป็นมะเร็งเต้านม จึงเป็นปัจจัยเสี่ยง

ที่มีขนาดความสัมพันธ์สูงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม อย่างไรก็ตาม บางงานวิจัยเสนอว่า การใช้ประวัติครอบครัวที่เป็นมะเร็งเต้านมเพียงปัจจัยเดียวในการประเมินความเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านม อาจไม่เหมาะสม¹⁶ ควรใช้ร่วมกับเครื่องมือประเมินความเสี่ยงต่อมะเร็งเต้านม ซึ่งปัจจุบัน มีเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ประเมิน ได้แก่ the Gail Model, the Claus Model, the Tyree-Cuzick Model และ the BRCAPRO Model เป็นต้น¹⁷⁻¹⁹ นอกจากนี้ การให้คำปรึกษาทางด้านพันธุกรรม (Genetic counseling)^{20,21} ในกลุ่มสตรีที่มีประวัติทั้งญาติสายตรงและญาติสายรองที่เป็นมะเร็งเต้านม จะเพิ่มความเข้าใจเรื่องมะเร็งเต้านมกับปัจจัยด้านพันธุกรรมว่าเกี่ยวข้องกันอย่างไร ทำให้เกิดความตระหนัก และใส่ใจในการดูแลตนเองเพิ่มขึ้น ในด้านการดูแลตนเอง สิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้าม คือ การตรวจเต้านมด้วยตนเอง (Breast self examination) ฉะนั้นสตรีจึงต้องได้รับการฝึกฝนในการตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้อง²²สำหรับประเทศไทย ได้ส่งเสริมและรณรงค์ให้สตรีที่มีอายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไป สามารถตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้องอย่างน้อยทุกเดือน โดยให้ทราบถึงประโยชน์และข้อจำกัดของวิธีดังกล่าว ส่งเสริมการ

ให้หมบุตรหลังคลอด 6 เดือนอย่างต่อเนื่อง ลดการบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ และลดภาวะอ้วน เป็นต้น² สำหรับสตรีที่มีอายุ 40 ปีขึ้นไป ควรได้รับการตรวจแมมโมแกรมเป็นประจำทุกปี ปีละ 1 ครั้ง^{22,23}

ฉะนั้น โดยสรุป จึงควรมีมาตรการการเฝ้าระวังโรคมะเร็งเต้านม^{24,25} โดยเฉพาะในกลุ่มสตรีที่มีประวัติครอบครัวเป็นมะเร็งเต้านม ดำเนินการให้ความรู้ในการตรวจเต้านมด้วยตนเองอย่างถูกต้อง ให้ความรู้ถึงประโยชน์ และข้อจำกัดของวิธีดังกล่าว รวมถึงรณรงค์ส่งเสริมปัจจัยป้องกัน ได้แก่ การออกกำลังกายที่เหมาะสม การบริโภคอาหารที่ส่งเสริมสุขภาพ (healthy diet) การควบคุมน้ำหนักให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ การหลีกเลี่ยงปัจจัยเสี่ยงที่ป้องกันได้ และวิธีการเบื้องต้นในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ (healthy lifestyle) ในกลุ่มเสี่ยง² 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. คณะกรรมการจัดทำแผนการป้องกันและควบคุมโรค มะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แผนการป้องกันและควบคุมโรค มะเร็งแห่งชาติ พ.ศ. 2556-2560. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด; 2556.
3. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. การสาธารณสุขไทย 2551-2553. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2554.
4. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2553. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2553.
5. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. สถิติสาธารณสุข พ.ศ. 2558. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ สามเจริญพาณิชย์(กรุงเทพ); 2559.
6. Toss A, Grandi G, Cagnacci A, Marcheselli L, Pavesi S, De Matteis E, et al. The impact of reproductive life on breast cancer risk in women with family history or BRCA mutation. Oncotarget 2017; 8(6):9144-54.
7. Sackey H, Hui M, Czene K, Verkooijen H, Edgren G, Frisell J, et al. The impact of in situ breast cancer and family history on risk of subsequent breast cancer events and mortality - a population-based study from Sweden. Breast Cancer Res 2016; 18(1):105.
8. Chikman B, Davidson T, Kais H, Jeroukhimov I, Leshno A, Sandbank J, et al. Is there an association between invasive lobular carcinoma of the breast and a family history of gastric cancer? Familial cancer 2016;15(1):41-7.
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. Bethea TN, Rosenberg L, Castro-Webb N, Lunetta KL, Sucheston-Campbell LE, Ruiz-Narvaez EA, et al. Family History of Cancer in Relation to Breast Cancer Subtypes in African American Women. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev 2016;25(2): 366-73.
12. Maskarinec G, Nakamura KL, Woolcott CG, Conroy SM, Byrne C, Nagata C, et al. Mammographic density and breast cancer risk by family history in women of white and Asian ancestry. Cancer Causes Control 2015;26(4):621-6.
13. Reinier KS, Vacek PM, Geller BM. Risk factors for breast carcinoma in situ versus invasive breast cancer in a prospective study of pre- and post-menopausal women. Breast Cancer Res Treat 2007;103(3):343-8.
14. Melvin JC, Wulaningsih W, Hana Z, Purushotham AD, Pinder SE, Fentiman I, et al. Family history of breast cancer and its association with disease severity and mortality. Cancer medicine 2016;5(5):942-9.
15. Ricks-Santi LJ, Thompson N, Ewing A, Harrison B, Higginbotham K, Spencer C, et al. Predictors of Self-Reported Family Health History of Breast Cancer. J

- Immigr Minor Health 2016;18(5):1175-82.
16. Solomon BL, Whitman T, Wood ME. Contribution of extended family history in assessment of risk for breast and colon cancer. *BMC family practice* 2016;17(1):126.
17. National Cancer Institute: Breast Cancer Risk Assessment Tool: an interactive tool for measuring the risk of invasive breast cancer. Available from: URL: <https://www.cancer.gov/bcrisktool> Accessed January 16,2017.
18. 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.
19. 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.
20. Godino L, Razzaboni E, Bianconi M, Turchetti D. Impact of Genetic Counseling in Women with a Family History of Breast Cancer in Italy. *Journal of genetic counseling* 2016;25(2):405-11.
21. Andersen MR, Thorpe J, Buist DS, Beatty JD, Watabayashi K, Hanson N, et al. Cancer Risk Awareness and Concern among Women with a Family History of Breast or Ovarian Cancer. *Behav Med* 2016;42(1): 18-28.
22. 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.
23. American College of Radiology. ACR practice parameter for the performance of screening and diagnostic mammography: revised 2013. Available from: URL: <https://www.acr.org/~media/3484ca30845348359ba4684779d492d.pdf> Accessed April 27,2017.
24. Heisey R, Carroll JC. Identification and management of women with a family history of breast cancer: Practical guide for clinicians. *Canadian family physician Medecin de famille canadien* 2016;62(10):799-803.
25. Schwab FD, Kilic N, Huang DJ, Schmid SM, Vetter M, Schotzau A, et al. Personal or first-degree family breast cancer history: which has higher impact on tumor detection and tumor size in breast cancer. *Arch Gynecol Obstet* 2015;291(6):1387-94.

เปรียบเทียบประสิทธิผลของการอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน โดยใช้วิดีโอ และการอบรมแบบดั้งเดิมในกลุ่มนักเรียนโรงเรียนมัธยม จังหวัดมหาสารคาม

Comparison of the effectiveness of CPR training between the brief VDO training and traditional training in the group of secondary school student in Mahasarakham province

นันทวรรณ ทิพยเนตร¹, เกียรติศักดิ์ ชัยพรหม², วชิร ชนะบุตร³

Nantawan Tippayanate¹, Kiattisak Chaiyaprom², Wachira Chanabutr³

Received: 30 October 2017; Accepted: 22 January 2018

บทคัดย่อ

ภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล มีผลต่ออัตราการเสียชีวิตค่อนข้างสูง พบว่า มีเพียงร้อยละ 30 ที่ได้รับการช่วยเหลือโดยผู้ที่อาจช่วยได้ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยพบว่า มีอัตราการรอดชีวิตน้อยกว่าร้อยละ 10 การศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาสมรรถนะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน และเพื่อเพิ่มจำนวนผู้อาจช่วยได้ให้มากขึ้น โดยการเปรียบเทียบประสิทธิผลของรูปแบบการอบรมโดยใช้วิดีโอ และแบบดั้งเดิม วิธีการศึกษาเป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi-experimental research) ในแบบ non randomized control-group pretest- post test design ในกลุ่มนักเรียนมัธยมศึกษา จำนวน 190 คน ผลการศึกษา พบว่า ระดับความรู้ของอาสาสมัครเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในกลุ่มที่อบรมโดยวิดีโอและกลุ่มที่อบรมแบบดั้งเดิม อย่างไรก็ตาม พบว่าการอบรมโดยใช้วิดีโอ ไม่สามารถเพิ่มสมรรถนะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน เพื่อผ่านตามเกณฑ์ร้อยละ 60 ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาสมรรถนะการช่วยฟื้นคืนชีพในกลุ่มนักเรียนมัธยมอย่างยั่งยืน เมื่อใช้วิดีโอช่วยในการอบรมแล้วควรมีการสาธิตและให้ผู้อบรมได้ฝึกปฏิบัติตาม และทดสอบทักษะปฏิบัติเพื่อให้ผู้อบรมสามารถปฏิบัติการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: ภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล การช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน การอบรมโดยวิดีโอ

Abstract

The number of the out of hospital cardiac arrest have been increasing. It was shown that only 30 percent of emergency cardiac arrests were resuscitated by the bystanders at scene and survival rate was 10 percent overall. This study aimed to increase the number of students with the knowledge competency and skill competency of cardio pulmonary resuscitation (CPR) to intervene at scene. The effectiveness of CPR training using brief VDO training and traditional training was compared. The quasi experiment with non randomized control-group pretest- post test design were applied in a group of 190 students

¹ อาจารย์, สาขาปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

² อาจารย์, สาขาปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000 tm.paramedic.msu@gmail.com
Nantawan.t@msu.ac.th

³ อาจารย์, สาขาปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์, คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000 wachira.ch@msu.ac.th

¹ lecturer, Field of study Emergency Medical Operation, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Mahasarakham 44000, Thailand.

² lecturer, Field of study Emergency Medical Operation, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Mahasarakham 44000, Thailand.

³ lecturer, Field of study Emergency Medical Operation, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Muang District, Mahasarakham 44000, Thailand

Results: the level of knowledge increased in both groups significantly, though the group which had been trained under brief VDO could not pass the skill competency at a level of more than 60 percent.

Conclusion: For sustained basic competency in CPR, secondary school students required practice of basic CPR after VDO training and post test.

Keywords: out of hospital cardiac arrest, basic cardio pulmonary resuscitation, brief VDO training

บทนำ

ภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล เป็นปัญหาสุขภาพชุมชนที่สำคัญมาก ในประเทศอังกฤษพบว่ามีผู้ที่เกิดภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาลถึง 300,000 คน ต่อปี¹ ส่วนในกลุ่มประเทศยุโรปและอเมริกาเหนือ มีจำนวนถึง 700,000 คนต่อปี^{2,3} การช่วยฟื้นคืนชีพโดยการกดนวดหัวใจเป็นการช่วยเหลือเพียงอย่างเดียวที่กระทำโดยผู้พบเห็นเหตุการณ์ถือเป็นการช่วยเหลือที่มีประสิทธิผลที่สุดในการช่วยฟื้นคืนชีพนอกโรงพยาบาล^{4,5} พบว่าอัตราการช่วยฟื้นคืนชีพนอกโรงพยาบาลมีเพียงร้อยละ 30 ของผู้ที่เกิดภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล อย่างไรก็ตาม อัตรารอดชีวิตมีเพียงร้อยละ 10 ในกลุ่มที่ได้รับการช่วยเหลือเท่านั้น^{6,3} มีหลายประเทศให้ความสำคัญกับการเพิ่มอัตราการการช่วยฟื้นคืนชีพนอกโรงพยาบาลในกลุ่มประชาชนทั่วไปโดยวิธี 1-กดนวดหัวใจเท่านั้นในกลุ่มผู้พบเหตุ^{5,7} 2-การสั่งการที่ช่วยให้สามารถทำการช่วยฟื้นคืนชีพที่จุดเกิดเหตุก่อนที่มกุชีพไปถึง⁸ 3-โปรแกรมที่เพิ่มประสิทธิภาพการช่วยฟื้นคืนชีพในกลุ่มเสี่ยงในชุมชน⁶

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลภาวะหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล อย่างไรก็ตามจากรายงานศูนย์เฝ้าระวังรพ.ราชวิถีในกลุ่มผู้ป่วย 73 ราย พบว่ามีอัตราการรอดชีวิตเพียงร้อยละ 7.7⁹ ข้อมูลจากรพ.ธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติมีอัตราการรอดชีวิตร้อยละ 5.6¹⁰ และจากรพ.ศรีนครินทร์ พบอัตราการรอดชีวิตในกลุ่มผู้ป่วยหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาลคิดเป็นร้อยละ 8.2¹¹

มีหลายพื้นที่ยืนยันว่ายังคงขาดการฝึกอบรมในให้ครอบครัว และมิข้อเสนอแนะว่าควรขยายพื้นที่จัดโปรแกรมการอบรมในนักเรียนมัธยมให้มากขึ้น¹² จากการศึกษาของ Diana M. et al. (2011)¹³ พบว่าคนที่เคยได้รับการฝึกอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน มีโอกาสเข้าช่วยฟื้นคืนชีพมากกว่ากลุ่มที่ไม่เคยอบรม และควรจัดให้มีการเรียนการสอนเรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพในชั้นเรียน เพื่อสอนการปฐมพยาบาลและการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานให้นักเรียนในโรงเรียนเสมือนเป็นการเตรียมคนในองค์กรสถานศึกษาให้มีความพร้อมรับภาวะฉุกเฉินทางสุขภาพในโอกาสต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของการใช้วิดีโอ และการอบรมแบบดั้งเดิมในโรงเรียน

ขอบเขตงานวิจัย

เนื้อหาครอบคลุมประเด็นการเปรียบเทียบประสิทธิผลของการอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน ในด้านความรู้ความเข้าใจเรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานจำนวน 10 ข้อคำถาม และวัดทักษะในการตอบสนองต่อสถานการณ์จำลอง และต้องทำการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานซึ่งตามมาตรฐานการวัดทักษะ มีรายการที่ต้องปฏิบัติ 20 รายการซึ่งควรต้องผ่านเกณฑ์ร้อยละ 60 (คือทำได้ถูกต้อง 15 รายการขึ้นไป) ทั้งนี้เป็นไปตามเกณฑ์การสอบปฏิบัติทางคลินิก (OSCE: Objective Structured Clinical Examination)¹⁴ ซึ่งทำการวัดผลทั้งความรู้และทักษะภายหลังเสร็จการอบรมทันที โดยเปรียบเทียบจากการจัดอบรมทั้งสองแบบ ดังนี้ 1-การอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานรูปแบบเดิม (traditional CPR training) ใช้เวลา 3 ชั่วโมง มีการนำเสนอ power point ร่วมกับการสาธิตทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน 2-การอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานโดยใช้วิดีโอ (brief VDO CPR training) ใช้เวลาเพียง 10 นาที แล้วทั้งสองกลุ่มจะได้รับความรู้เรื่องการปฐมพยาบาลเป็นลำดับต่อมา เช่นเดียวกันทั้งสองกลุ่ม

กลุ่มประชากร เป็นตัวแทนนักเรียนมัธยมจากโรงเรียนประเภท สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษามัธยมศึกษา (สพม.) และองค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.) ที่กำลังศึกษาในโรงเรียน ทั้งนี้ตัวนักเรียนและผู้ปกครองมีความสมัครใจในการให้เข้าร่วมโครงการอบรม

พื้นที่การศึกษา เป็นโรงเรียนมัธยมศึกษาในพื้นที่เขตจังหวัดมหาสารคามซึ่งนักเรียนยังไม่เคยได้รับการอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพมาก่อน ทั้งอำเภอในเขตเมือง และนอกเขตเมือง โดยมีระยะเวลาดำเนินการวิจัย เริ่มตั้งแต่ พฤศจิกายน 2559 ถึง กันยายน 2560

นิยามศัพท์

การช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน หมายถึง การช่วยเหลือผู้ที่หยุดหายใจหรือหัวใจหยุดเต้น ให้มีการหายใจหรือการ

ไหลเวียนกลับคืนสู่สภาพเดิม เพื่อส่งเลือดไปเลี้ยงสมองและอวัยวะสำคัญของร่างกาย เพื่อป้องกันเนื้อเยื่อได้รับอันตรายจากการขาดออกซิเจนไปเลี้ยงอย่างถาวร

ภาวะหัวใจหยุดเต้นเฉียบพลัน หมายถึง ภาวะที่หัวใจไม่สามารถส่งเลือดไปเลี้ยงอวัยวะ ส่วนต่างๆ ของร่างกายอย่างทันที สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากมีโรคหัวใจอยู่เดิมโดยที่เจ้าของอาจไม่ทราบ หรือไม่เคยตรวจมาก่อน และถ้าในกรณีที่ผู้ป่วยเสียชีวิตภายในหนึ่งชั่วโมงหลังมีอาการ เราจะเรียกภาวะนี้ว่า “Sudden cardiac death” ซึ่งภาวะนี้เกิดได้กับใครก็ได้โดยไม่จำเป็นต้องเป็นโรคหัวใจหรือมีโรคประจำตัวอื่นใดมาก่อน

bystander CPR¹⁵ หมายถึง ประชาชนทั่วไปที่พบเห็นผู้ป่วยหมดสติ หรือมีภาวะหัวใจหยุดเต้นเกิดขึ้น ซึ่งถือเป็นผู้ที่อาจช่วยได้ในการทำการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน ตามคำแนะนำของผู้รายงานปฏิบัติการฉุกเฉิน

traditional CPR training หมายถึง การอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานแบบดั้งเดิม โดยที่มหาวิทยาลัยที่มีองค์ความรู้และประสบการณ์ในทีมสหสาขาวิชาชีพที่ดูแลผู้ป่วยฉุกเฉินมีการใช้สื่อ power point สไลด์ และ สไลด์ย้อนกลับเพื่อประเมินทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน ตามด้วยเรื่องการปฐมพยาบาลโดยใช้เวลาทั้งสิ้น 3 ชั่วโมง

brief VDO training¹³ คือ การให้ความรู้โดยใช้วิดีโอในการอบรมเพียงอย่างเดียว แล้วทดสอบโดยให้ปฏิบัติการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน ซึ่งใช้เวลารวม 30 นาที

การดำเนินการวิจัย

ประชากร

เป็นตัวแทนนักเรียนมัธยมจากโรงเรียนประเภท สพม. อบจ. ที่กำลังศึกษาในโรงเรียน ทั้งนี้ผู้บริหารโรงเรียนตัวแทนนักเรียนและผู้ปกครองมีความสมัครใจในการเข้าร่วมโครงการอบรม

กลุ่มตัวอย่างและสุ่มตัวอย่าง

สูตรคำนวณขนาดตัวอย่าง

$$n = \frac{Z^2 P(1-P)}{e^2}$$

เมื่อ $Z\alpha$ คือ ค่าคะแนนมาตรฐานเมื่อ

กำหนดให้ระดับนัยสำคัญเท่ากับ α เท่ากับ 1.96

P คือ ค่าสัดส่วนที่เราสนใจจะประเมินโดยปกติ คือ ค่า จำนวนตัวอย่างที่สนใจ/จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา

$1-\alpha$ คือ ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดให้ เช่น 95%, 99%

เนื่องจากมีผลการศึกษาในต่างประเทศที่พบว่า ผู้ป่วยได้รับการช่วยฟื้นคืนชีพโดยผู้พบเห็นเหตุการณ์เพียง 30%¹ ดังนั้น จึงแทนค่า p ด้วย 0.3 และ $q=1-p$ และ ค่า error หรือค่า e ผู้วิจัยยอมรับได้ ไม่เกิน ร้อยละ 8 จึงแทนค่าด้วย 0.08

$$\text{แทนค่าในสูตร } n = \frac{[(1.96)(0.3)(1-0.3)]}{0.082}$$

$n=126.05$ หรือประมาณ 150 คน

การเก็บรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้: แบบบันทึกข้อมูล

ผู้วิจัยใช้แบบประเมิน 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าร่วมวิจัย

ส่วนที่ 2 แบบวัดความรู้เรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพ จำนวน 10 ข้อคำถาม

ส่วนที่ 3 แบบประเมินทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน จำนวน 20 รายการ

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1- ในขั้นตอนการสุ่ม ทำการสุ่มใน 3 อำเภอเพื่อเข้าร่วมการอบรม และแต่ละอำเภอทำการสุ่มโรงเรียนจากทั้ง สพม. และอบจ. โดยแต่ละโรงเรียน แบ่งตัวแทนนักเรียนเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 30 คน เพื่อรับการฝึกอบรมแบบ brief VDO training และอบรมแบบ traditional training ซึ่งอาจารย์ผู้รับผิดชอบเป็นผู้จัดสรรนักเรียนให้ โดยเรียงตามเลขที่แล้วจัดเลขที่ มากกลุ่มที่ 1 รับการอบรมโดยวิดีโอ และเลขคี่มากกลุ่มที่ 2 รับการอบรมโดยแบบดั้งเดิม แล้วแยกห้องไปฝึกในแต่ละกลุ่มในช่วงเวลาเดียวกัน

2- ในขั้นตอนการอบรม ทีมวิทยากรซึ่งเป็นคณาจารย์สาขาปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ จำนวน 5 คนและนิสิตชั้นปีที่ 3 ในสาขาวิชาเดียวกัน จำนวน 10 คน เดินทางไปยังหอประชุมโรงเรียนที่เป็นตัวแทนที่จัดการฝึกอบรมในแต่ละอำเภอ และดำเนินการ pre-test ก่อน และ post test ภายหลังการอบรม แล้วจึงจัดการอบรมตามแนวทางที่วางไว้ในแต่ละโรงเรียนโดยมี ทั้ง 2 กลุ่มกิจกรรมคือใช้วิดีโอ และอบรมแบบดั้งเดิม ในเวลาเดียวกัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา Logistic regression, T Test

ระยะเวลาการวิจัย

ตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2560 ถึง วันที่ 31 กันยายน 2560

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

อาสาสมัครเป็นนักเรียนมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 รวม
ทั้งสิ้น 187 คนเป็นเพศชาย 71 คน คิดเป็นร้อยละ 38 โดยเป็น
ตัวแทนจาก อำเภอเมืองได้แก่โรงเรียนมหาชัยพิทยาคาร

จำนวน 36 คน และโรงเรียนแก่งวิทย์ยานุกูล จำนวน 50คน
อำเภอแกลงได้แก่ โรงเรียน แกลง จำนวน 50 คน อำเภอ
นาคนูนได้แก่ โรงเรียนนาคนูนประชาสรรค์ จำนวน 51 คน
ดังแสดงใน Table ที่ 1 และ 2

Table 1 Number of participants classified by school

School name	Number	percent
Nadoon prachsarn	51	27.3
Kaadam	50	26.7
Kerngwittayanukul	50	26.7
Mahachaipittayakarn	36	19.3
Total	187	100.0

Table 2 Number of participants classified by grade

Grade	Number	percent
7	3	1.6
8	12	6.4
9	23	12.3
10	48	25.7
11	60	32.1
12	41	21.9
Total	187	100.0

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนวัดความรู้ก่อนอบรม (pre
test) ในอาสาสมัครทุกโรงเรียน โดยวิเคราะห์ด้วย chi square
พบว่า มีเพียง 93 คน (ร้อยละ 49.7) ที่ทำคะแนนได้ตั้งแต่

ร้อยละ 50 ขึ้นไป ซึ่งเป็นคะแนน pre test ที่มีความแตกต่าง
ในแต่ละโรงเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value < 0.05)
ดังแสดงใน Table ที่ 3

Table 3 Total score of knowledge before both type of training

School	Total score before training (max score=10)									p value
	1	2	3	4	5	6	7	8	Sum	
Nadoonprachasarn	0	5	8	14	10	13	0	1	51	0.035
Kaadam	2	5	7	9	15	9	2	1	50	
Kerngwittayanukul	1	3	14	10	17	5	0	0	50	
Mahachaipittayakarn	0	4	5	8	8	4	6	1	36	
Total	3	17	34	41	50	31	8	3	187	

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนวัดความรู้หลังการอบรมแบบ
วิดีโอ (brief VDO training) ในอาสาสมัครทุกโรงเรียน โดย
วิเคราะห์ด้วย chi square พบว่า มี 132 คน (ร้อยละ 86.8) ที่

ทำคะแนนได้ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปซึ่งเป็นค่าคะแนน post
test VDO ที่มีความแตกต่างในแต่ละโรงเรียน แต่ไม่มีนัยสำคัญ
ทางสถิติ (p value =0.087) ดังแสดงใน Table ที่ 4

Table 4 Total score of knowledge after brief VDO training

School	Total score after brief VDO training (max score=10)											p	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	sum	value	
Nadoonprachasarn	0	0	4	2	5	6	14	8	0	1	40	0.087	
Kaadam	0	0	2	3	4	9	11	13	0	0	42		
Kerngwittayanukul	0	1	0	4	8	5	9	8	0	5	40		
Mahachaipittayakarn	0	1	2	1	1	4	6	8	0	7	30		
Total	0	2	8	10	18	24	40	37	0	13	152		

เมื่อพิจารณาค่าคะแนนวัดความรู้หลังการอบรมแบบดั้งเดิม (traditional training) ในอาสาสมัครทุกโรงเรียน โดยวิเคราะห์ด้วย chi square พบว่า มี 115 คน (ร้อยละ 82.1)

ที่ทำคะแนนได้ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป ซึ่งเป็นค่าคะแนน post test traditional ที่มีความแตกต่างกันแต่ละโรงเรียน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value < 0.05) ดังแสดงใน Table ที่ 5

Table 5 Total score of knowledge after traditional training

School	Total score after traditional training (max score=10)											p	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	sum	value	
Nadoonprachasarn	0	3	1	0	2	4	12	9	0	6	37	0.011	
Kaadam	0	0	0	3	1	7	8	13	0	2	34		
Kerngwittayanukul	3	1	1	3	3	2	6	9	0	17	45		
Mahachaipittayakarn	1	0	1	1	1	0	1	8	0	11	24		
Total	4	4	3	7	7	13	27	39	0	36	140		

เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการอบรมด้วย brief VDO โดยประเมินความรู้ ก่อนและหลังการอบรม พบว่าค่าเฉลี่ยความรู้ก่อนการอบรมเท่ากับ 4.4 (เต็ม 10 คะแนน) และหลัง

อบรมด้วย brief VDO มีค่าคะแนนเพิ่มขึ้นเป็น 6.3 คะแนน โดยค่าคะแนนที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value< 0.001) ดังแสดงใน Table ที่ 6

Table 6 T-test before and after brief VDO training

Before/after training	T	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the difference	
					Lower	Upper
Before	41.044	186	<0.001	4.37968	4.1692	4.5902
After	45.049	151	<0.001	6.63158	6.3407	6.9224

เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการอบรมด้วย traditional training โดยประเมินความรู้ ก่อนและหลังการอบรม พบว่าค่าเฉลี่ยความรู้ก่อนการอบรมเท่ากับ 4.4 (เต็ม 10 คะแนน) และหลังอบรมด้วย traditional training มีค่าคะแนนเพิ่มขึ้น

เป็น 7.3 คะแนน โดยค่าคะแนนที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value< 0.001) ดังแสดงใน Table ที่ 7

Table 7 T-test before and after traditional training

Before/after training	T	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the difference	
					Lower	Upper
Before	41.044	186	<0.001	4.37968	4.1692	4.5902
After	36.954	139	<0.001	7.30000	6.9094	7.6906

เมื่อวิเคราะห์ทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน โดยให้เกณฑ์ผ่านที่คะแนนร้อยละ 60 คือ เต็ม 20 คะแนนต้องผ่าน 15 คะแนนขึ้นไป พบว่าในกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบ traditional training มีผลสอบทักษะผ่าน 56 คน (ร้อยละ 62.9)

ในขณะที่กลุ่มฝึก brief VDO มีผลสอบทักษะผ่านเพียง 40 คน (ร้อยละ 47.6) ซึ่งค่าคะแนนที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.05) ดังแสดงใน Table ที่ 8

Table 8 Comparison of the effectiveness of basic CPR training between brief VDO training and traditional training

Type of training	Score of practice (max score=20)		sum	p value
	<15	>=15		
Brief VDO training	44	40	84	0.043
Traditional training	33	56	89	
Total	77	96	173	

อภิปรายผล

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลการอบรม แบบ Brief VDO training กับแบบ traditional training โดยวัดความรู้ที่ได้รับ พบว่าการอบรมทั้งสองแบบ มีค่าคะแนนความรู้ post test เพิ่มขึ้น แม้ค่าคะแนนความรู้หลังอบรมโดย brief VDO training ที่เพิ่มขึ้นนั้นแตกต่างโดยไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อวัดประสิทธิผลของการอบรมโดยวิเคราะห์คะแนนทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน พบว่ากลุ่มที่อบรมโดย brief VDO training สามารถปฏิบัติผ่านตามเกณฑ์ร้อยละ 60 ได้น้อยกว่ากลุ่มที่รับการอบรมโดย traditional training อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลการศึกษาของ Ming-Ju Hsieh และคณะ¹⁶ ซึ่งทำ systematic review ในปี ค.ศ.2016 เพื่อศึกษาประสิทธิผลของการจัดการให้ความรู้เรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐาน จากหลากหลายผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยทำในกลุ่มผู้ป่วยและญาติ กลุ่มนักเรียน/นักศึกษา และประชาชนทั่วไป ด้วยวิธีการอบรมที่หลากหลาย เช่น การใช้วีดิทัศน์ การใช้ดีวีดี การใช้ online learning การใช้คู่มือการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานด้วยตนเอง และการอบรมแบบดั้งเดิมเป็นต้น ทุกผลงานวิจัยไม่ได้วัดถึงประสิทธิผลทางคลินิกในสถานการณ์ของการช่วยฟื้นคืนชีพจริงได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการติดตามวัดผลใน

สถานการณ์จริง และเมื่อวัดประสิทธิผลจากทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพ พบว่าผลการศึกษาจากแต่ละวิธีมีความแตกต่างกันไป แต่อย่างไรก็ตามจากผลการวิจัยอย่างเป็นระบบนี้ยืนยันว่าเพื่อลดต้นทุนและทรัพยากรในการจัดการอบรมการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานอาจใช้ทางเลือกอื่นที่เหมาะสมกว่าการอบรมแบบดั้งเดิม

สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อวิเคราะห์ทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพ โดยให้เกณฑ์ผ่านที่คะแนนร้อยละ 60 คือ 15 คะแนนขึ้นไป พบว่าในกลุ่มที่ได้รับการฝึกแบบ traditional training มีผลสอบทักษะผ่าน 56 คน (ร้อยละ 62.9) ในขณะที่กลุ่มฝึก brief VDO training มีผลสอบทักษะผ่านเพียง 40 คน (ร้อยละ 47.6) ซึ่งค่าคะแนนมีน้อยกว่ากลุ่ม traditional training อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p value <0.05)

จึงสรุปได้ว่า Brief VDO training สามารถนำมาอบรมเพื่อพัฒนาความรู้และทักษะของการช่วยฟื้นคืนชีพได้ เนื่องจากสามารถเพิ่มความรู้เรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานได้ แต่ไม่สามารถช่วยพัฒนาทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพให้ผ่านตามเกณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์

เนื่องด้วยทรัพยากรที่จำกัด ในการนำ Brief VDO training มาใช้เป็นเครื่องมือในการอบรมเพื่อพัฒนาความรู้ความเข้าใจเรื่องการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานสามารถเพิ่มความรู้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม หากต้องการเพิ่มพูนทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพให้ผ่านตามเกณฑ์ร้อยละ 60 ควรเพิ่มการฝึกฝนทักษะการช่วยฟื้นคืนชีพให้อาสาสมัครในช่วงท้ายของการอบรม โดยการสาธิตและสาธิตย้อนกลับเช่นเดียวกับการฝึกทักษะในแบบ traditional training

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนจากเงินงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2560 คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผู้บริหารและคณาจารย์รวมถึงนักเรียนของโรงเรียนมัธยมศึกษาที่มีส่วนร่วมในการจัดนักเรียนเข้ารับการอบรม และขอขอบคุณคณาจารย์ประจำสาขาปฏิบัติการฉุกเฉินการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ รวมทั้งนิสิตในสาขา ที่ร่วมสละเวลาในการเป็นวิทยากรกลุ่มในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Sasson C, Rogers MA, Dahl J, et al. 2010. Predictors of survival from out of hospital cardiac arrest: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Quality outcomes*. 3:63-81.
2. Georgiou M, Lockey AS. 2013. ERC initiatives to reduce the burden of cardiac arrest: The European Cardiac Arrest Awareness Day. *Best practice & Research Clinical Anesthesiology*; 27(3): 307-315.
3. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. 2015. Heart disease and stroke statistics 2015 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. 131:e29-322.
4. Bentley J, Bobrow et al., 2010. Chest Compression-Only CPR by Lay Rescuers and Survival From Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *JAMA*; 304 (13): 1447-1454.
5. Bobrow BJ., Spaite, D. W., Berg, R. A. 2010. Chest compression-only CPR by lay rescuers and survival from out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA*, 304 (13): 1447-54.
6. Sasson C., Hendrika Meischke, Benjamin S, 2013. Increasing Cardiopulmonary Resuscitation Provision in Communities With Low Bystander Cardiopulmonary Resuscitation Rates. *Circulation*; 127:1342-50.
7. Sayre MR, Berg RA, Cave DM, Richard LP. 2008. Hands-Only (Compression-Only) Cardiopulmonary Resuscitation: A Call to Action for Bystander Response to Adults Who Experience Out-of-Hospital Sudden Cardiac Arrest. *Circulation*; 117:2162-2167.
8. Thomas D. Rea, Fahrenbruch C, Linda C. 2013. CPR with Chest Compression Alone or with Rescue Breathing. *The New England Journal of Medicine*. 363:423-433.
9. Yeeheng U. Factors associated with successful resuscitation of out-of-hospital cardiac arrest at Rajvithi Hospital's Narenthorn Emergency Medical Service Center, Thailand. *Asia Pac J Public Health* 2011; 23: 601 - 7.
10. Amnuaypattanapon K, Udomsubpayakul U. Evaluation of related factors and outcome in cardiac arrest resuscitation at Thammasat Emergency Department. *J Med Assoc Thai* 2010; 93 (Suppl 7): S26 – 34.
11. วีรวงศ์ วัฒนวิช รังสรรค์ ภูยานนทชัย บดินทร์ ขวัญนิมิต. 2013. การรอดชีวิตของผู้ป่วยหัวใจหยุดเต้นนอกโรงพยาบาล และความเป็นไปได้ในการชักนำให้อุณหภูมิร่างกายต่ำลงของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. *สงขลานครินทร์ เวชสาร*; 31(6): 287-295.
12. นันทวรรณ ทิพย์เนตร. 2559. การพัฒนาสมรรถนะอาสาสมัครสาธารณสุขนักเรียนมัธยม (อสณม.) ในการช่วยฟื้นคืนชีพขั้นพื้นฐานในกลุ่มนักเรียนมัธยมศึกษา จังหวัดมหาสารคาม. การประชุมวิชาการระดับชาติ จลองค์การรอบทศวรรษสำนักวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ ประจำปี 2559 มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง เชียงราย, 30-38.
13. Dianan M., Aufderheide TP, Beeson J. 2011. Importance and implementation of training in Cardiopulmonary Resuscitation and Automated External Defibrillation in Schools; 123(6): 691-706.
14. Nicholas AH., DaRosa DA., Markwell SJ. 1996. Is test security a concern when OSCE station are repeated across clerkship rotation. *Academic Medicine*; 71:287-9.
15. Christian Vaillancourt, Many L. Charette, Katarina Bohm. 2011. In out-of-hospital cardiac arrest patients, does the description symptoms to the emergency

medical dispatcher improve the accuracy of the diagnosis of cardiac arrest: A systematic review of the literature. *Resuscitation*; 82(2011): 1483-1489.

16. Ming- Ju Hsieh, Farhan Bhanji, Chih-Wei Yang, Kuo-Liong Chien, Matthew Huei-Ming Ma. 2016. Comparing the effect of self- instruction with that of traditional instruction in basic life support courses- A systematic review. *Resuscitation*. 108:8-19.

ผลของสาร NAA ต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำเฟื่องฟ้า

Effect of 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) on the Cutting of Paper Flower

ยศนันท์ ศรีวิจารณ์¹

Yotsanon Sriwichan

Received: 22 September 2017; Accepted: 8 January 2018

บทคัดย่อ

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร NAA ที่เหมาะสมต่อการปักชำกิ่งเฟื่องฟ้า วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 4 ทรีตเมนต์ คือ ทรีตเมนต์ควบคุม การใช้สาร NAA ความเข้มข้น 1,000, 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ๆ ละ 10 กิ่ง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2559 ถึงเดือนมีนาคม 2560 ที่เรือนเพาะชำ กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เขตพื้นที่ในเมือง ผลการทดลองพบว่า การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยส่งเสริมด้านความยาวราก ขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลางราก และมีเปอร์เซ็นต์การรอดตายของกิ่งปักชำเฟื่องฟ้าสูงสุด

คำสำคัญ: เฟื่องฟ้า การปักชำ การเกิดราก ความยาวราก ฮอรโมนเร่งการเจริญเติบโต

Abstract

The purpose of this experiment was to study the appropriate concentration of 1-Naphthalene acetic acid (NAA) on the growth of Paper Flower, a climbing shrub. A Completely Randomized Design (CRD) was arranged comprising four treatments: control, and NAA at concentrations of 1,000, 2,000 and 3,000 mg/liter. Each treatment consisted of four replications, ten plants per replication. The experiment was carried out during November, 2016 to March, 2017 at Nursery Building, Mahasarakham University. The results showed that the application of NAA at 2,000 mg/liter gave the highest root length, both root sizes and survival percentage for the cutting of Paper Flower

Keywords: Paper Flower, Cutting, Rooting, Root length, Growth hormone

บทนำ

เฟื่องฟ้าเป็นพืชประเภทไม้พุ่มกึ่งไม้เลื้อย (Climbing Shrub) ที่มีใบประดับหรือใบดอก (Floral leaf) สีต่าง ๆ กัน เฟื่องฟ้ามีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้ ได้ถูกนำเข้ามาทวีปยุโรปก่อนทวีปอื่นๆ หลังจากนั้นจึงได้แพร่กระจายในทวีปเอเชีย แอฟริกา และออสเตรเลีย¹ ในประเทศไทยมีการปลูกเฟื่องฟ้าหลายสายพันธุ์ซึ่งนำมาจากประเทศสิงคโปร์ ในสมัยรัชกาลที่ 5 โดยพระยารัตนาธิเบศร์ ได้บันทึกไว้ว่า ในสมัยนั้นได้มีการสั่งพันธุ์เฟื่องฟ้าเข้ามาจากสิงคโปร์หลายพันธุ์แต่พันธุ์แรกที่มีการปลูกในประเทศไทย คือ เฟื่องฟ้าชนิดกลาบรา (B. glabra) เป็นพันธุ์ดอกสีม่วง ซึ่งคนไทยเรียกกันในสมัยนั้นว่า ตรุษจีน หรือ

ดอกตรุษจีน² ในปี พ.ศ. 2453 หมอไฮแอ็ด ได้นำพันธุ์ดอกสีอิฐเข้ามาปลูกในปี พ.ศ. 2468 พระยาประติพัทธ์ภูบาล ได้นำเฟื่องฟ้าดอกสีทับทิมเข้ามาปลูกเป็นคนแรก ส่วนพันธุ์ดอกสีเหลืองมีการนำเข้ามาปลูกที่กรุงเทพฯ ในราวปี พ.ศ. 2481-2482 หลังจากนั้นได้มีผู้นำพันธุ์เฟื่องฟ้าเข้ามาจากประเทศต่าง ๆ มากมายแต่ไม่มีการบันทึกการนำเข้าไว้เป็นหลักฐาน³

เฟื่องฟ้าเป็นพืชที่สามารถปลูกและขยายพันธุ์ได้ทุกฤดูกาลภายใต้สภาพภูมิประเทศของไทย แต่ฤดูที่เหมาะสมที่สุดคือต้นฤดูฝน และต้นฤดูหนาว ส่วนฤดูร้อนอากาศที่ร้อนจัดและอุณหภูมิสูงมาก ถ้ามีการให้น้ำและรักษาความชุ่มชื้นไม่เพียงพอจะทำให้กิ่งพันธุ์หรือต้นต่อที่เรา นำมาปลูกใหม่

¹ นักวิชาการเกษตร กองอาคารสถานที่ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² Agricultural Research Officer Division of Buildings and Ground Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

เหี่ยวเฉา และไม่สามารถแตกกรากใหม่ออกมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นตอที่มีขนาดใหญ่ และมีอายุมาก โดยเดือนที่เหมาะสมสำหรับการปลูกและการขยายพันธุ์เฟื่องฟ้าคือช่วงเดือนมิถุนายน และต้นฤดูหนาว คือช่วงเดือนพฤศจิกายน ซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงที่มีความชื้นในอากาศสูงมาก หรืออาจเป็นช่วงปลายฤดูฝนก็ได้ ส่วนช่วงฤดูฝนเฟื่องฟ้าจะเจริญเติบโตและแตกใบมากทำให้ไม่สวยงามเท่าที่ควรและช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน กันยายน-ตุลาคม ถ้าปลูกช่วงนี้ต้องมีการดูแลให้น้ำอย่างสม่ำเสมอ การปลูกเฟื่องฟ้าจึงจะได้ผลดี ในการขยายพันธุ์เฟื่องฟ้าเพื่อการค้านิยมใช้กิ่งปักชำ เพราะความสะดวกและใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการปลูกด้วยเมล็ด การปักชำเฟื่องฟ้าโดยทั่วไปจะต้องคำนึงถึงกิ่งพันธุ์ สารเคมีเร่งการออกราก วิธีปักชำ และระยะเวลาในการปักชำ ซึ่งมีวิธีการปฏิบัติที่แตกต่างกันไปในเรื่องกิ่งพันธุ์ สามารถเลือกใช้กิ่ง แก่หรือลำต้น กิ่งกิ่งอ่อน กิ่งแก่ โดยดูจากสีเปลือกสีน้ำตาลอมเขียว แต่ส่วนที่ได้ผลดีที่สุดคือ ส่วนยอด เพราะสะดวกและประหยัดกว่าส่วนอื่นๆ ควรเลือกเอากิ่งที่มีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร มีใบติด 3-5 ใบ ขึ้นไปในการนำมาปักชำ² ดังนั้นงานทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการปักชำ NAA (1-Naphthaleneacetic acid) ที่เหมาะสมต่อการขยายพันธุ์เฟื่องฟ้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การเตรียมกิ่งพันธุ์: กิ่งพันธุ์ที่ใช้คือกิ่งพันธุ์เฟื่องฟ้าโดยใช้กิ่งกิ่งอ่อนกิ่งแก่ มีขนาดเส้นผ่า ศูนย์กลางใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.8-1.2 เซนติเมตร นำมาตัดเป็นท่อน แต่ละท่อนมีความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร โดยตัดบริเวณปลายกิ่งให้มีลักษณะตรงและที่โคนกิ่งมีลักษณะเฉียงประมาณ 45 องศา จากนั้นนำกิ่งพันธุ์ไปแช่ในสาร NAA (1-Naphthaleneacetic acid) ที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ เป็นเวลา 5 นาที

การเตรียมวัสดุเพาะชำ: เตรียมวัสดุเพาะชำโดยมีส่วนผสมของดินและแกลบเผาในอัตราส่วน 1:3 ทำการผสมวัสดุเพาะชำให้คลุกเคล้ากันจากนั้นเตรียมวัสดุเพาะชำลงในถุงเพาะชำขนาด 5x8 นิ้ว จำนวน 160 ถุง

การชำและการดูแลรักษา: นำกิ่งพันธุ์เฟื่องฟ้าที่ผ่านการแช่สาร NAA (1-Naphthalene acetic acid) ในแต่ละทรีทเมนต์นำมาฝังให้แห้ง จากนั้นจึงนำไปปักชำลงในวัสดุเพาะชำที่เตรียมไว้ รดน้ำกิ่งพันธุ์ที่ปักชำไว้เป็นประจำทุกวัน และคอยกำจัดวัชพืชอย่างสม่ำเสมอ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ประกอบด้วย 4 Treatment จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น กำหนด Treatment ต่างๆ ดังนี้

Treatment ที่ 1 ชุดควบคุมไม่ใช้สาร

Treatment ที่ 2 แช่สาร NAA ระดับความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Treatment ที่ 3 แช่สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Treatment ที่ 4 แช่สาร NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

การบันทึกข้อมูล บันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของกิ่งเฟื่องฟ้า ทุก ๆ 30 วัน หลังปักชำ ดังนี้

1. จำนวนใบเฟื่องฟ้า
2. ความกว้างใบ หน่วยเป็นเซนติเมตร
3. ความยาวใบ หน่วยเป็นเซนติเมตร
4. จำนวนราก
5. ความยาวราก วัดจากบริเวณโคนรากจนถึงปลายราก หน่วยเป็นเซนติเมตร

6. เส้นผ่าศูนย์กลางราก โดยใช้เวอร์เนียร์ แคลิเปอร์วัดบริเวณโคนราก หน่วยเป็นมิลลิเมตร

7. เปอร์เซ็นต์การรอดตาย หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์นำข้อมูลที่ได้ออกมาทดสอบความแปรปรวนและความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทางสถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS

ผลการศึกษา

ในการบันทึกข้อมูลด้านการเจริญเติบโตของกิ่งเฟื่องฟ้าที่ได้รับสาร NAA (1-Naphthalene acetic acid) ความเข้มข้นแตกต่างกันพบว่า

1. **จำนวนใบเฟื่องฟ้าที่แตกใหม่พบว่าการปักชำ** เฟื่องฟ้า 30 วัน ทุกทรีทเมนต์ที่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้เกิดจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 26.90 ใบ รองลงมาคือทรีทเมนต์ที่ 4 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีจำนวนใบเท่ากับ 22.70 ใบ ขณะที่ทรีทเมนต์ควบคุมมีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 16.47 ใบ หลังการปักชำเฟื่องฟ้า 60 วัน พบว่าการใช้สาร NAA ทุกทรีทเมนต์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเมนต์ที่ 3 (NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 44.20 ใบ แต่ไม่แตกต่างจากทรีทเมนต์ที่ 4 (NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และหลังการปักชำเฟื่องฟ้า 90 วัน พบว่าการใช้สาร NAA ทุกทรีทเมนต์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่าทรีทเมนต์ที่ 3 (NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีจำนวนใบมากที่สุดเท่ากับ 49.97 ใบ แต่ไม่แตกต่างกับทรีทเมนต์ที่ 4 ขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1 (ควบคุม) มีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 32.12 ใบ (Table 1)

2. ความกว้างใบ จากการทดลองการใช้สาร NAA ความเข้มข้นที่ต่างกันในการปักชำเฟื่องฟ้าทำให้เฟื่องฟ้ามีความกว้างใบที่ต่างกัน โดยการปักชำ 30 วัน พบว่า การใช้สาร NAA ทุกความเข้มข้นมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยที่ ทรีทเมนต์ที่ 3 (NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ใบเฟื่องฟ้ามีความกว้างใบมากที่สุดเท่ากับ 2.28 เซนติเมตร แต่ไม่แตกต่างกับทรีทเมนต์ที่ 4 (NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ขณะที่หลังการปักชำ 60 วัน ความกว้างใบเฟื่องฟ้าทุกทรีทเมนต์มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยที่ทรีทเมนต์ที่ 3 (NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และทรีทเมนต์ที่ 4 (NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีความกว้างใบมากที่สุด (2.83 และ 2.82 เซนติเมตร ตามลำดับ) ขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1 (ควบคุม) ทำให้ใบเฟื่องฟ้ามีขนาดความกว้างใบน้อยที่สุด เท่ากับ 2.02 เซนติเมตร ภายหลังการปักชำ 90 วัน พบว่าการใช้สาร NAA ทุกความเข้มข้นทำให้ใบเฟื่องฟ้ามีขนาดความกว้างใบที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยทรีทเมนต์ที่ 3 (NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มีขนาดความกว้างใบมากที่สุดเท่ากับ 3.18 เซนติเมตร ขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1 (ควบคุม) ใบเฟื่องฟ้ามีขนาดความกว้างใบน้อยที่สุดเท่ากับ 2.22 เซนติเมตร (Table 2)

3. ความยาวใบ ในด้านของความยาวใบเมื่อใช้สาร NAA ในการปักชำพบว่าหลังการปักชำ 30, 60 และ 90 วัน ทุกทรีทเมนต์มีความยาวใบที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและทรีทเมนต์ที่ 4 การใช้สาร NAA

ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ใบเฟื่องฟ้ามีความยาวใบมากที่สุดเท่ากับ 3.32 4.08, 4.57 และ 3.37, 4.17, 4.46 เซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ทรีทเมนต์ควบคุมมีความยาวใบสั้นที่สุดเท่ากับ 2.84 และ 3.15 เซนติเมตร ตามลำดับ หลังการปักชำกิ่งเฟื่องฟ้าที่อายุ 60 และ 90 วันหลังปักชำ (Table 3) ตามลำดับ

4. จำนวนราก ผลของการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกันต่อจำนวนรากที่เกิดขึ้นใหม่หลังการปักชำ 30, 60 และ 90 วัน พบว่า การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกันทำให้มีจำนวนรากที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเมนต์ที่ 4 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กิ่งเฟื่องฟ้าที่ปักชำเกิดจำนวนรากมากที่สุด เท่ากับ 9.57, 11.37 และ 13.62 ราก ตามลำดับ รองลงมาคือ ทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้จำนวนรากที่เกิดขึ้นใหม่เท่ากับ 8.67, 9.85 และ 12.82 ราก ตามลำดับ ขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1 (ควบคุม) ได้จำนวนรากของกิ่งเฟื่องฟ้าที่ปักชำใหม่น้อยที่สุดเท่ากับ 4.95, 6.62 และ 8.90 ราก ตามลำดับ (Table 4)

5. ความยาวราก การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันทำให้กิ่งเฟื่องฟ้าหลังการปักชำ 30, 60 และ 90 วัน มีความยาวรากที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งโดยทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร รากเฟื่องฟ้ามีความยาวมากที่สุด เท่ากับ 4.84, 6.57 และ 8.06 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ทรีทเมนต์ที่ 1 (ควบคุม) รากเฟื่องฟ้าที่เกิดขึ้นสั้นที่สุดเท่ากับ 2.78, 4.17 และ 5.39 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 5)

Table 1 Number of leaves of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Number of leaves after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	16.47c	27.32b	32.12c ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	19.07bc	31.35b	37.05b
NAA 2,000 mg/l	26.90a	44.20a	49.97a
NAA 3,000 mg/l	22.70b	40.10a	45.87a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	43.03	27.44	24.88

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$

6. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางราก หลังการปักชำเฟื่องฟ้าด้วยการใช้สาร NAA เมื่ออายุ 30, 60 และ 90 วันหลังปักชำพบว่า การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่แตกต่าง

กันทำให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรากมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเมนต์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร รากเฟื่องฟ้ามีขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางรากขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 0.19, 0.36 และ 0.42 มิลลิเมตร ตามลำดับ รองลงมาคือ ทริทเม้นท์ที่ 4 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางรากเท่ากับ 0.17, 0.33 และ 0.39 มิลลิเมตร ตามลำดับ ขณะที่ทริทเม้นท์ที่ 1 (ควบคุม) ทำให้รากเฟืองฟ้า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรากเล็กที่สุด (Table 6)

Table 2 Leaf width of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Leaf width (cm.) at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	1.70b	2.02c	2.22c ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	1.90b	2.30b	2.88b
NAA 2,000 mg/l	2.28a	2.83a	3.18a
NAA 3,000 mg/l	2.26a	2.82a	3.05ab
F-test	**	**	**
C.V. (%)	27.66	22.00	21.47

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$

7. เปอร์เซ็นต์การรอดตาย ผลของการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกันต่อเปอร์เซ็นต์การรอดตายของกิ่งเฟืองฟ้าหลังการปักชำพบว่าที่อายุ 30 และ 60 วันหลังการปักชำ การใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกันทุกทริทเม้นท์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่ออายุ 90 วันหลังปักชำ พบว่าการใช้สาร NAA ที่ระดับความเข้มข้นที่

แตกต่างกัน ทำให้กิ่งเฟืองฟ้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตายที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทริทเม้นท์ที่ 3 การใช้สาร NAA ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กิ่งเฟืองฟ้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูงสุด คือ 80.00 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ทริทเม้นท์ที่ 1 (ควบคุม) กิ่งเฟืองฟ้ามีเปอร์เซ็นต์การรอดตายต่ำที่สุดคือ 47.50 เปอร์เซ็นต์ (Table 7)

Table 3 Leaf length of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Leaf length (cm.) at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	2.39b	2.84c	3.15c ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	2.69b	3.22b	4.03b
NAA 2,000 mg/l	3.32a	4.08a	4.57a
NAA 3,000 mg/l	3.37a	4.17a	4.46a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	30.15	20.83	21.21

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$

Table 4 Number of roots of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Number of roots (roots) at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	4.95d	6.62d	8.90d ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	6.72c	8.75c	11.65c
NAA 2,000 mg/l	8.67b	9.85b	12.82b
NAA 3,000 mg/l	9.57a	11.37a	13.62a
F-test	**	**	**
C.V. (%)	12.59	8.54	7.70

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$



Figure 1 Rooting of Paper flower stem cutting treated with NAA at 90 days after planting.

Table 5 Root length of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Root length (cm.) at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	2.78c	4.17d	5.39c ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	3.61b	5.29c	6.06bc
NAA 2,000 mg/l	4.84a	6.57a	8.06a
NAA 3,000 mg/l	3.82b	5.84b	6.81b
F-test	**	**	**
C.V. (%)	16.72	16.21	27.05

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$

Table 6 Root diameter of Paper flower after cutting and treated at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Root diameter (mm.) at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	0.15b	0.26d	0.32d ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	0.16b	0.30c	0.36c
NAA 2,000 mg/l	0.19a	0.36a	0.42a
NAA 3,000 mg/l	0.17ab	0.33b	0.39b
F-test	**	**	**
C.V. (%)	29.74	13.36	10.94

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$ **Table 7** Survival rate (%) of cutting of Paper flower after treatment at different rates of NAA (1-Naphthaleneacetic acid)

Treatment	Survival rate (%) of cutting at different ages after cutting		
	30 days	60 days	90 days
0 mg/l (Control)	80.00	62.50	47.50c ^{1/}
NAA 1,000 mg/l	87.50	67.50	57.50bc
NAA 2,000 mg/l	92.50	82.50	80.00a
NAA 3,000 mg/l	87.50	72.50	67.50ab
F-test	ns	ns	**
C.V. (%)	9.54	14.60	14.64

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at ** $p \leq 0.01$

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าการใช้สาร NAA (1-Naphthaleneacetic acid) มีผลต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำเฟื่องฟ้า ซึ่งสาร NAA เป็นฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่อยู่ในกลุ่มออกซิน สารกลุ่มนี้มีทั้งชนิดที่พืชสร้างขึ้นเอง และสารสังเคราะห์ มีหน้าที่ควบคุมการขยายตัวของเซลล์ กระตุ้นการแบ่งเซลล์ ทำให้ส่วนของพืชมีการเจริญเติบโตยืดยาวขึ้น และมีผลต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำ สาร NAA เป็นสารเคมีสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติเป็นออกซิน นิยมใช้ในการเร่งรากของกิ่งปักชำกันอย่างแพร่หลายในทางการเกษตร⁴ แม้ในงานขยาย พันธุ์พืชในรูปแบบการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อก็นำสาร NAA มาทำการศึกษา โดย Kaviani *et al.*⁵ ศึกษาผลของ kinetin (Kn) และ naphthalene acetic acid (NAA) ต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ *Matthiola incana* โดยการใช้ส่วนยอดที่เจริญ การสร้างแคลลัส และการสร้างรากบนใบ พบว่าการใช้อาหารสูตร MS เสริมด้วย Kn 1 mg/L + NAA 0.5 mg/L จะช่วยเพิ่มปริมาณการเกิดรากมากที่สุด เท่ากับ 1.83 ราก และมีความยาวมากที่สุด เท่ากับ 15.7 มิลลิเมตร

ทั้งนี้ปริมาณความเข้มข้นของสารขึ้นอยู่กับชนิดพืช สายพันธุ์ และลักษณะของกิ่งพันธุ์พืชชนิดนั้นๆ นั้นทียา⁶ กล่าวว่าปริมาณการใช้ต้องไม่สูงเกินไป เพราะถ้าใช้สารที่มีความเข้มข้นสูงเกินไปจะไปยับยั้งการเจริญของตาราก ทำให้ใบเหลืองและร่วง กิ่งมีสีดำและตายในที่สุด สาริต⁷ ศึกษากิ่งปักชำโป๊ยเซียนพันธุ์แดงอุดม โดยใช้สาร NAA ที่ความเข้มข้น 20 ppm พบว่าสามารถเร่งการออกรากได้ดีที่สุด ขณะที่ อัคราพร⁸ ได้ทดลองใช้ NAA เพื่อเร่งการออกรากของกิ่งชำมะลิซ้อนพบว่าการใช้ NAA ที่ความเข้มข้น 8,000 ppm จะทำให้การเกิดรากดีที่สุด ซึ่งในส่วนของภูวนาถ⁹ ได้กล่าวว่า ฮอร์โมนพืชนั้นเป็นสารที่แม้พืชจะได้รับในปริมาณที่น้อยมากแต่ก็สามารถส่งผลในด้านส่งเสริมหรือยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายในต้นพืชได้ สอดคล้องกับปิยะฉัตร และคณะ¹⁰ ศึกษาผลของ NAA IBA และส่วนของกิ่งต่อการออกรากกิ่งสบู่ดำ พบว่าการไม่ให้สาร (ชุดควบคุม) จะให้ความยาวรากเฉลี่ยมากที่สุด (7.77 เซนติเมตร) และพบว่าการใช้ NAA อัตรา 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีความยาวรากน้อยที่สุดเท่ากับ 5.00

เซนติเมตร ซึ่งอาจเป็นเพราะความเข้มข้นของออกซินสูงเกินไป โดยทั่วไปการเจริญเติบโตของรากต้องการออกซินในปริมาณต่ำมาก กรณีที่พืชได้รับออกซินมากเกินไปจะทำให้รากชะงักการเจริญเติบโตได้¹¹ สารกลุ่มออกซินจะช่วยกระตุ้นการออกรากได้สองรูปแบบคือ กระตุ้นให้เกิดจุดกำเนิดราก (root initiation) และกระตุ้นการเจริญของราก (root development) โดยในการกระตุ้นให้เกิดจุดกำเนิดราก พืชมักต้องการออกซินในระดับความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูง เพื่อทำให้เนื้อเยื่อพัฒนาเกิดเป็นตาราก (root buds) จากนั้น ออกซินที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าจะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาอวัยวะต่อไป¹² นอกจากนี้ มีรายงานการใช้สารผสมระหว่าง IBA และ NAA ทำให้กิ่งปักชำที่กิ่งอ่อนกิ่งแก่ของเจตมูลเพลิงแดงสามารถออกรากได้ดี¹³ ในขณะที่เจนนีรา และคณะ¹⁴ ได้ศึกษาผลของ IBA และ NAA ต่อการเกิดรากและการแตกยอดในกิ่งปักชำหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 พบว่าการใช้ NAA ความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้มีจำนวนใบ ความกว้างใบ และความยาวใบเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 4.20 ใบ 2.43 เซนติเมตร และ 3.16 เซนติเมตร ตาม ลำดับ (Table 3) และยังสอดคล้องกับ Quainoo *et al.*¹⁵ ที่ศึกษาผลของ NAA ต่อการเกิดรากและการเจริญเติบโตของเทียนกิ่งขาว (*Lawsonia inermis*) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า NAA มีผลต่อจำนวนใบและจำนวนราก และความยาวของรากต่อการปักชำของเทียนกิ่งขาว จันทนา¹⁶ ศึกษาผลการใช้ IBA และ NAA ร่วมในการออกรากของกิ่งปักชำ Song of India ในถุง พลาสติกเก็บความชื้น พบว่าการใช้ NAA อัตรา 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยให้กิ่งปักชำ Song of India อออกรากมากกว่ากิ่งที่ไม่ได้รับฮอร์โมน ขณะที่ อัคราพร⁶ ศึกษาผลการใช้ IBA, NAA และเซราดิคซ์ต่อการออกรากของมะลิซ้อน พบว่าการใช้ NAA อัตรา 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กิ่งปักชำมะลิซ้อนออกรากดีที่สุด (Table 4) สอดคล้องกับเจนนีรา และคณะ¹⁴ ในการใช้ NAA ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้กิ่งปักชำหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางรากสูงสุด (0.97 มิลลิเมตร) (Table 6) และจากการรายงานของสัมฤทธิ์ และไพฑูรย์¹⁷ ซึ่งได้ศึกษาผลของการใช้สารออกซินต่อการออกรากของกิ่งพันธุ์เฟื่องฟ้าพบว่าการใช้ IBA และ NAA อัตรา 1,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับสามารถชักนำให้กิ่งพันธุ์เฟื่องฟ้าออกรากสูงสุด 80 เปอร์เซ็นต์และรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์

สรุปผล

การใช้สาร NAA (1-Naphthaleneacetic acid) ระดับความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยส่งเสริมให้การเจริญเติบโตของกิ่งเฟื่องฟ้าในด้าน ความยาวราก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางราก และ

มีเปอร์เซ็นต์การรอดตายสูงสุดการใช้สาร NAA (1-Naphthaleneacetic acid) ระดับความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ช่วยส่งเสริมให้กิ่งเฟื่องฟ้ามีการแตกจำนวนรากใหม่มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Pal, B.P. and Vishnu Swarup. Bougainvilleas. New Delhi : Indian Council of Agricultural Research. 1974.
2. อนุสิทธิ์ วงศ์สงวนศรี. เฟื่องฟ้า. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 2540.
3. ประเสริฐ กำธรเจริญ. ผลของพาโคลบิวทราโซนที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตของเฟื่องฟ้า “สุมาลี” ในการทำเป็นไม้กระถาง. ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม. 2535.
4. สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. สรีรวิทยาพืช. ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2548.
5. Kaviani Behzad, Afshin Ahmadi Hesar, Alireza Tarang and Sahar Bohlooli Zanjani. Effect of kinetin (Kn) and naphthalene acetic acid (NAA) on the micropropagation of *Matthiola incana* using shoot tips, and callus induction and root formation on the leaf explants. African Journal of Agricultural Research. 2013; 8(30) : 4134-4139. August.
6. นันทิยา สมานนท์. การขยายพันธุ์พืช. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ. 2526.
7. สาริต สุคนธ์สุวรรณ. ผลของ NAA ต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำไผ่เขียน พันธุ์แดงอุดม. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2541.
8. อัคราพร พงศ์คล้าย. ผลการใช้ IBA, NAA และเซราดิคซ์ต่อการออกรากของมะลิซ้อน. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. 2529
9. ภูวนาถ นนทรีย์. การใช้ฮอร์โมนกับไม้ผลบางชนิด. โครงการหนังสือเกษตรชุมชน, กรุงเทพฯ. 2532.
10. ปิยะณัฐ ฝกามาต อณรงค์ เหมลา และมลปภา นาถึง. ผลของ NAA IBA และส่วนของกิ่งต่อการออกรากกิ่งปักชำสบู่ดำ. การประชุมวิชาการแห่งชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม. 2555.
11. พีรเดช ทองอำไพ. ฮอร์โมนพืชและการสังเคราะห์ แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. ไดนามิกส์พิมพ์. กรุงเทพฯ. 2529.

12. พีรเดช ทองอำไพ. ฮอโมนพืชและสารสังเคราะห์ แนวทางการใช้ประโยชน์ในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 4. วิจัยการพิมพ์กรุงเทพฯ. 2537.
13. สุจิตา ไตรบุตร. ผลของ IBA และ NAA ต่อการเกิดรากของกิ่งปักชำเจตมูลเพลิงแดง. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. ภาควิชาพืชสวน. คณะเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 2544.
14. เจนจิรา ชุมภูคำ พรรณวิภา อรุณจิตต์ และอารยา อาจเจริญเทียนหอม. ผลของ IBA และ NAA ต่อการเกิดรากและการแตกยอดในกิ่งปักชำหม่อนพันธุ์เชียงใหม่ 60. วารสารแก่นเกษตร, 2557; 42 ฉบับพิเศษ 3: 162-167.
15. Quainoo A. K., K. Kabir and G. Mahunu. Effect of naphthalene acetic acid on rooting and shoot growth of *Lawsonia inermis*. *Biochemistry and Biotechnology Research*. 2014; 2(4) : 50-52, December.
16. จันทนา กาญจนคาม. ผลการใช้ IBA และ NAA ร่วมในการออกรากของกิ่งตัดชำ Song of India ในถุงพลาสติกเก็บความชื้น. ปัญหาพิเศษปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2523.
17. สัมฤทธิ์ เฟื่องจันทร์ และไพฑูรย์ กิจเภาสงค์. เฟื่องฟ้า. วารสารแก่นเกษตร, 2537; 19(6) : 295-304.

ความชุกของการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุด (*Enterobius vermicularis*) ในนักเรียนระดับประถมศึกษา จังหวัดชัยภูมิ ประเทศไทย

Prevalence of *Enterobius vermicularis* infection among Students from Elementary Schools, Chaiyaphum Province, Thailand

ปกกมล เหล่ารักษาวงษ์,^{1*} อนัญญา ประดิษฐ์ปรีชา,¹ เอกพล กาละดี²

Pokkamol Laoraksawong,^{1*} Anunya Pradidthaprecha,¹ Akaphol Kaladee²

Received: 10 October 2017; Accepted: 15 January 2018

บทคัดย่อ

โรคพยาธิเข็มหมุด (enterobiasis) มีสาเหตุมาจากการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุด (*Enterobius vermicularis*) ซึ่งพบมากในเด็กวัยเรียน พยาธิเข็มหมุดก่อให้เกิดอาการคันบริเวณทวารหนักในเวลากลางคืน การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง เพื่อศึกษาความชุกของการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุดในเด็กนักเรียน โรงเรียนประถมศึกษา จังหวัดชัยภูมิ ระหว่างเดือนกรกฎาคม ถึงเดือน กันยายน 2557 กลุ่มตัวอย่างคือ นักเรียนในโรงเรียนประถมศึกษา 7 โรงเรียน ที่ตั้งอยู่ในตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ จำนวน 441 ราย ซึ่งทำการตรวจพยาธิโดยวิธีสกอตเทปเทคนิค การศึกษาค้นพบว่า ความชุกการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุดในนักเรียนทั้งหมดร้อยละ 11.3 พบความชุกติดเชื้อพยาธิในเพศชายร้อยละ 12.6 สูงกว่าเพศหญิงร้อยละ 9.7 ซึ่งแตกต่างกันไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value = 0.330) เมื่อจำแนกตามอายุ พบว่าการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุดตั้งแต่อายุ 4-12 ปี โดยพบมากที่สุดในช่วงอายุ 7-9 ปี ร้อยละ 17.8 และพบความแตกต่างของกลุ่มอายุและความชุกการติดเชื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P -value < 0.001) จากการศึกษาครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า โรคพยาธิเข็มหมุดยังเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญสำหรับเด็กในวัยเรียน ดังนั้นเด็กนักเรียนควรจะต้องได้รับการตรวจพยาธิเข็มหมุดอย่างน้อย ปีละ 1-2 ครั้ง นอกจากนี้ควรให้สุขศึกษาเกี่ยวกับเรื่องสุขวิทยาส่วนบุคคลแก่ คุณครู ผู้ปกครอง และเด็กนักเรียนในโรงเรียนประถมศึกษาควบคู่กันไป เพื่อเป็นการลดความชุกการติดเชื้อพยาธิเข็มหมุด

คำสำคัญ: ความชุก พยาธิเข็มหมุด เด็กนักเรียน ชัยภูมิ

Abstracts

Enterobius vermicularis is a nematode parasite which is the cause of enterobiasis in humans, especially children. *E. vermicularis* causes of anal-itching at night. This study was a cross-sectional study, aimed to study the prevalence of *E. vermicularis* infection among students from elementary schools during July to September 2014. A total of 441

¹ อาจารย์ประจำสาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000 ประเทศไทย โทรศัพท์ 063-441-5653, E-mail: Anunya.ph@gmail.com

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปากเกร็ด นนทบุรี 11120 ประเทศไทย โทรศัพท์ (66) 0-2504-8063, 097-364-4535 E-mail: Akaphol.Kal@stou.ac.th

* ผู้รับผิดชอบบทความ: นายปกกมล เหล่ารักษาวงษ์ สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ 36000 ประเทศไทย โทรศัพท์ 064-156-1549 E-mail: Pokkamol.3108@gmail.com

¹ Lecturer, Department of Public Health Faculty of Art and Science Chaiyaphum Rajabhat University 36000 THAILAND. Phone; 063-441-5653 E-mail: Anunya.ph@gmail.com

² Lecturer, School of Health Science Sukhothai Thammathirat Open University Pakkret, Nonthaburi 11120 THAILAND. Phone: (66) 0-2504-8063, 097-364-4535 E-mail: Akaphol.Kal@stou.ac.th

* Corresponding author; Pokkamol Laoraksawong, Department of Public Health Faculty of Art and Science Chaiyaphum Rajabhat University 36000 THAILAND. Phone; 064-156-1549 E-mail: Pokkamol.3108@gmail.com

students from 7 elementary schools in Nafhai sub-district, Mueang district, Chaiyaphum province were examined by scotch tape technique. The overall prevalence of *E. vermicularis* infection was 11.3%. The prevalence of *E. vermicularis* infection in boys was 12.6% which was higher than for girls 9.7% although the difference was not statistically significant (P -value = 0.330). The 7–9 years age group had the highest prevalence of *E. vermicularis* infection (17.8 %) compared to other age groups and was statistically significant (P -value < 0.001). This study found that the younger children had the highest prevalence of *E. vermicularis* infection and had higher risk of infection with *E. vermicularis* than older children. Therefore, children should be checked for *E. vermicularis* infection at least 1–2 times a year. Moreover, children, parents, and teachers should be educated about personal hygiene to reduce *E. vermicularis* infection.

Keywords: prevalence, *Enterobius vermicularis*, students, Chaiyaphum

Introduction

Enterobius vermicularis (Pinworm, Threadworm or Seatworm) is the cause of enterobiasis or oxyuriasis. It is estimated that over 400 million people are infected, especially children.¹ Although most infections are asymptomatic, some infections are symptomatic. Common enterobiasis symptoms manifest as itching and irritation of perianal region.² Moreover, *E. vermicularis* can occur as severe manifestations in other organs including the appendix, liver and female genitals.³ *E. vermicularis* can be transmitted through oral means, the respiratory tract, and reinfection.^{4,5} Oral infection included the anus-hand-mouth route and/or ingestion of contaminated food. *E. vermicularis* eggs are light so respiratory tract infection would be from inhaling dust contaminated with the parasite eggs.⁵ After ingestion or inhalation of infective eggs, the larvae hatch in the small intestine and the adults develop in the colon.⁶ Reinfection can occur when the newly hatched larvae migrate from the anal skin back into the rectum.⁶ Therefore, the prevalence of *E. vermicularis* infection is high in schoolchildren, low hygiene communities, and slum communities.^{1-3,7}

The prevalence of *E. vermicularis* infection has been reported in many parts of the world, with the prevalence of infections varying considerably, ranging from 0.6 to 38.8%.^{1, 7-10} In Thailand, various studies reported the prevalence of *E. vermicularis* infection in many parts including Northern; Chiang Mai 45.4%, Phitsanulok 25.0%, Kamphaeng Phet 20.3%, Uthai Thani 17.9% and Nakhon Swan 13.8%,^{2, 11} Central; Bangkok 21.6% and Samut Prakan 38.8%,^{7, 12} Southern; Trang 7.1%,¹³ and Northeast; Khon Kaen 50.9%,¹⁴ Chai-

yaphum 23.7%,¹⁵ Nakhon Ratchasima 0.5%,¹⁶ and Maha Sarakham 0.2%.¹⁷

This study surveyed the prevalence of *E. vermicularis* infection among students from elementary schools in Chaiyaphum province, Thailand.

Materials and Methods

Study design

This study was a cross-sectional (descriptive-analysis) study. This study examined on students from 7 elementary schools (Ban Nong Ya Plong, Ban Choraka, Ban Nafhai, Ban Tat Ton, Ban Khro Huai Chan, Ban Nong Waeng and Ban Kud Kha Min schools) in Nafhai sub-district, Mueang district, Chaiyaphum province, Thailand during July to September 2014. Nafhai sub-district is located at the 15.9260° latitude and 102.0147° longitude (Figure 1).

Data collection and Laboratory processing

Researchers visited randomly selected areas of the sub-districts in Mueang district, Chaiyaphum province, accompanied by local public health officials and sub-district health promoting hospital in sub-districts. Parents of students or their legally authorized representative signed consent documents. A total of 441 parents of students were interviewed demographic data. A total 441 students from 7 elementary schools were examined for *E. vermicularis* by the scotch tape technique which is the gold standard for the diagnosis *E. vermicularis* infection. Briefly, we used a piece of clear adhesive tape to obtain a sample from a perianal surface. After that, the sample was mounted on the glass slide and examined under a light microscope by parasitologists.⁶

The 441 students comprised 245 boys and 196 girls. All samples were divided into 3 age groups; 4–6 years, 7–9 years, 10–12 years and were also classified by learning different age groups. Finally, all infected students were treated with mebendazole and were educated for reducing *E. vermicularis* infection effectively.

Statistical analysis

Demographic characteristics of the participants were described by using frequency, percentage, and 95% confidence intervals (CIs) for categorical data, mean and standard deviation (SD) for continuous data. To investigate factors that affect *E. vermicularis* infection, odds ratios (ORs) and their 95%CIs were estimated using simple and multiple logistic regressions for survey sampling.

All analyses were performed using Stata version 10.0 (StataCorp, College Station, TX). All test statistics were performed under a two-sided hypothesis and a *P*-value of less than 0.05 was considered statistically significant. This study was undertaken through the Academic Service by Department of Public Health, Faculty of Arts and Science, Chaiyaphum Rajabhat University, Chaiyaphum province, Thailand.

This study was approved by the Maharat Nakhon Ratchasima Hospital Ethics Committee for Human Research (075/2013).

Results

Demographic Characteristics

Of the 441 students, 55.6% were boys, with a mean age ($\pm$ SD) of 8.4 ($\pm$ 2.5) years old (range: 4–12) (Table 1). The most frequent education level of children's

parents (32.0%) was a secondary school (M.1–M.3). The majority occupation of children's parents (48.3%) was a laborer. The most frequent income of children's parents (48.8%) was 5,001–10,000 Baht (Table 1).

Prevalence of *E. vermicularis* infection

The prevalence of *E. vermicularis* infection was 11.3% (95%CI: 8–14). Infection with *E. vermicularis* was 17.8% (95%CI: 12–23) in age group 7–9 years. The prevalence of *E. vermicularis* infection was 12.6% (95%CI: 8–16) in boys, which was higher than in girls 9.7% (95%CI: 6 – 14) (Table 2).

The most frequent education level of parents with infected children was secondary school (M.1–M.3) 14.1% (95%CI: 9–21). The most frequent occupation of infected children's parents was as Government officer 19.2% (95%CI: 6–39). Additionally, the children's family income was most frequently 5,001–10,000 Baht and 10,001–15,000 Baht were 13.0% (95%CI: 8–18; 95%CI: 5–26, respectively). The Ban Kud Kha Min school had the highest prevalence of infection 20.0% (95%CI: 6–44) (Table 2).

Factors associated with prevalence of *E. vermicularis* infection

The strongest factor that associated with the prevalence of *E. vermicularis* infection was age groups. That is, children aged between 4–6 years and 7–9 years were 6.1 and 7.4 times, respectively, more likely to be infected with *E. vermicularis* than children of 10–12 years (OR = 6.1; 95%CI: 2.1–17.5; *P*-value < 0.001; OR = 7.4; 95%CI: 2.8–19.4; *P*-value < 0.001) (Table 3).

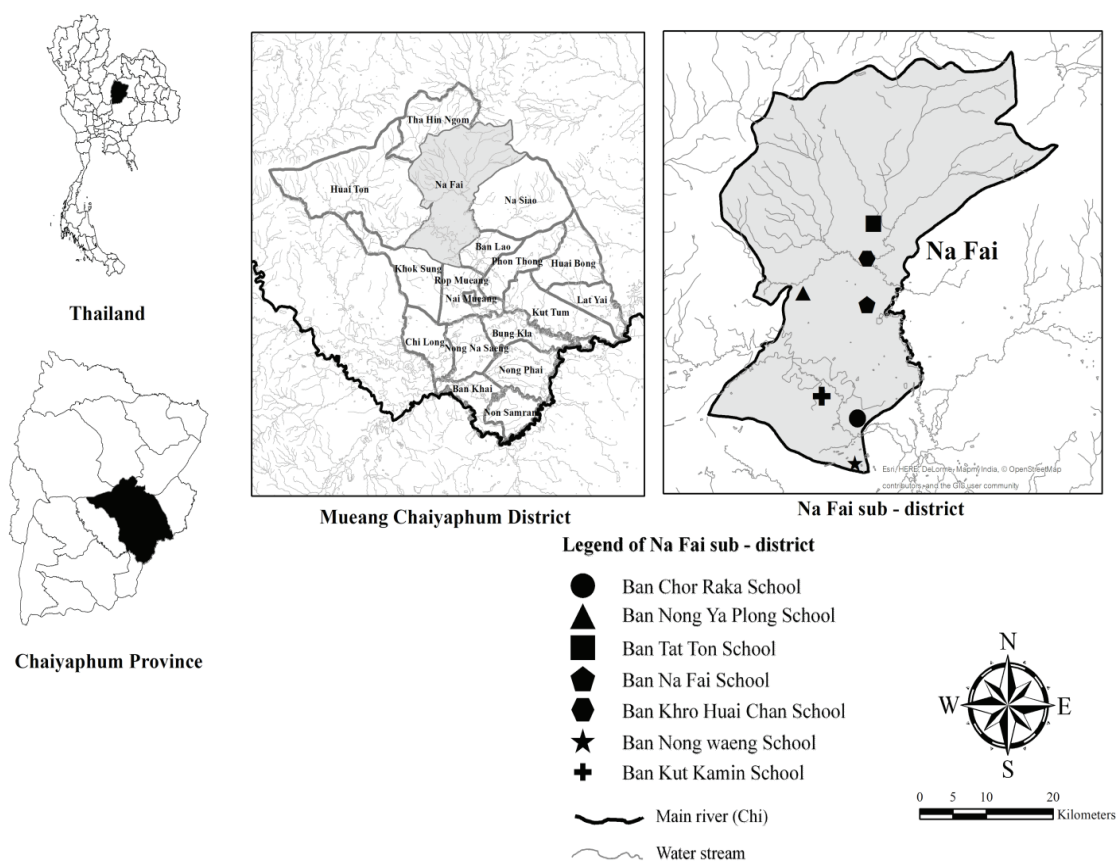


Figure 1 Map of Nafhai sub-district, Mueang Chaiyaphum district, Chaiyaphum province. (Map was created by ArcGIS online: <http://www.arcgis.com/home/index.html>)

Table 1 Demographic characteristic of students from 7 elementary schools

Characteristic	Number	Percentage
Age (years)		
4-6	92	20.9
7-9	174	39.5
10-12	175	39.6
Mean±SD (Min:Max)	8.4 ± 2.5 (4:12)	
Genders		
Girls	196	44.4
Boys	245	55.6
Parents' education levels		
Primary school	58	13.1
Secondary school (M.1-M.3)	141	32.0
Secondary school (M.4-M.6)	97	22.0
Collage	81	18.4
Bachelor	34	7.7
Higher Bachelor	30	6.8
Parents' occupations		
Agriculture	88	20.0

Characteristic	Number	Percentage
Labors	213	48.3
Own business	79	17.9
Government	26	5.9
Private sector	35	7.9
Family income (Bath)		
≤ 5,000	123	27.9
5,001-10,000	215	48.8
10,001-15,000	46	10.4
15,001-20,000	20	4.5
≥20,000	37	8.4
Mean±SD	9,835.8 ± 7,717.4	
Schools		
Ban Nong Ya Plong	140	31.7
Ban Choraka	102	23.1
Ban Nafhai	77	17.5
Ban Tad Ton	48	10.9
Ban Khro Huai Chan	31	7.0
Ban Nong Waeng	23	5.2
Ban Kud Kha Min	20	4.5
Total	441	100.0

Table 2 The prevalence of *E. vermicularis* infection in 7 elementary schools

Factors	Number	Prevalence of <i>E. vermicularis</i> infection	95%CI
Age (years)			
4-6	92	15.2	(8 to 22)
7-9	174	17.8	(12 to 23)
10-12	175	2.8	(0.3 to 5)
Gender			
Girls	196	9.7	(6 to 14)
Boys	245	12.6	(8 to 16)
Parents' education levels			
Higher Bachelor	30	6.7	(0.8 to 22)
Bachelor	34	8.8	(2 to 24)
Collage	81	7.4	(3 to 15)
Secondary school (M.4-M.6)	97	13.4	(7 to 21)
Secondary school (M.1-M.3)	141	14.1	(9 to 21)
Primary school	58	10.3	(4 to 21)
Parents' occupations			
Private sector	35	14.3	(0.4 to 30)
Government	26	19.2	(6 to 39)
Own business	79	7.6	(3 to 15)
Labors	213	11.7	(8 to 15)
Agriculture	88	10.2	(5 to 18)
Family income (Bath)			
≥20,000	37	2.7	(0.1 to 14)
15,001-20,000	20	10.0	(1 to 31)
10,001-15,000	46	13.0	(5 to 26)
5,001-10,000	215	13.0	(8 to 18)
≤ 5,000	123	10.6	(6 to 17)
Schools			
Ban Nong Ya Plong	140	10.7	(6 to 17)
Ban Choraka	102	8.8	(4 to 16)
Ban Nafhai	77	10.4	(5 to 19)
Ban Tad Ton	48	16.7	(7 to 30)
Ban Khro Huai Chan	31	6.5	(1 to 21)
Ban Nong Waeng	23	17.4	(5 to 38)
Ban Kud Kha Min	20	20.0	(6 to 44)
Total	441	11.3	(8 to 14)

Table 3 Simple logistic regression for each category of factors on *E. vermicularis* infection

Factors	Number	Prevalence of <i>E. vermicularis</i> infection	ORs	95%CIs	P-value
Age (years)					<0.001
10-12	175	2.8	1		
7-9	174	17.8	7.37	(2.8 to 19.4)	
4-6	92	15.2	6.10	(2.1 to 17.5)	
Genders					0.330
Girls	196	9.7	1		
Boys	245	12.6	1.35	(0.7 to 2.6)	
Parents' education					0.565
Higher Bachelor	30	6.7	1		
Bachelor	34	8.8	1.35	(0.2 to 8.7)	
Collage	81	7.4	1.12	(0.2 to 5.9)	
Secondary school (M.4-M.6)	97	13.4	2.16	(0.5 to 10.2)	
Secondary school (M.1-M.3)	141	14.1	2.31	(0.5 to 10.5)	
Primary school	58	10.3	1.61	(0.3 to 8.5)	
Parents' occupation					0.554
Private sector	35	14.3	1		
Government	26	19.2	1.42	(0.4 to 5.6)	
Own business	79	7.6	0.49	(0.1 to 1.7)	
Labors	213	11.7	0.79	(0.3 to 2.2)	
Agriculture	88	10.2	0.68	(0.2 to 2.2)	
Family income (Bath)					0.326
≥20,000	37	2.7	1		
15,001-20,000	20	10.0	4.00	(0.3 to 47.1)	
10,001-15,000	46	13.0	5.40	(0.6 to 47.0)	
5,001-10,000	215	13.0	5.40	(0.7 to 40.9)	
≤ 5,000	123	10.6	4.25	(0.5 to 33.7)	

Discussion

This study showed that the overall prevalence of *E. vermicularis* infection among students from seven schools in Nafhai sub-district, Mueang Chaiyaphum district, Chaiyaphum province was 11.3% which was lower than that cited in previous research.^{2, 3, 7, 9, 11, 12, 14,}

¹⁵ These variations in prevalence may be due to differences in environmental condition, socio-economic, education level of parents, and lower personal hygiene.^{18,}

¹⁹ The public health service system has continually sought

to influence people to obtain information for treatment, prevention, and control enterobiasis. However, this study has the prevalence of *E. vermicularis* infection higher than some previous reports.^{13, 16, 17} Because this study used the scotch tape technique for diagnosis of *E. vermicularis* which is the gold standard method whereas other studies used simple direct smear, Kato's thick smear, modified Harada-Mori filter paper strip culture technique and formalin ethyl-acetate concentration technique.^{13, 16, 17} Although infection in boys (12.6%) was higher than girls

(9.7%) the difference was not statistically significant and gender was not significantly associated with *E. vermicularis* infection as noted in some previous reports.^{18, 20, 21} However, other work reported that gender was significantly associated with *E. vermicularis* infection, with boys suffering considerably higher infection rates than girls.^{9, 22} In the present study, the most of the parents' were educated to secondary school level (M.1-M.3), although education was not significantly associated with *E. vermicularis* infection. Nevertheless, some researchers reported parents' education levels were associated with *E. vermicularis* infection.^{18, 23} The present study indicated parents' income and occupations were not related with *E. vermicularis* infection, which was similar to the previous study.⁷ The result of this study showed that the age groups of 7–9 years had the highest prevalence of *E. vermicularis* infection (17.8%) and the age groups of children influenced the prevalence of *E. vermicularis* infection (P -value <0.001) similarly to the previous studies.^{7, 12, 18} Younger children tended to have higher *E. vermicularis* infection than older children. This might be because younger children do not have enough knowledge about preventing *E. vermicularis* infection.¹⁹

Conclusions

This study showed that enterobiasis is an important problem for school children, especially younger children. Therefore, children should be checked for *E. vermicularis* infection at least 1–2 times a year. Furthermore, children, parents, and teachers should be educated about personal hygiene to reduce *E. vermicularis* infection. The schools should provide the right environment for learning and prevent *E. vermicularis* infection such as good ventilation and the right number students in the classroom. Additionally, local government should emphasize and support continued efforts at solving of this problem. All organization and the government should produce educational media that are suitable for each child's age groups to prevent and control *E. vermicularis* infection. In the future, we should study the pattern of problem-solving of *E. vermicularis* infection in primary school children in accordance with community context.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the director of 7 elementary schools in Nafhai sub-district and the director of Nafhai sub-district health promoting hospital for their support throughout the course of this study.

References

1. Chang TK, Liao CW, Huang YC, Chang CC, Chou CM, Tsay HC, et al. Prevalence of *Enterobius vermicularis* Infection among preschool children in kindergartens of Taipei City, Taiwan in 2008. Korean J Parasitol. 2009;47(2):185-7.
2. Tukaew A, Chaisalee T, Nithiuthai S, Thiamtip S, Suyaphun A, Wiwanitkit V, et al. *Enterobius vermicularis* infection among pre-school children in Karen hilltribe villages in Chiang Mai, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2002;33 Suppl 3:70-1.
3. Nithikathkul C, Changsap B, Wannapinyosheep S, Poister C, Boontan P. The prevalence of enterobiasis in children attending mobile health clinic of Huachiew Chalermprakiet University. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2001;32 Suppl 2:138-42.
4. Herrstrom P, Fristrom A, Karlsson A, Hogstedt B. *Enterobius vermicularis* and finger sucking in young Swedish children. Scand J Prim Health Care. 1997;15(3):146-8.
5. Pezzani BC, Minvielle MC, de Luca MM, Córdoba MA, Apezteguía MC, Basualdo JA. *Enterobius vermicularis* infection among population of General Mansilla, Argentina. World Journal of Gastroenterology : WJG. 2004;10(17):2535-9.
6. Shoup B. Diagnosis and management of pinworm infection. Primary Care Update for OB/GYNS. 2001;8(6):240-3.
7. Nithikathkul C, Changsap B, Wannapinyosheep S, Poister C, Boontan P. The prevalence of *Enterobius vermicularis* among primary school students in Samut Prakan Province, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2001;32:133-7.
8. Gunawardena NK, Chandrasena TN, de Silva NR. Prevalence of enterobiasis among primary school

- children in Ragama, Sri Lanka. Ceylon Med J. 2013;58(3):106-10.
9. Park JH, Han ET, Kim WH, Shin EH, Guk SM, Kim JL, et al. A survey of *Enterobius vermicularis* infection among children on western and southern coastal islands of the Republic of Korea. Korean J Parasitol. 2005;43(4):129-34.
 10. Yazgan S, Cetinkaya U, Sahin I. The Investigation of Prevalence of *Enterobius vermicularis* (L.1758) in Primary School Age Children and Its Relation to Various Symptoms. Turkiye parazitolojii dergisi. 2015;39(2):98-102.
 11. Bunchu N, Vitta A, Thongwat D, Lamlertthon S, Pimolsri U, Waree P, et al. *Enterobius vermicularis* infection among children in lower northern Thailand. J Trop Med Parasitol. 2011;34(1):36-40.
 12. Changsap B, Nithikathkul C, Boontan P, Wannapinyosheep S, Vongvanich N, Poister C. Enterobiasis in primary schools in Bang Khun Thian District, Bangkok, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2002;33 Suppl 3:72-5.
 13. Sriprang W, Jamulitrat S. Prevalence of Intestinal Helminths and Intensity of Hookworm Infestation in the Libong Island Community, Kantang District, Trang Province. Com Dis J. 2000;26(2):126-30.
 14. Kaewkes S, Tesana S, Sithithaworn P, Srisawangwonk T, Raengsangounwong P. Enterobiasis in young school children in Bangkok. J Parasitol Trop Med Assoc Thai 1983;6:19-24.
 15. Laoraksawong P and Pradithaprecha A. Prevalence of *Enterobius vermicularis* Infection among School Children in Ban Nafai School and Ban Choraka School, Chaiyaphum Province. KKU Journal for Public Health Research. 2013;6(4):149-55.
 16. Kitvatanachai S, Boonslip S, Watanasatitarpa S. Intestinal parasitic infections in Srimum suburban area of Nakhon Ratchasima Province, Thailand. Trop Biomed. 2008;25(3):237-42.
 17. Thanchomnang T, Yahom S, Radomyos P. Prevalence of Intestinal Parasitic Infections in Villagers and Teachers in Mahasarakham Province. J Trop Med Parasitol. 2012;35:63-7.
 18. Li HM, Zhou CH, Li ZS, Deng ZH, Ruan CW, Zhang QM, et al. Risk factors for *Enterobius vermicularis* infection in children in Gaozhou, Guangdong, China. Infectious diseases of poverty. 2015;4:28.
 19. Moosazadeh M, Abedi G, Afshari M, Mahdavi SA, Farshidi F, Kheradmand E. Prevalence of *Enterobius vermicularis* among Children in Iran: A Systematic Review and Meta-analysis. Osong Public Health Res Perspect. 2017;8(2):108-15.
 20. Chen KY, Yen CM, Hwang KP, Wang LC. *Enterobius vermicularis* infection and its risk factors among pre-school children in Taipei, Taiwan. J Microbiol Immunol Infect. 2017.
 21. Nateeworanart S, Vitta A, Lee UP. Egg positive rate of *Enterobius vermicularis* in children in a rural area of Phichit province, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health. 2007;38:40.
 22. Ebrahimzadeh A, Saryazdipoor K, Gharaei A, Mohammadi S, Jamshidi A. Prevalence of *Enterobius vermicularis* infection among preschool children of Khash City Kindergartens, Khash. Iran J North Khorasan Univ Med Sci. 2014;6:477-81.
 23. Kim DH, Son HM, Kim JY, Cho MK, Park MK, Kang SY, et al. Parents' knowledge about enterobiasis might be one of the most important risk factors for enterobiasis in children. Korean J Parasitol. 2010;48(2):121-6.

คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ พระนครศรีอยุธยา

Carbon Footprint of Organization: A Case Study of the Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

วัชรารณณ์ ตันติพานาทิพย์¹

Watcharaporn Tantipanatip^{1*}

Received: 20 December 2017; Accepted: 9 February 2018

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ขอบเขตการศึกษานี้ใช้ข้อมูลของปีการศึกษา พ.ศ. 2559 (วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2559 ถึง 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2560) โดยวิธีคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อมจาก 7 กิจกรรมหลัก คือ 1) การใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 2) อุปกรณ์ดับเพลิง 3) วัสดุสำนักงาน 4) พลังงานเชื้อเพลิง 5) พลังงานไฟฟ้า 6) น้ำประปา และ 7) การกำจัดขยะ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลสำหรับวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สภาวะแวดล้อม เพื่อประโยชน์ในการวางแผนลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในอนาคต ผลการศึกษาพบว่าคาร์บอนฟุตพริ้นท์ทั้งหมดที่ถูกปล่อยจากภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่ากับ 3,559.644 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี และมีค่าเฉลี่ยคาร์บอนฟุตพริ้นท์ต่อคนเท่ากับ 1.855 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อคน ซึ่งกิจกรรมการใช้สารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเป็นแหล่งกำเนิดใหญ่สุดที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก รองลงมาคือ การใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานเชื้อเพลิง การกำจัดขยะ น้ำประปา วัสดุสำนักงานและอุปกรณ์ดับเพลิงเท่ากับ 2,043.000, 1,344.950, 67.578, 65.090, 33.870, 1.714 และ 0.264 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อปี ตามลำดับ ดังนั้นมาตรการที่ได้ผลดีและยั่งยืนในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกคือการเปลี่ยนชนิดของสารทำความเย็น ในเครื่องปรับอากาศและการใช้หลักการอนุรักษ์พลังงานที่นอกจากจะช่วยลดค่าใช้จ่ายแล้วยังช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: คาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร ก๊าซเรือนกระจก มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

Abstract

This paper presents the carbon footprint assessment of the Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University. Direct and indirect greenhouse gas (GHG) emissions were calculated and data was collected in the academic year 2016 (August 1st, 2016 to May 31st, 2017). The major sources of GHG emissions were classified into seven main categories, which were 1) refrigerant of air conditioner, 2) fire extinguisher, 3) office supplies, 4) fuel consumption, 5) electricity consumption, 6) running water and 7) solid waste disposal. This research aims to use the result as a database, analyze resource use and GHG emissions to the environment in order to contribute to strategy planning on future GHG reduction. The total carbon footprint of the Faculty of Science and Technology was 3,559.644 ton CO₂ eq/year and the average carbon footprint per person was 1.855 ton CO₂ eq/individual. From the

¹ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, ภาควิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000

¹ Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat Province, 13000

* Corresponding author; Watcharaporn Tantipanatip, Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat Province, 13000, Thailand. momojay_25@hotmail.com

calculation, refrigerant of air conditioner was considered as the biggest source of GHG emission generating 2,043.000 ton CO₂ eq/year. Emissions from electricity consumption, fuel consumption, solid waste disposal, running water, office supplies and fire extinguisher were 1,344.950, 67.578, 65.090, 33.870, 1.714 and 0.264 ton CO₂ eq/year, respectively. The implementation options for the reduction of carbon footprint were modification of the refrigerant of air conditioner and energy conservation.

Keywords: Carbon footprint of organization, greenhouse gas, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

บทนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและภาวะโลกร้อน (Climate change and global warming) มีสาเหตุสำคัญจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ตลอดหลายช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ประกอบกับนโยบายของประเทศที่ต้องการพัฒนาระบบอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง รวมถึงการพัฒนาด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการผลิต สิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของมนุษย์ที่นับวันจะยิ่งเพิ่มจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งกิจกรรมเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N₂O) ก๊าซโอโซน (O₃) สาร CFC (Chlorofluorocarbon) ก๊าซไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) ก๊าซเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) และก๊าซซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF₆) เป็นต้น¹

การรายงานข้อมูลปริมาณก๊าซเรือนกระจกในปี พ.ศ. 2550 พบความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ โดยเฉลี่ย ในชั้นบรรยากาศประมาณ 380 ppm (part per million) ซึ่งนักวิทยาศาสตร์และนักเศรษฐศาสตร์ได้คาดการณ์ว่าหากปริมาณก๊าซ CO₂ ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นเท่ากับ 450 ppm² จะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกจนทำให้เกิดสภาวะแห้งแล้งหรือปัญหาน้ำท่วมรุนแรงในบางพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงไปของระบบนิเวศที่อาจส่งผลให้เกิด การสูญพันธุ์ของพืชและสัตว์ เป็นต้น

สถานการณ์โลกร้อนที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นนี้ กลายเป็นกุญแจสำคัญให้หลายประเทศทั่วโลกร่วมกันหา นโยบาย และแนวทางลดการปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศด้วยวิธีและเทคโนโลยีต่าง ๆ อาทิเช่น การเชิญชวนให้หลายประเทศเข้าร่วมและให้สัตยาบันในพิธีสารเกียวโต (Kyoto protocol) พิธีสารมอนทรีออล (Montreal protocol) หรือมาตรการกำหนดภาษีคาร์บอน (Carbon taxes) โดยให้แต่ละประเทศต้องแสดงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยตลอดกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นสินค้าส่งออก³

ขั้นตอนการจัดทำฐานข้อมูลการปลดปล่อย ก๊าซเรือนกระจกเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนในหลายประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทย ทั้งนี้แนวทางคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่นิยมใช้ในประเทศไทยมีด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Carbon footprint of product) การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร (Carbon footprint for organization) และการใช้ฉลากลดคาร์บอน (Carbon reduction label)⁴

การคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon footprint) นับเป็นเครื่องมือสำคัญในการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการดำเนินงานด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือองค์กรในแง่ของการรายงานข้อมูล การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก นอกจากนี้การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในระดับองค์กร (Carbon Footprint for Organization: CFO) ยังเป็นการแสดงข้อมูลก๊าซเรือนกระจกที่อาจถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศโลก อันเนื่องจากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดทั้งกระบวนการผลิตหรือการบริหารจัดการภายในองค์กร นั้น ๆ โดยพิจารณาในรูปของปริมาณก๊าซเรือนกระจก ที่ถูกปลดปล่อยในหน่วยของน้ำหนักคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (Equivalent carbon dioxide: CO₂ eq)⁴ อาทิเช่น กระบวนการเผาไหม้จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิง การใช้พลังงานไฟฟ้า การจัดการของเสียและการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น อันจะนำไปสู่ขั้นตอน การกำหนดแนวทางบริหารจัดการกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หรือบริการนั้น ๆ เพื่อลดปริมาณก๊าซ เรือนกระจกที่อาจถูกปลดปล่อยอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในระดับหน่วยงาน บริษัท องค์กร โรงงาน ตลอดจนระดับอุตสาหกรรมและประเทศ^{5,6}

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา เป็นหนึ่งในสถานศึกษาระดับอุดมศึกษาที่สำคัญของจังหวัดพระนครศรีอยุธยาโดยมีรูปแบบการบริหารงานประกอบด้วยศูนย์สำนักงาน กอง สถาบันต่าง ๆ ทั้งนี้มหาวิทยาลัยมีการจัดการเรียนการสอนด้วยกัน 4 คณะ ได้แก่ คณะครุศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

และคณะวิทยาการจัดการเป็นต้น โดยเฉพาะการบริหารจัดการภายใน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าในปีการศึกษา 2556 มีจำนวนบุคลากรทั้งสิ้น 98 คน และนักศึกษาจำนวน 1,821 คน^{7,8} นอกจากนี้ การจัดการเรียนการสอนภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะรายวิชาปฏิบัติการหรือการดำเนินงานวิจัยทั้งคณาจารย์และนักศึกษาที่มีความจำเป็นต้องใช้สารเคมี อุปกรณ์วิทยาศาสตร์และเครื่องมือชั้นสูงหลายชนิด ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและสารเคมีอันเป็นสาเหตุสำคัญของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์จาก การดำเนินกิจกรรมของบุคลากรและนักศึกษา ตลอดปีการศึกษา 2559 กรณีศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โดยมีขอบเขตการศึกษาเพื่อประโยชน์ต่อการจัดทำฐานข้อมูลการใช้ทรัพยากรและพลังงานต่าง ๆ รวมถึงปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อย เพื่อนำ ผลการศึกษานี้ไปพัฒนาและวางแผนปรับปรุงแนวทาง การจัดเก็บข้อมูลก๊าซเรือนกระจกของมหาวิทยาลัย ราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ในปีถัดไปและเป็นแนวทาง ในการบริหารจัดการเพื่อลดปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกในอนาคต นอกจากนี้ยังเป็นการแสดงให้เห็นว่ามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ได้ตระหนักถึงความสำคัญของปัญหาโลกร้อนและร่วมกันหาแนวทางบริหารจัดการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อตอบสนองต่อนโยบายประเทศเกี่ยวกับนโยบายการมุ่งหน้าสู่สังคมคาร์บอนต่ำในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560-2564)

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

การกำหนดขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการดำเนินกิจกรรมของบุคลากรและนักศึกษาภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย ราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ตลอดปีการศึกษา 2559 ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้จึงได้ดำเนินการสุ่มคัดเลือกตัวแทนอาคาร ที่ทำการสำรวจและเก็บข้อมูลที่สนใจศึกษาทั้งสิ้น 3 อาคาร ได้แก่ อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์ (อาคาร 5 และอาคาร 24) และอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 42) เป็นต้น ซึ่งเป็นอาคารที่มีการบริหารจัดการและมีการดำเนินกิจกรรมของทั้งบุคลากรและนักศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ประกอบการประเมินคาร์บอน ฟุตพริ้นท์สามารถรวบรวมได้จากการลงพื้นที่สำรวจอาคารตัวแทนทั้ง 3 และการสัมภาษณ์ (Interview) บุคลากรและนักศึกษาของคณะ

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนนักศึกษาคณะอื่น ๆ ที่มีการดำเนินกิจกรรมภายในอาคารที่เป็นตัวแทนศึกษา นอกจากนี้ยังอาศัยข้อมูลจากการคำนวณ (Calculation) มาใช้ในส่วนตอนประเมินปริมาณก๊าซเรือนกระจก ซึ่งสามารถกำหนดขอบเขตการเก็บรวบรวมข้อมูลกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังนี้

1) ประเภทที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct GHG emission) ได้แก่ การทำปฏิกิริยาของสารเคมีที่ใช้ในการเรียนการสอนหรือการดำเนินงานวิจัยของคณาจารย์และนักศึกษา กิจกรรมการเช่าเหมายานพาหนะโดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นผู้เติมน้ำมันให้ กิจกรรมการรั่วไหลของสารดับเพลิงและสารทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศ ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากสำนักงานคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

2) ประเภทที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy indirect GHG emission) โดยการลงพื้นที่สำรวจจำนวน ประเภทและระยะเวลาใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละอาคารที่ทำการศึกษา ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องพิมพ์ เครื่องปรับอากาศ เครื่องโปรเจคเตอร์ หลอดไฟ พัดลมติดเพดาน อุปกรณ์และเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ รวมถึงจำนวนและประเภทเครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์

3) ประเภทที่ 3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Indirect GHG emission) จากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในประเภทที่ 1 และ 2 ได้แก่ ข้อมูลการใช้น้ำประปาทั้ง 3 อาคาร การใช้งานกระดาษ A4 (ขนาด 80 แกรม) กระดาษข้อสอบและกระดาษชำระของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี รวมถึงกิจกรรมการขนส่งขยะมูลฝอยและกิจกรรมการฝังกลบขยะอินทรีย์ เป็นต้น ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากสำนักงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และฝ่ายอาคารสถานที่

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขั้นตอนการคำนวณปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีคำนวณตามแนวทาง การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร^{9,10} ภายใต้มาตรฐานของ ISO 14064-1, ISO/PDTR 14069 และ Greenhouse Gas Protocol ที่ถูกกำหนดขึ้นโดย World Resources Institute โดยอาศัยข้อมูลการดำเนินกิจกรรมจากทั้ง 3 ประเภทที่สนใจศึกษาแล้วนำมาคูณกับ ค่าสัมประสิทธิ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission factor; EF) ซึ่งในการคำนวณนี้ได้อ้างอิงค่า EF จากองค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทย ดังแสดงในสมการที่ (1) การประเมินปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์

จากการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ และสมการที่ (2) คำนวณในการดูกลับก๊าซเรือนกระจกโดยแสดงผลลัพธ์ที่ได้ในหน่วยตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ต่อปี (ton CO₂ eq/year)

$$CFP = \sum AD_i \times EF_i \quad (1)$$

$$CO_2 \text{ equivalent emission} = \sum [Emission_{gas} \times GWP_{gas}] \quad (2)$$

โดย CFP คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากแหล่งกำเนิด (ton CO₂ eq/year)

AD_i คือ การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจาก การดำเนินกิจกรรม i

EF_i คือ ค่า EF แต่ละกิจกรรม i (ton CO₂ eq/year)

การคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในกิจกรรมเข้าหามยานพาหนะ ตลอดปีการศึกษา 2559 ในกรณีที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเป็นผู้เติมน้ำมันให้ ดังแสดงในสมการที่ (3)

$$Emissions_{fuel} = Fuel \text{ consumption} \times EF_{fuel} \quad (3)$$

โดย Emissions_{fuel} คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ton CO₂ eq/year)

Fuel consumption คือ ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิดที่ถูกนำมาใช้ (L/year)

EF_{fuel} คือ ค่า EF ของน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด (ton CO₂ eq/L)

การประเมินและการจัดการความไม่แน่นอน (Uncertainty)

ขั้นตอนการประเมินความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกขององค์กร นับเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญยิ่ง เพื่อใช้แสดงถึงระดับคุณภาพของข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เก็บรวบรวมได้และความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการคำนวณปริมาณการปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกโดยการประยุกต์ใช้ค่า EF ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินความไม่แน่นอนนี้จะถูกนำไปทบทวน อีกครั้งในขั้นตอนของการประเมิน เพื่อหาแนวทางจัดการความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นและการจัดการคุณภาพบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจก ทั้งนี้ค่าระดับคุณภาพของข้อมูลสามารถแสดงดัง Table 1 ส่วนระดับความไม่แน่นอนและคุณภาพของข้อมูลสามารถแสดงใน Table 2

Table 1 Data quality scores⁴

Item	Levels of data quality					
	X = 6 Points		Y = 3 Points		Z = 1 Points	
Activity Information	Continuous data collection (CDC)		Data collection from meter and receipt		Data estimation	
Emission	A = 6 Points	B = 5 Points	C = 4 Points	D = 3 Points	E = 2 Points	F = 1 Points
Factors (EF)	EF from quality measurements	EF from instrument	EF from producer	EF from region	EF in national	EF in international

Table 2 Level of uncertainty and data quality⁴

Level	Overall rating scale	Definition
1	1 – 6	High uncertainty, Very poor quality
2	7 – 12	High uncertainty, Poor quality
3	13 – 18	Uncertainty, Medium quality
4	19 – 24	Slight uncertainty, Medium quality
5	25 – 30	Low uncertainty, Good quality

ผลการศึกษา

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากการดำเนินกิจกรรมภายในคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ตลอดปีการศึกษา 2559 สามารถจำแนกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1) ประเภทที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางตรง (Direct GHG Emission)

1.1 การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงจากกิจกรรมเข้าหามาพยาบาลของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จากข้อมูลสำรวจตลอดปีการศึกษา 2559 พบว่ามีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพียงประเภทเดียวคือ น้ำมันดีเซล โดยมีปริมาณการใช้งานทั้งสิ้น 24,622.050 L/year และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 67.578 ton CO₂eq/year

1.2 การเปลี่ยนถ่ายสารทำความเย็นและการใช้น้ำยาทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศ พบว่า แต่ละอาคารที่ทำการศึกษามีการใช้เครื่องปรับอากาศหลากหลายยี่ห้อ รุ่น และขนาด รวมทั้งอายุการใช้งาน ของแต่ละเครื่องที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ มหาวิทยาลัย ได้มอบหมายให้ฝ่ายอาคารสถานที่จัดทำตารางกำหนดช่วงเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ โดยจัดให้มีการทำความสะอาดและเปลี่ยนถ่ายน้ำยาปรับอากาศเฉลี่ยปีละ 1 ครั้ง ซึ่งพบว่ามีการใช้น้ำยา ทำความสะอาดชนิด HCFC-141b (1,320 kg/year) และน้ำยาปรับอากาศชนิด R-22 (600 kg/year) ผลประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของกิจกรรมบำรุงรักษาและเปลี่ยนถ่ายสารทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศเป็นกิจกรรมหลัก ที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเท่ากับ 2,043.000 ton CO₂eq/year (Table 3)

1.3 การรั่วซึมของสารดับเพลิงขณะใช้งาน ข้อมูลจากการสำรวจสามารถจัดแบ่งประเภทของ สารดับเพลิงที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีใช้งานออกเป็น 3 ประเภท คือ อุปกรณ์ดับเพลิงชนิดเคมีแห้ง (Dry Chemical Fire Extinguisher) อุปกรณ์ดับเพลิงชนิด น้ำยาเหลวระเหยบีซีเอฟ ฮาลอน 1211 (Halon 1211 Fire Extinguisher) และอุปกรณ์

ดับเพลิงชนิด AF11E (AF11E Fire Extinguisher) ซึ่งปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้อุปกรณ์ดับเพลิงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.264 ton CO₂eq/year ดังแสดงใน table 4

1.4 กิจกรรมการเผาไหม้ของสารเคมีจากห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนการสอนและการดำเนิน งานวิจัยของนักศึกษาและคณาจารย์ ซึ่งมีข้อมูลการใช้สารเคมีในกิจกรรมการเผาไหม้โดยเฉพาะการใช้เอทิลแอลกอฮอล์โดยเฉลี่ย 105 L/year และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเท่ากับ 0.201 ton CO₂eq/year พบว่าอาคาร 24 มีปริมาณการใช้เอทิลแอลกอฮอล์และ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมการเผาไหม้สูงที่สุด (50 L/year และ 0.096 ton CO₂eq/year)

ดังนั้นปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ที่ถูกปลดปล่อยในประเภทที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2,111.043 ton CO₂eq/year

2) ประเภทที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้า (Energy Indirect GHG Emission)

ก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พบว่าตลอดปีการศึกษา 2559 มีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น 1,429,350.04 kWh/year และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในประเภทที่ 2 เท่ากับ 1,344.951 ton CO₂eq/year (table 5) โดยผลสำรวจแสดงให้เห็นว่าอาคาร 42 มีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด (651,329.59 kWh/year และ 870.903 ton CO₂eq/year) เมื่อเปรียบเทียบกับอาคาร 5 และ 24

3) ประเภทที่ 3 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางอ้อมอื่น ๆ (Other Indirect GHG Emission)

3.1 กิจกรรมการใช้น้ำประปาตลอด ปีการศึกษา 2559 จากการสำรวจข้อมูลการใช้น้ำประปาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเท่ากับ 48,091.10 m³/year และมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวมเท่ากับ 33.870 ton CO₂eq/year (Table 6)

Table 3 Greenhouse gas emissions from refrigerant of air conditioner used in academic year 2016

Building	Type	Quantity (kg/year)	Emission factor (kg CO ₂ eq/unit)	Greenhouse gas emission (ton CO ₂ eq/year)
Building 5	R-22	60	1,810	108.600
	HCFC-141b	120	725	87.000
Building 24	R-22	300	1,810	543.000
	HCFC-141b	600	725	435.000
Building 42	R-22	240	1,810	434.400
	HCFC-141b	600	725	435.000
Total		1,920		2,043.000

Table 4 Greenhouse gas emissions from fire extinguisher used in academic year 2016

Building	Type	Quantity (kg/year)	Emission factor (kg CO ₂ eq/unit)	Greenhouse gas emission (ton CO ₂ eq/year)
Building 5	Dry Chemical Fire Extinguisher	22.50	3.77	0.085
Building 24	Dry Chemical Fire Extinguisher	12.50	3.77	0.122
	Halon 1211 Fire Extinguisher	0.00	9,810	0.000
Building 42	Dry Chemical Fire Extinguisher	15.20	3.77	0.057
	AF11E Fire Extinguisher	10.75	0	0.000
Total		60.95		0.264

Table 5 Greenhouse gas emissions from electricity consumption in academic year 2016

Building	Quantity (kWh/year)	Emission factor (kg CO ₂ eq/unit)	Greenhouse gas emission (ton CO ₂ eq/year)
Building 5	367,761.04	0.6093	224.077
Building 24	410,259.41	0.6093	249.971
Building 42	651,329.59	0.6093	870.903
Total	1,429,350.04		1,344.951

Note: * kWh is kilowatt-hour

Table 6 Greenhouse gas emissions from water supply used in academic year 2016

Building	Quantity (m ³ /year)	Emission factor (kg CO ₂ eq/unit)	Greenhouse gas emission (ton CO ₂ eq/year)
Building 5	13,940.12	0.7043	9.818
Building 24	20,510.07	0.7043	14.445
Building 42	13,640.91	0.7043	9.607
Total	48,091.10		33.870

Note: * m³ is cubic meter

3.2 การใช้วัสดุสำนักงานภายใน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดปีการศึกษา 2559 ได้แก่ ข้อมูลการใช้กระดาษ A4 (ขนาด 80 แกรม) กระดาษข้อสอบและกระดาษชำระ ซึ่งมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยเท่ากับ 1.714 ton CO₂eq/year ดังแสดงใน Table 7

3.3 กิจกรรมการขนส่งและกำจัดขยะ มูลฝอยของมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ผลสำรวจพบว่ามีการจัดเก็บและรวบรวมขยะมูลฝอยเป็นประจำทุกวัน จำนวน 2 เที่ยว เวลา 06.30 – 8.30 น. และเวลา 13.00 – 15.00 น. จากนั้นจึงนำไปกำจัดยังหลุมฝังกลบขยะ ณ ตำบลมหาพราหมณ์ อำเภอบางบาล จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระยะทางในการขนส่งประมาณ 14.72 กิโลเมตร น้ำหนักเฉลี่ยของขยะมูลฝอยที่บรรจุทุกในแต่ละเที่ยวประมาณ 400 – 500 กิโลกรัม องค์ประกอบโดยรวมของขยะมูลฝอยที่สำรวจได้ สามารถจำแนกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ขยะอินทรีย์ (74.50%) ขยะทั่วไป (9.85%) ขยะพลาสติก (8.32%) และขยะกระดาษ (7.33%) เป็นต้น

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมการกำจัดและฝังกลบขยะมูลฝอย พบว่าขยะอินทรีย์มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเท่ากับ 58.432 ton CO₂eq/year ตามด้วยขยะกระดาษที่มีการปลดปล่อยเท่ากับ 6.658 ton CO₂eq/year

ดังนั้นปริมาณก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดที่ถูกปลดปล่อยในประเภทที่ 3 จึงมีค่าเท่ากับ 100.674 ton CO₂eq/year

ผลประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และการจัดการความไม่แน่นอน (Uncertainty) ที่เกิดจากการจัดทำบัญชีรายการก๊าซเรือนกระจกของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ตลอดปีการศึกษา 2559 โดยใช้ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกจากการดำเนินกิจกรรมทั้ง 3 ประเภท (table 8) ซึ่งผลประเมินและการจัดการความไม่แน่นอนนี้สามารถแสดงให้เห็นว่าระดับคุณภาพของข้อมูลในแต่ละชุด มีระดับคะแนนความไม่แน่นอนอยู่ในระดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลเหล่านี้มีคุณภาพที่ไม่ดี ทั้งนี้อาจมีสาเหตุจากค่า Emission factor ที่นำมาใช้ในขั้นตอนของการคำนวณ เนื่องจากค่าคะแนนในส่วนนี้มักเป็นค่าที่ได้จากฐานข้อมูลระดับประเทศและฐานข้อมูลสากล ซึ่งหากในอนาคตมีค่า Emission factor ที่ได้จากการตรวจวัดจริงหรือจากการรายงานโดยผู้ผลิตนั้น ๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการนำมาใช้ในการคำนวณโดยตรงและ ช่วยให้ผลคูณของระดับคะแนนในส่วนของการจัดเก็บข้อมูลกับค่า Emission factor มีระดับคะแนนที่สูงขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ระดับความน่าเชื่อถือของแหล่งข้อมูลให้มีค่าสูงขึ้นไปด้วย

Table 7 Greenhouse gas emissions from office supplies used in academic year 2016

Item	Quantity (Unit/year)	Quantity (kg/year)	Greenhouse gas emission (ton CO ₂ eq/year)
A4 paper size	368 Ream	920.00	1.058
Answer sheet	197 Ream	492.50	0.566
Toilet paper	28 Roll	78.40	0.090
Total	593	1,490.90	1.714

Note: *Emission Factor of paper is 0.7043 kg CO₂eq/unit

Table 8 Evaluation results and management of uncertainty for the Faculty of Science and Technology

Type	Item	Levels of data quality	Score of EF	Evaluation results	Data quality
Direct GHG emission	Take vehicle on lease	3	2	6	1
	Air conditioner (HCFC-141b)	3	2	6	1
	Air conditioner (R-22)	3	2	6	1
	Fire extinguisher	1	2	2	1
	Laboratory chemicals use	1	2	2	1
Electricity indirect GHG emission	Electricity use in Building 5	3	2	6	1
	Electricity use in Building 24	3	2	6	1
	Electricity use in Building 42	3	2	6	1
Other indirect GHG emission	Running water use	3	2	6	1
	A4 paper size use	3	1	3	1
	Answer sheet use	3	1	3	1
	Toilet paper use	3	1	3	1
	Waste transportation (100% Loading)	1	2	2	1
	Waste transportation (0% Loading)	1	2	2	1
	Burying organic waste	1	1	1	1
	Burying waste paper	1	1	1	1

วิจารณ์และสรุปผล

ผลประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ตลอดปีการศึกษา 2559 มีค่าเท่ากับ 3,559.644 ton CO₂eq/year เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เทียบเท่าต่อคนคือ 1.855 ton CO₂eq/individual ซึ่งมีปริมาณ การปลดปล่อยสูงกว่าผลการศึกษาของไพรัช อุสุภรัตน์ และ หาญพล พันธ์ศรี ที่รายงานปริมาณคาร์บอนฟุตพริ้นท์จากการ ดำเนินกิจกรรมของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2553 ที่มีการปลดปล่อยเพียง 1.62 ton CO₂eq/individual เมื่อ พิจารณาในแง่ของจำนวนบุคลากรและนักศึกษาที่มีจำนวน มากกว่า ประกอบกับพฤติกรรมการใช้พลังงาน ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองต่อการบริหารจัดการภายในองค์กร

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกกิจกรรม ที่ก่อให้เกิด การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 การปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกโดยตรง (Direct GHG emission) เท่ากับ 2,112.851 ton CO₂eq/year ประเภท ที่ 2 การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยอ้อมจากการใช้ พลังงานไฟฟ้า (Electricity indirect GHG emission) เท่ากับ 1,344.951 ton CO₂eq/year และประเภทที่ 3 การปลดปล่อยก๊าซ เรือนกระจกโดยทางอ้อมอื่น ๆ (Other indirect GHG emission) คือ 101.842 ton CO₂eq/year

ผลการศึกษสามารถสรุปได้ว่ากิจกรรม การบำรุง รักษาและเปลี่ยนถ่ายน้ำยาในเครื่องปรับอากาศเป็นสาเหตุ หลักที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดเท่ากับ 2,043.000 ton CO₂eq/year รองลงมาคือ การปลดปล่อยจาก กิจกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1,344.951 ton CO₂eq/year ขณะที่กิจกรรมที่ก่อให้เกิด การปลดปล่อยก๊าซเรือน กระจกน้อยที่สุดคือการเผาไหม้สารเคมีในห้องปฏิบัติการเท่ากับ 0.201 ton CO₂eq/year

เป็นที่น่าสนใจว่าผลการศึกษาในครั้งนี้แตกต่างจาก ผลการศึกษารายงานอื่น ๆ ที่รายงานว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็น กิจกรรมที่ก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด^{3, 9, 10, 11} ทั้งนี้เนื่องจาก ในกิจกรรมการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศมีการใช้ สารทำความเย็นชนิด R-22 และน้ำยาชนิด HCFC-141b ซึ่งเป็นสารที่มีศักยภาพในการก่อให้เกิดภาวะ โลกร้อน (Global Warming Potential: GWP) ในปริมาณสูง เท่ากับ 1,810 และ 725 kg CO₂eq/unit ซึ่งข้อมูลจากการ สืบรวจพบว่าคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ใช้สารทำความ เย็นชนิด R-22 และน้ำยาชนิด HCFC-141b ในปริมาณสูงถึง 600 และ 1,320 kg/year

อย่างไรก็ตามหากคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีการปรับเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศมาใช้รุ่นที่ประหยัดพลังงาน มากขึ้นหรือเปลี่ยนชนิดของสารทำความเย็นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

โดยอาจพิจารณาเลือกชนิดสารทำความเย็น ที่มีค่า GWP ต่ำกว่าชนิด R-22 ก็จะช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่อาจถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมเหล่านี้ได้ ตัวอย่างเช่นการเลือกใช้สารทำความเย็นชนิด R-410a ที่มีค่า GWP เพียง 675 kg CO₂ eq/unit¹² แม้จะยังคงใช้งานในปริมาณเท่าเดิมคือ 600 kg/year ก็จะสามารถลด การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในส่วนนี้ลงอีก 664.125 ton CO₂ eq/year

นอกจากนี้ผลวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละอาคารที่ทำการศึกษพบว่าอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (อาคาร 42) มีการใช้พลังงานไฟฟ้าและปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 64.75 ของปริมาณทั้งหมด เมื่อเทียบกับอาคาร 5 และ 24 เนื่องจากอาคาร 42 มีทั้งห้องพักอาจารย์และห้องปฏิบัติการหลายสาขาวิชา โดยเฉพาะห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้าและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่มีทั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูง นอกจากนี้ข้อมูลการใช้เครื่องอำนวยความสะดวก ได้แก่ หลอดไฟ เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็นและคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก รวมถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ไม่เหมาะสมและไม่คำนึงถึงความคุ้มค่า ยังส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งหากเป็นเช่นนี้เรื่อยไปก็จะส่งผลให้ปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ดังนั้น แนวทางสำคัญในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า คือการสร้างตระหนักและส่งเสริมให้มี การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า แก่บุคลากรและนักศึกษา เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นอันดับแรก จากนั้นจึงส่งเสริมให้มีการรณรงค์หรือจัดอบรมเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ขณะเดียวกันควรเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานไฟฟ้าควบคู่กันไป ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนมาใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมเมอร์ 5 (T5) ขนาด 28 และ 14 วัตต์ แทนการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดคอมเมอร์ 8 (T8) ขนาด 36 และ 18 วัตต์ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งหลอด T5 จะให้ความสว่างเท่าเดิม แต่ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าหลอด T8 ถึงร้อยละ 30 ทั้งยังมีสารปรอทไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อหลอดตามมาตรฐานของ RoHS เมื่อเทียบกับหลอด T8 ที่มีสารปรอทประมาณ 8 มิลลิกรัมต่อหลอด ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกแนวทางหนึ่ง

นอกจากนี้ นโยบายการติดตั้งสวิตช์แบบกระตุก เพื่อเปิด – ปิดหลอดไฟ หรือการติดตั้งระบบเซนเซอร์ เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือระดับอุณหภูมิไว้ในห้องน้ำหรือห้องเรียน ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการลืมปิดสวิตช์หลอดไฟและ

เครื่องปรับอากาศได้ดี นอกจากนั้นนโยบายการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยควบคุมระดับอุณหภูมิ (Thermostat) ภายในห้องเรียนหรือห้องพักอาจารย์ ซึ่งตัวอุปกรณ์จะตัดกระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศทันทีเมื่ออุณหภูมิอากาศภายในห้องมีอุณหภูมิในระดับที่กำหนดไว้ จัดเป็นแนวทางประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้อีกวิธีหนึ่ง

จากการนำเสนอแนะนโยบายปรับลดปริมาณ การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังที่กล่าวมาข้างต้น คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ติดตั้งสวิตช์แบบกระตุกสำหรับเปิด – ปิดหลอดไฟบริเวณทางเดินภายในอาคาร 42 และมีการติดตั้งระบบเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวในห้องน้ำ ทำให้ลดปัญหาการลืมปิดหลอดไฟบริเวณทางเดินและห้องน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่นโยบายอื่น ๆ ยังอยู่ในขั้นตอนของการพิจารณาและขอสนับสนุนงบประมาณสำหรับการจัดซื้อหลอดไฟและเครื่องปรับอากาศเป็นรุ่นที่ช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้น

นอกจากนี้คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ควรเร่งส่งเสริมโครงการหรือกิจกรรมที่ช่วยประหยัดพลังงานหรือลดการใช้ทรัพยากรอื่น ๆ โดยอาจจัดให้มีการประกวดโครงการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบของสาขาวิชา หรือนโยบายการลดการใช้ทรัพยากร เช่น ทรัพยากรน้ำ วัสดุและอุปกรณ์สำนักงาน เพื่อกระตุ้นให้บุคลากรและนักศึกษาเล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาโลกร้อนและร่วมกันเป็นแกนนำในการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในระดับมหาวิทยาลัยต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดีโดยได้รับ การสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ประจำปีงบประมาณ 2559 นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณบุคลากรและนักศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. กณิดา ธนเจริญชนาส. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก: ผลกระทบและการตอบสนองของสรีรวิทยาระบบนิเวศ. พิษณุโลก: โรงพิมพ์ร้านพิษณุโลกตอทอด; 2558.
2. สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรุงเทพฯ; 2553.
3. ไพรัช อุศุภรัตน์ และ หาญพล พึ่งรัตน์. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์องค์กรของมหาวิทยาลัย ธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต (Carbon footprint of organization: Case

- study for Thammasat University. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2557; 22(1): 1-12.
4. องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กร. กรุงเทพฯ; 2554.
 5. Tilley D, Serour R, Ruth M, Ross K, Horin C and Ness L. Carbon Footprint of the University of Maryland, College Park: An Inventory of Greenhouse Gas Emission, 2002-2008, Maryland; 2009.
 6. Letete T, Mungwe N, Guma M and Marquard A. University of Cape Town Carbon Footprint, Cape Town; 2010.
 7. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. รายงานจำนวนนักศึกษาทั้งหมด ประจำปีการศึกษา 1/2556 จำแนกตามคณะ สาขาวิชา ระดับการศึกษาและเพศ. [ออนไลน์]. 2556. [สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2560]; ได้จาก: <http://gallery.aru.ac.th/report/2556/reportStudent.html>.
 8. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา. รายงานบุคลากรทั้งหมด จำแนกตามคณะ/หน่วยงานที่สังกัด ประเภทบุคลากรและสายงาน ประจำปีการศึกษา 2556/1. [ออนไลน์]. 2556. [สืบค้นเมื่อ 9 มิถุนายน 2560]; ได้จาก: http://gallery.aru.ac.th/report/2556/reportstaff_FAC.html.
 9. ธนัท พูลประทีน, มนตรี สว่างพฤกษ์ และ ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. การวิเคราะห์คาร์บอน ฟุตพริ้นท์ ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ใน: การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21; วันที่ 10 – 11 พฤศจิกายน 2554.
 10. ชุตติมา สุขอนันต์. การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ขององค์กรและแนวทางการลดการปล่อยก๊าซ เรือนกระจกของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2555.
 11. นิตยา ซาคำรุณ และ พจนีย์ โยธานันท์. การประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของหอพักนักศึกษา มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. Journal of science and technology Mahasarakham University. 2017; 36(1): 37-44.
 12. Sekiya A. and Okamoto S. Evaluation of carbon dioxide equivalent values for greenhouse gases: CEWN as a new indicator replacing GWP. Journal of Fluorine Chemistry. 2010; 131: 364-368.

เซต $\mathcal{A}$ ในปริภูมิสองโครงสร้างเล็กสุด $\mathcal{A}$ -Sets in Biminimal Structure Spaces

ชนิกา กุลค้อย¹, จีระนันท์ คำภักดิ์^{2*}, ดร.ณิ บุญขาริ³

Chanika Kulkhor¹, Jeeranunt Khampakdee^{2*}, Daruni Boonchari³

Received: 20 December 2017; Accepted: 9 February 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะนำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับเซต $\mathcal{A}$ ในปริภูมิสองโครงสร้างเล็กสุดและตรวจสอบคุณสมบัติบางประการของเซต $\mathcal{A}$ รวมทั้งฟังก์ชันต่อเนื่อง $\mathcal{A}$ ในปริภูมิสองโครงสร้างเล็กสุด

คำสำคัญ : เซต $\mathcal{A}$, ฟังก์ชันต่อเนื่อง $\mathcal{A}$

Abstract

In this article, we introduce the concepts of $\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure spaces and investigate some of their properties. Moreover, the notions of $\mathcal{A}$ -sets and $\mathcal{A}$ -continuous functions in biminimal structure spaces were studied.

Keywords : $\mathcal{A}$ -set, $\mathcal{A}$ -continuous function.

Introduction

In 1972, J. Dugundji⁷ introduced the concepts of regular closed sets in topological spaces. Let (X, τ) be a topological space and $A \subseteq X$, then A is called regular closed if and only if $A = Cl(Int(A))$. In 1986, J. Tong²¹ introduced the concepts and properties of $\mathcal{A}$ -sets in topological spaces. Let A be a subset of a topological space (X, τ) then A is an $\mathcal{A}$ -set in (X, τ) if $A = U \cap B$ when U is open and B is regular closed in (X, τ) . In addition, J. Tong²¹ introduced the concepts of $\mathcal{A}$ -continuous functions from a topological space (X, τ) to a topological space $(Y, \mathcal{U})$. Let f be a function from X to Y , then f is $\mathcal{A}$ -continuous function if and only if the inverse image of each open set in Y is an $\mathcal{A}$ -set in X . In 1990, M. Ganster, and Reilly, I. L.¹⁰ improved J. Tong's decomposition result and provided a decomposition of $\mathcal{A}$ -continuous. In 2000, the concepts of minimal structure spaces were introduced by V. Popa and T. Noiri¹⁸. A pair (X, m_X) is a minimal structure space if and only if $X \neq \emptyset$ and m_X is family of

$P(X)$ with $\emptyset, X \in m_X$. Moreover, they also introduced the concepts of m_X -open sets and m_X -closed sets in minimal structure spaces. In 1963, J. C. Kelly⁹ introduced the concepts of bitopological spaces which consist of a nonempty set and two topological spaces. In 2010, C. Boonpok² introduced the concepts of biminimal structure spaces which consist of a nonempty set and two minimal structures. Furthermore, C. Boonpok² defined $m_X^1 m_X^2$ -closed sets in biminimal structure spaces and the complement of $m_X^1 m_X^2$ -closed sets is call $m_X^1 m_X^2$ -open sets. In 2010, C. Boonpok [4] defined (i, j) m_X -regular open sets in biminimal structure spaces and he also defined (i, j) m_X -regular closed sets as complement of (i, j) m_X -regular open sets for $i, j = 1, 2$ and $i \neq j$.

In this article we introduce the concepts of $\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure spaces and $\mathcal{A}$ -continuous functions in biminimal structure spaces. Also, we study some properties of $\mathcal{A}$ -sets and $\mathcal{A}$ -continuous functions in biminimal structure spaces.

¹ นิสิตระดับปริญญาโท, ^{2*} ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Student faculty of Science, Mahasarakham University, MahaSarakhm, Thailand, 44150.

^{2*,3} Assistant professor, Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand.

* Corresponding Author : jeeranunt.k@msu.ac.thdu

Preliminaries

In this section, we will give some definitions and notations, deal with some preliminaries and some useful results that will be duplicated in later sections.

Definition 2.1¹⁰ Let (X, τ) be a topological space and $M \subseteq X$. Then M is called an $\mathcal{A}$ -set if $M = U \cap B$ when U is open and B is regular closed in X .

The family of all $\mathcal{A}$ -sets in a topological space (X, τ) is denoted by $\mathcal{A}(X, \tau)$.

Definition 2.2¹⁷ Let X be a nonempty set and $P(X)$ be the power set of X . A subfamily m_x of $P(X)$ is called a minimal structure (briefly an m -structure) on X if $\emptyset \in m_x$ and $X \in m_x$.

The pair (X, m_x) , we denote a nonempty set X with an m -structure m_x on X and it is called a minimal structure space (briefly an m -space). Each member of m_x is said to be m_x -open and the complement of an m_x -open set is said to be m_x -closed.

Definition 2.3¹⁷ Let X be a nonempty set and m_x an m -structure on X . For a subset A of X the m_x -interior of A and the m_x -closure of A with respect to m_x are defined as follows:

$$m_x \text{Int}(A) = \bigcup \{ U : U \subseteq A, U \in m_x \},$$

$$m_x \text{Cl}(A) = \bigcap \{ F : A \subseteq F, X \setminus F \in m_x \}.$$

Lemma 2.4¹⁴ Let X be a nonempty set and m_x an m -structure on X . For any subsets A and B of X , the following properties hold:

- (1) $m_x \text{Cl}(X \setminus A) = X \setminus m_x \text{Int}(A)$ and $m_x \text{Int}(X \setminus A) = X \setminus m_x \text{Cl}(A)$,
- (2) If $(X \setminus A) \in m_x$, then $m_x \text{Cl}(A) = A$ and if $A \in m_x$, then $m_x \text{Int}(A) = A$,
- (3) $m_x \text{Cl}(\emptyset) = \emptyset$, $m_x \text{Cl}(X) = X$, $m_x \text{Int}(\emptyset) = \emptyset$ and $m_x \text{Int}(X) = X$,
- (4) If $A \subseteq B$, then $m_x \text{Cl}(A) \subseteq m_x \text{Cl}(B)$ and $m_x \text{Int}(A) \subseteq m_x \text{Int}(B)$,
- (5) $A \subseteq m_x \text{Cl}(A)$ and $m_x \text{Int}(A) \subseteq A$,
- (6) $m_x \text{Cl}(m_x \text{Cl}(A)) = m_x \text{Cl}(A)$ and $m_x \text{Int}(m_x \text{Int}(A)) = m_x \text{Int}(A)$,
- (7) $m_x \text{Int}(A \cap B) = m_x \text{Int}(A) \cap m_x \text{Int}(B)$ and $m_x \text{Int}(A) \cup m_x \text{Int}(B) \subseteq m_x \text{Int}(A \cup B)$,
- (8) $m_x \text{Cl}(A \cup B) = m_x \text{Cl}(A) \cup m_x \text{Cl}(B)$ and $m_x \text{Cl}(A \cap B) \subseteq m_x \text{Cl}(A) \cap m_x \text{Cl}(B)$.

Definition 2.5¹³ An m -structure m_x on a nonempty set A is said to have property $\mathfrak{B}$ if the union of any family of subsets belonging to m_x belongs to m_x .

Lemma 2.6¹⁷ Let X be a nonempty set and m_x is an m -structure on X satisfying property $\mathfrak{B}$.

For $A \subseteq X$ the following properties hold:

- (1) $A \in m_x$ if and only if $m_x \text{Int}(A) = A$,
- (2) A is m_x -closed if and only if $m_x \text{Cl}(A) = A$,
- (3) $m_x \text{Int}(A)$ is m_x -open and $m_x \text{Cl}(A)$ is m_x -closed.

Definition 2.7³ Let (X, m_x) be an m -space and $R \subseteq X$. Then R is called m_x -regular closed if and only if $R = m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(R))$.

The family of all m_x -regular closed sets in an m_x -space (X, m_x) is denoted by $RC(X, m_x)$.

Definition 2.8¹⁹ A subset A of an m -space (X, m_x) is called an m -preopen set if $A \subseteq m_x \text{Int}(m_x \text{Cl}(A))$ and an m_x -preclosed set if $m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(A)) \subseteq A$.

The family of all m_x -preopen sets in an m -space (X, m_x) is denoted by $PO(X, m_x)$ and m -preclosed sets in an m -space (X, m_x) is denoted by $PC(X, m_x)$.

Definition 2.9¹⁹ Let (X, m_x) be an m -space and $A \subseteq X$, the m_x -preclosure of A is denoted by $m_x \text{pcl}(A)$ is defined as the intersection of all m_x -preclosed of (X, m_x) containing A .

Proposition 2.10¹⁹ Let (X, m_x) be an m -space and $A, B \subseteq X$. If $A \subseteq B$ then $m_x \text{pcl}(A) \subseteq m_x \text{pcl}(B)$.

Proposition 2.11¹⁹ Let (X, m_x) be an m -space and $A \subseteq X$. If m_x satisfies the property $\mathfrak{B}$. Then $m_x \text{pcl}(A) = A \cup m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(A))$.

Definition 2.12² Let A be a nonempty set and m_x^1, m_x^2 be m -structures on X . A triple (X, m_x^1, m_x^2) is called a bi-minimal structure space (briefly *bim*-space).

Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. The m_x^i -closure and m_x^i -interior of A with respect to m_x^i are denoted by $m_x^i \text{Cl}(A)$ and $m_x^i \text{Int}(A)$ respectively, for $i, j = 1, 2$.

Each member of m_x^i is said to be an m_x^i -open set and the complement of an open set is said to be m_x^i -closed, for $i, j = 1, 2$.

Definition 2.13⁴ A subset A of biminimal structure spaces (X, m_x^1, m_x^2) is said to be

- (1) $(i, j)m_x$ -regular open if $A = m_x^i \text{Int}(m_x^j \text{Cl}(A))$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$,
- (2) $(i, j)m_x$ -semi-open if $A \subseteq m_x^i \text{Cl}(m_x^j \text{Int}(A))$ where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$,
- (3) $(i, j)m_x$ -preopen if $A \subseteq m_x^i \text{Int}(m_x^j \text{Cl}(A))$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The complement of an $(i, j)m_x$ -regular open (resp. $(i, j)m_x$ -semi-open, $(i, j)m_x$ -preopen) set is called $(i, j)m_x$ -regular closed (resp. $(i, j)m_x$ -semi-closed, $(i, j)m_x$ -preclosed).

Lemma 2.14⁴ Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and A be a subset of X . Then

- (1) A is $(i, j)m_x$ -regular closed if and only if $A = m_x^i \text{Cl}(m_x^j \text{Int}(A))$,
- (2) A is $(i, j)m_x$ -semi-closed if and only if $m_x^i \text{Int}(m_x^j \text{Cl}(A)) \subseteq A$,
- (3) A is $(i, j)m_x$ -preclosed if and only if $m_x^i \text{Cl}(m_x^j \text{Int}(A)) \subseteq A$.

Definition 2.15 [4] Let (X, m_x^1, m_x^2) and (Y, m_y^1, m_y^2) be biminimal structure space. A function $f : (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ is said to be (i, j) - M -continuous at a point $x \in X$ and each $V \in m_y^i$ containing $f(x)$, there exists $U \in m_x^j$ containing x such that $f(U) \subseteq V$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

A function $f : (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ is said to be (i, j) - M -continuous if it has this property at each point $x \in X$.

Theorem 2.16⁴ For a function $f : (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$, the following properties are equivalent:

- (1) f is (i, j) - M -continuous;
- (2) $f^{-1}(V) = m_x^j \text{Int}(f^{-1}(V))$ for every $V \in m_y^i$
- (3) $f(m_x^i \text{Cl}(A)) \subseteq m_y^i \text{Cl}(f(A))$ for every subset A of X ;
- (4) $m_x^j \text{Cl}(f^{-1}(B)) \subseteq f^{-1}(m_y^i \text{Cl}(B))$ for every subset B of Y ;
- (5) $f^{-1}(m_y^i \text{Int}(B)) \subseteq m_x^j \text{Int}(f^{-1}(B))$ for every subset B of Y ;
- (6) $m_x^j \text{Cl}(f^{-1}(F)) = f^{-1}(F)$ for every m_y^i -closed set F of Y .

Results and Discussion

$\mathcal{A}$ -sets in minimal structure space

In this section, we introduce the concept of $\mathcal{A}$ -sets in minimal structure spaces.

Definition 3.1.1 Let (X, m_x) be an m -space. A subset M of A is said to be an m_x - $\mathcal{A}$ -set if there exist G and R such that $M = G \cap R$ when G is m_x -open and R is m_x -regular closed.

The family of all m_x - $\mathcal{A}$ -set in an m -space (X, m_x) is denoted by $\mathcal{A}(X, m_x)$.

Example 3.1.2 Let $X = \{1, 2, 3\}$. Define an m -structure m_x on X as follows : $m_x = \{\emptyset, \{2\}, \{1, 2\}, \{1, 3\}, X\}$. Then $RC(X, m_x) = \{\emptyset, \{2\}, \{1, 3\}, X\}$ and $\mathcal{A}(X, m_x) = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{1, 3\}, X\}$.

Definition 3.1.3 Let (X, m_x) be an m -space and $A \subseteq X$, then A is said to be an m_x - $\mathcal{t}$ -set if $m_x \text{Int}(A) = m_x \text{Int}(m_x \text{Cl}(A))$.

The family of all m_x - $\mathcal{t}$ -set in an m -space (X, m_x) is denoted by $\mathcal{t}(X, m_x)$.

Example 3.1.4 Let $X = \{1, 2, 3\}$ and define $m_x = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, X\}$ be an m -structure on X . It follows that $\mathcal{t}(X, m_x) = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{3\}, \{1, 3\}, \{2, 3\}, X\}$.

Proposition 3.1.5 Let (X, m_x) be an m -space and $R \subseteq X$. If R is m_x -regular closed then R is an m_x - $\mathcal{t}$ -set.

Proof. Let R be an m_x -regular closed. Then $R = m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(R))$. Consequently, $m_x \text{Cl}(R) = m_x \text{Cl}(m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(R)))$. Thus $m_x \text{Int}(m_x \text{Cl}(R)) = m_x \text{Int}(m_x \text{Cl}(m_x \text{Int}(R)))$. Hence $m_x \text{Int}(m_x \text{Cl}(R)) = m_x \text{Int}(R)$. Therefore, R is an m_x - $\mathcal{t}$ -set.

$\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure space

In this section, we introduce the concept of $\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure spaces and study some fundamental properties of $\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure spaces and investigate some of their properties.

Definition 3.2.1 A subset A of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) is said to be $(i, j)m_x$ -locally closed if there exist G and F such that $A = G \cap F$ when G is an m_x^i -open set and F is an m_x^j -closed set, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The family of all $(i, j)m_x$ -locally closed sets in biminimal structure spaces (X, m_x^1, m_x^2) is denoted by $(i, j)m_x\text{-}\mathcal{LC}(X, m_x^1, m_x^2)$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Example 3.2.2 Let $X = \{a, b, c\}$. Define m -structures m_x^1 and m_x^2 on X as follows : $m_x^1 = \{\emptyset, \{b, c\}, X\}$ and $m_x^2 = \{\emptyset, \{c\}, X\}$. Thus $(1, 2)\text{-}\mathcal{LC}(X, m_x^1, m_x^2) = \{\emptyset, \{b\}, \{b, c\}, \{a, b\}, X\}$.

Lemma 3.2.3 Let S be a subset of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) and let $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$. If S is an $(i, j)m_x$ -locally closed set then there exists an m_x^i -open set U such that $S = U \cap m_x^j Cl(S)$

Proof. Let S be an $(i, j)m_x$ -locally closed set. Then there exist U and F such that $S = U \cap F$ where U is m_x^i -open and F is m_x^j -closed. Since $S = U \cap F$, $S \subseteq F$. Thus $m_x^j Cl(S) \subseteq m_x^j Cl(F)$. Since F is m_x^j -closed, $m_x^j Cl(S) \subseteq F$. Then $U \cap m_x^j Cl(S) \subseteq U \cap F = S$. Since $S \subseteq U$ and $S \subseteq m_x^j Cl(S)$. Then $S \subseteq U \cap m_x^j Cl(S)$. Therefore, there exists an m_x^i -open set U such that $S = U \cap m_x^j Cl(S)$.

The converse of Lemma 3.2.3 is true if m_x^j has property $\mathfrak{B}$ as a following proposition.

Proposition 3.2.4. Let S be a subset of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) and let m_x^j has property $\mathfrak{B}$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$. Then S is an $(i, j)m_x$ -locally closed set iff there exists an m_x^i -open set U such that $S = U \cap m_x^j Cl(S)$.

Proof. ($\Rightarrow$) By Lemma 3.2.3.

($\Leftarrow$) Let $S = U \cap m_x^j Cl(S)$, for some $U \in m_x^i$. Since m_x^j has property $\mathfrak{B}$, $m_x^j Cl(S)$ is closed in (X, m_x^j) . Thus S is an $(i, j)m_x$ -locally closed.

Definition 3.2.5. Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space. A subset M of X is said to be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set if there exist G and R , such that $M = G \cap R$ when $G \in m_x^i$ and R is m_x^j -regular closed, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The family of all $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -sets in a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) is denoted by $(i, j)\text{-}\mathcal{A}(X, m_x^1, m_x^2)$ where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Example 3.2.6. Let $X = \{1, 2, 3\}$. Define m -structures m_x^1 and m_x^2 on X as follows : $m_x^1 = \{\emptyset, \{1, 2\}, \{1, 3\}, X\}$ and $m_x^2 = \{\emptyset, \{2\}, \{1, 2\}, X\}$ which are m -structures on X . It follows that $RC(X, m_x^2) = \{\emptyset, X\}$. Thus $(1, 2)\text{-}\mathcal{A}(X, m_x^1, m_x^2) = \{\emptyset, \{1, 2\}, \{1, 3\}, X\}$.

Lemma 3.2.7. Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space m_x^j has property $\mathfrak{B}$. If a subset M of X is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set, then M is $(i, j)m_x$ -locally closed, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. Let M is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set. Then there exist G and R such that $M = G \cap R$ where $G \in m_x^i$ -open and R is m_x^j -regular closed. Since R is m_x^j -regular closed, $R = m_x^j Cl(m_x^j Int(R))$. But m_x^j has property $\mathfrak{B}$, then $m_x^j Cl(m_x^j Int(R))$ is closed. Hence R is m_x^j -closed. It follows that M is an $(i, j)m_x$ -locally closed.

Proposition 3.2.8 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $m_x^j \subseteq m_x^i$ has the property $\mathfrak{B}$. If a subset M of X is both $(i, j)m_x$ -semi-open and $(i, j)m_x$ -locally closed, then M is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -sets, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. Let M be both $(i, j)m_x$ -semi-open and $(i, j)m_x$ -locally closed. It follows that $M \subseteq m_x^j Cl(m_x^j Int(M))$ such that $M = U \cap m_x^j Cl(M)$. Since $m_x^j Cl(M) \subseteq m_x^j Cl(m_x^j Int(M))$. But $m_x^j Cl(m_x^j Int(M)) \subseteq m_x^j Cl(M)$, hence $m_x^j Cl(M) = m_x^j Cl(m_x^j Int(M))$ and $m_x^j Cl(m_x^j Int(M))$ is m_x^j -regular closed. Consequently $m_x^j Cl(M)$ is m_x^j -regular closed. Therefore, M is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set.

Definition 3.2.9 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. Then A is said to be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{t}$ -set if $m_x^j Int(A) = m_x^j Int(m_x^j Cl(A))$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The family of all $(i, j)m_x$ - $\mathcal{t}$ -sets in a biminimal structure spaces (X, m_x^1, m_x^2) is denoted by $(i, j)\text{-}\mathcal{t}(X, m_x^1, m_x^2)$ for $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Example 3.2.10 Let $X = \{1, 2, 3\}$. Define m -structures m_x^1 and m_x^2 on X as follows : $m_x^1 = \{\emptyset, \{1\}, \{3\}, \{2, 3\}, X\}$ and $m_x^2 = \{\emptyset, \{1\}, \{1, 2\}, X\}$.

Thus $(1, 2)\text{-}\mathcal{t}(X, m_x^1, m_x^2) = \{\emptyset, \{3\}, \{2, 3\}, X\}$.

Theorem 3.2.11 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. Then A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{t}$ -set if and only if A is an $(i, j)m_x$ -semi-closed, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. ($\Rightarrow$) Let A be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{t}$ -set. Then $m_x^j Int(A) = m_x^j Int(m_x^j Cl(A))$. Thus $m_x^j Int(m_x^j Cl(A)) \subseteq A$. Hence A is an $(i, j)m_x$ -semi-closed.

($\Leftarrow$) Let A be an $(i, j)m_x$ -semi-closed. Then $m_x^j Int(m_x^j Cl(A)) \subseteq A$. Thus $m_x^j Int(m_x^j Int(m_x^j Cl(A))) \subseteq m_x^j Int(A)$. Hence $m_x^j Int(m_x^j Cl(A)) \subseteq m_x^j Int(A)$. Since $m_x^j Int(A) \subseteq m_x^j Int(m_x^j Cl(A))$. Thus $m_x^j Int(A) = m_x^j Int(m_x^j Cl(A))$. Hence A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{t}$ -set.

Definition 3.2.12 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. Then A is said to be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -set if $A = U \cap T$, when U is an m_x^i -open set and T is an m_x^j - $\mathcal{t}$ -set, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The family of all $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -sets in a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) is denoted by $(i, j)\text{-}\mathcal{B}(X, m_x^1, m_x^2)$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Example 3.2.13 Let $X = \{1, 2, 3\}$. Define m -structures m_x^1 and m_x^2 on X as follows : $m_x^1 = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{2, 3\}, X\}$ and $m_x^2 = \{\emptyset, \{1\}, \{3\}, \{2, 3\}, X\}$. Then $\{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{2, 3\}, X\}$ are m_x^2 - $\mathcal{t}$ -sets. Therefore, $(1, 2)\text{-}\mathcal{B}(X, m_x^1, m_x^2) = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{2, 3\}, X\}$.

Theorem 3.2.14 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. If A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set, then A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -set for all $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. Let A be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set. Then there exist G and R such that $A = G \cap R$ where G is m_x^i -open in (X, m_x^i) and R is an m_x^j -regular closed. By Proposition 3.1.5, R is an m_x^j - $\mathcal{t}$ -set. Hence A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -set.

Proposition 3.2.15 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and M be a subset of X . If M is an $(i, j)m_x$ -locally closed set, then it is also an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -set, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. Let M be $(i, j)m_x$ -locally closed set. Then there exist U and B such that $M = U \cap B$ where U is m_x^i -open and B is m_x^j -closed. Since B is m_x^j -closed, $B = m_x^j\text{Cl}(B)$. Thus $m_x^j\text{Int}(B) = m_x^j\text{Int}(m_x^j\text{Cl}(B))$. Hence B is an m_x^j - $\mathcal{t}$ -set. Thus M is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{B}$ -set.

Definition 3.2.16 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. Then A is said to be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set if $A = U \cap B$, when U is an m_x^i -open and B is m_x^j -preclosed, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

The family of all $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -sets in a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) is denoted by $(i, j)\text{-}\mathcal{C}(X, m_x^1, m_x^2)$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Example 3.2.17 Let $X = \{1, 2, 3\}$. Define m -structures m_x^1 and m_x^2 on X as follows : $m_x^1 = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{2, 3\}, X\}$ and $m_x^2 = \{\emptyset, \{1\}, \{3\}, \{2, 3\}, X\}$. Thus $\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{2, 3\}, X$ are preclosed in (X, m_x^2) . Therefore, $(1, 2)\text{-}\mathcal{C}(X, m_x^1, m_x^2) = \{\emptyset, \{1\}, \{2\}, \{1, 2\}, \{2, 3\}, X\}$.

Theorem 3.2.18. Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and $A \subseteq X$. If A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set, then A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set for all $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof Let A be an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{A}$ -set. Then there exist G and R such that $A = G \cap R$ where G is m_x^i -open and R is an m_x^j -regular closed. Since $R = m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(R))$, thus

$m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(R)) \subseteq R$. Hence R is an m_x^j -preclosed. Therefore, A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set.

Proposition 3.2.19 Let (X, m_x^1, m_x^2) be a biminimal structure space and M be a subset of X . If M is an $(i, j)m_x$ -locally closed set, then it is also an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. Let M be an $(i, j)m_x$ -locally closed set. Then there exist U and B such that $M = U \cap B$ where U is m_x^i -open in (X, m_x^i) and B is m_x^j -closed.

It follows that $m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(B)) \subseteq m_x^j\text{Cl}(B) = B$. Then B is an m_x^j -preclosed. Hence M is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set.

Proposition 3.2.20 Let A be a subset of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) and m_x^j has the property $\mathfrak{B}$. Then A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set iff $A = U \cap m_x^j\text{pcl}(A)$ for some $U \in m_x^i$, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. ($\Rightarrow$) Let A be $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set. Then there exist U and B such that $A = U \cap B$ where U is m_x^i -open and B is m_x^j -preclosed. From $A \subseteq B$, $m_x^j\text{pcl}(A) \subseteq m_x^j\text{pcl}(B)$ by Proposition 2.11, $m_x^j\text{pcl}(B) = B \cup m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(B))$. As B is m_x^j -preclosed, $m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(B)) \subseteq B$. Hence $m_x^j\text{pcl}(B) = B$. Thus $m_x^j\text{pcl}(A) \subseteq B$. Therefore $A = U \cap m_x^j\text{pcl}(A)$.

($\Leftarrow$) Let $A = U \cap m_x^j\text{pcl}(A)$ for some $U \in m_x^i$. Since $m_x^j\text{pcl}(A)$ is an m_x^j -preclosed. Therefore, A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set.

Proposition 3.2.21 Let A be a subset of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) and m_x^j has the property $\mathfrak{B}$. Then $A = U \cap m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$ for some $U \in m_x^i$ if and only if A is an m_x^i -semi-open and $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set, where $i, j = 1$ or 2 and $i \neq j$.

Proof. ($\Rightarrow$) Let $A = U \cap m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$ for some $U \in m_x^i$. Then $A \subseteq m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$. Thus A is an m_x^i -semi-open. By Lemma 2.6, $m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$ is m_x^j -closed. Since $m_x^j\text{Int}(m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))) \subseteq m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$, $m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A)))) \subseteq m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$. Hence $m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$ is m_x^j -preclosed. Then A is an $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set.

($\Leftarrow$) Let A be an m_x^i -semi-open and $(i, j)m_x$ - $\mathcal{C}$ -set. By Proposition 3.2.20, $A = U \cap m_x^j\text{pcl}(A)$ for some $U \in m_x^i$. Since A is m_x^i -semi-open. Then $A \subseteq m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$. Since m_x^j has the property $\mathfrak{B}$ and by Proposition 2.11, $m_x^j\text{pcl}(A) = A \cup m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$. Thus $m_x^j\text{pcl}(A) = m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$. Hence $A = U \cap m_x^j\text{Cl}(m_x^j\text{Int}(A))$

for some $U \in m_x^i$.

Theorem 3.2.22 Let A be a subset of a biminimal structure space (X, m_x^1, m_x^2) and m_x^i has the property $\mathfrak{B}$. If a subset M of X is an m_x^i -semi-open and $(i, j)m_x^i$ - $\mathcal{C}$ -set, then it is an $(i, j)m_x^i$ - $\mathcal{A}$ -set.

Proof. Let M be an m_x^i -semi-open and $(i, j)m_x^i$ - $\mathcal{C}$ -set. By Proposition 3.2.21, then $M = U \cap m_x^i Cl(m_x^i Int(M))$, for some $U \in m_x^i$. Since $m_x^i Cl(m_x^i Int(M))$ is m_x^i -regular closed. Therefore, M is an $(i, j)m_x^i$ - $\mathcal{A}$ -set.

Definition 3.2.23 Let (X, m_x^1, m_x^2) and (Y, m_y^1, m_y^2) be biminimal structure spaces.

A function $f: (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ is said to be

- (1) (i, j) -semi-continuous if $f^{-1}(V) \in (i, j)$ -SO(X, m_x^1, m_x^2) for all $V \in m_y^i$.
- (1) (i, j) - $\mathcal{LC}$ -continuous if $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{LC}$ (X, m_x^1, m_x^2) for all $V \in m_y^i$.
- (1) (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous if $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{A}$ (X, m_x^1, m_x^2) for all $V \in m_y^i$.
- (1) (i, j) - $\mathcal{C}$ -continuous if $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{C}$ (X, m_x^1, m_x^2) for all $V \in m_y^i$.

Proposition 3.2.24 Let (X, m_x^1, m_x^2) and (Y, m_y^1, m_y^2) be biminimal structure spaces. A function $f: (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ be a mapping. If f is (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous then f is (i, j) - $\mathcal{LC}$ -continuous.

Proof. Let f be (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous and $V \in m_y^i$. Then $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{A}$ (X, m_x^1, m_x^2). By Lemma 3.2.7, we have $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{LC}$ (X, m_x^1, m_x^2). Hence f is (i, j) - $\mathcal{LC}$ -continuous.

Theorem 3.2.25 Let (X, m_x^1, m_x^2) and (Y, m_y^1, m_y^2) be biminimal structure spaces and m_x^i has the property $\mathfrak{B}$. If a mapping $f: (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ is (i, j) -semi-continuous and (i, j) - $\mathcal{LC}$ -continuous then f is (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous.

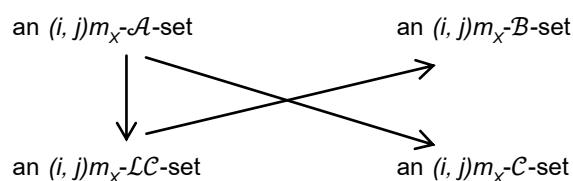
Proof. Let f be an (i, j) -semi-continuous and (i, j) - $\mathcal{LC}$ -continuous and $V \in m_y^i$. Then $f^{-1}(V) \in (i, j)$ -SO(X, m_x^1, m_x^2) and $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{LC}$ (X, m_x^1, m_x^2). By Proposition 3.2.8, thus $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{A}$ (X, m_x^1, m_x^2). Therefore, f is (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous.

Theorem 3.2.26 Let (X, m_x^1, m_x^2) and (Y, m_y^1, m_y^2) be biminimal structure spaces. If a mapping $f: (X, m_x^1, m_x^2) \rightarrow (Y, m_y^1, m_y^2)$ is (i, j) -semi-continuous and (i, j) - $\mathcal{C}$ -continuous then f is (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous.

Proof. Let f be an (i, j) -semi-continuous and (i, j) - $\mathcal{C}$ -continuous and $V \in m_y^i$. Then $f^{-1}(V) \in (i, j)$ -SO(X, m_x^1, m_x^2) and $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{C}$ (X, m_x^1, m_x^2). By Theorem 3.2.22, thus $f^{-1}(V) \in (i, j)$ - $\mathcal{A}$ (X, m_x^1, m_x^2). Therefore, f is (i, j) - $\mathcal{A}$ -continuous.

Conclusion

In this paper, we introduced the concept of $\mathcal{A}$ -sets in biminimal structure spaces. We also studied some properties of $\mathcal{A}$ -sets and $\mathcal{A}$ -continuous function on the space. The following implications hold for a biminimal structure spaces. These implications are not reversible.



Acknowledgement

The authors would like to thank the referees for helpful comments and suggestions on the manuscript.

References

1. Andrijevic D. *Semi-preopen sets*. (1986), Math. Vesnik., 38, 24-32.
2. Boonpok C. *Almost and weakly M-continuous functions in m-spaces*. Far East J.Math.Sci, 43 (2010), 29-40
3. Boonpok C. *Biminimal structure space*. (2010), Int. Math. Forum, 5(15), 703-707
4. Boonpok C. *M-continuous functions on biminimal structure space*. Far East J.Math.Sci, 43 (2010), 41-58
5. Bourbaki N. *General Topology. Part 1*. (1996), Massachusetts, Addison-Wesley.
6. Császár Á. *connected sets*. Acta Math. Hungar. (2003), 101(4): 273-279.
7. Dugundji J. *Topology*. (1972), Boston, Allyn and Bacon.
8. Erguang Y and Pengfei Y. *On decomposition of A-continuity*. (2006), Acta Math. Hungar., 110, 309-313.
9. Ganster M. and Reilly, I. L. *A decomposition of continuity*. (1990). Acta Math.Hungar., 56, 299-301.

10. Kelly J.C *Bitopological space*. (1969), Pro.London Math.Soc.,39130,71-79
11. Keun Min W. *m-open set and M-continuous functions*. (2010), Commun. Korean. Math. Soc. 25, No.2, pp 251-256
12. Levine N. *Semi-open sets and semi-continuity in topological spaces*. (1963), Amer. Math. Monthly, 70, 36-41.
13. Mashhour A, Abd El-Monsef M, and El-Deeb S. *On pre-continuous and weak precontinuous mappings*. (1982), Proc. Math. and Phys. Soc. Egypt., 53, 47-53.
14. Maki H, Umehara J, Noiri T. *Every topological space is pre $T_{1/2}$* . Fac. Sci. Kochi Univ. ser. Math., pp 33-42
15. Maki H, Rao K.C, Nagoor Gani A. *On generalized semi-open and preopen sets*. Pure Appl. Math. Sci. 1999; 49: 17-29.
16. Nj_astad O. *On some classes of nearly open sets*. (1965), Pacific J. Math., 15, 961-970.
17. Noiri T and Popa V. *A generalized of some forms of g-irresolute function*. European J. of Pure and Appl. Math. 2(4)(2009), 473-493
18. Popa V and Noiri T. *On M-continuous function*. (1965), Anal.Univ. "Dunarea de Jos" Galati, Ser.Mat.Fiz.Mec. Teor.(2),18(23), 31-41
19. Rosas E. *Some new types of open and closed sets in minimal structures-II*. (2009), Int. Math. Forum, No.44, 2185-2198.
20. Suantai S. *Topology*. Department of Mathematics, Faculty of Science, Chiang Mai University.
21. Tong J. *A decomposition of continuity*. (1986), Acta Math. Hungar., 48, 11-15.
22. Tong J. *On decomposition of continuity in topological spaces*. (1989), Acta Math. Hungar., 48, 11-15.

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนเหล็กโดยใช้ซิลิกาที่เตรียมจากแกลบข้าวเหนียวและแกลบข้าวเจ้า

Optimal Conditions for Adsorption of Fe(II) ions Using Silica Prepared from Glutinous and Jasmine Rice Husks

อรรสา อินทรน้อย^{1,*}, วุฒิชัย เหล่าอง², สุติดา โพธารินทร์²

Orrasa In-noi^{1,*}, Wuttichai Lao-ong², Sutida Potarin²

Received: 20 December 2017; Accepted: 16 February 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมซิลิกาจากแกลบข้าวเหนียว (พันธุ์ กข 6) และแกลบข้าวเจ้า (พันธุ์หอมมะลิ 105) และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนเหล็ก ในน้ำของซิลิกาที่เตรียมได้ โดยทำการสกัดซิลิกาจากแกลบโดยการรีฟลักซ์ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ จากนั้นกรองและเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ได้ซิลิกามีลักษณะเป็นผง สีขาว ยึดย่น โครงสร้างด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ศึกษารูปร่างภายนอกและพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของซิลิกาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ผลการศึกษา พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของซิลิกาที่เตรียมได้จากแกลบทั้งสองปรากฏพิคกว้างอยู่ในช่วงประมาณ 22 องศาซึ่งเป็นพิคเอกลักษณ์ของซิลิกาอสัณฐาน พื้นผิวของซิลิกามีลักษณะขรุขระ มีรูพรุน และมีความบริสุทธิ์มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาที่เตรียมได้นำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไอออนเหล็กโดยการทดลองแบบแบช ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ พีเอช เวลาที่ใช้ในการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ และความเข้มข้นของไอออนเหล็กเริ่มต้น โดยวิเคราะห์ปริมาณเหล็กด้วยเทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเหล็กของซิลิกาจากแกลบข้าวเหนียว คือ พีเอช 6 เวลาที่ใช้ในการดูดซับ 30 นาที ปริมาณตัวดูดซับ 0.4 กรัม และความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้นที่ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับเหล็กของซิลิกาจากแกลบข้าวเจ้าใกล้เคียงกับซิลิกาจากแกลบข้าวเหนียว คือ พีเอช 6 เวลาที่ใช้ในการดูดซับที่เหมาะสม คือ 20 นาที ปริมาณตัวดูดซับ 0.6 กรัม และความเข้มข้นของเหล็กเริ่มต้น คือ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซิลิกาจากแกลบข้าวทั้งสองชนิด มีเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่ดีใกล้เคียงกัน โดยดูดซับได้สูงสุดที่ 99 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การดูดซับ เหล็ก ซิลิกา แกลบข้าวเหนียว แกลบข้าวเจ้า

Abstract

Silica (SiO₂) was prepared from two types of rice husks, glutinous rice (type RD6) and jasmine rice (type Hom Mali 105) the optimal conditions for adsorption of Fe(II) ions in synthetic water using the prepared silica were studied. Silica was extracted from rice husks by refluxing in 1 M hydrochloric acid, filtration and heating at 600 °C for 6 hours in an oven. Silica products were obtained as white powder. Amorphous silica phase was confirmed by X-ray diffraction, morphology and surface were revealed by scanning electron microscope and the silica content was analyzed by X-ray

¹ อาจารย์, โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000 ที่ทำงานปัจจุบัน อาจารย์, สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² นักศึกษาระดับปริญญาตรี โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000

¹ Lecturer, Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubonratchathani 34000. Current affiliation, Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai Mahasarakham, 44150, Email : orrasa04@gmail.com

² Bachelor degree student, Program of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University, Muang, Ubonratchathani 34000

fluorescence spectroscopy. The XRD patterns of products from glutinous and jasmine rice husks were similar and showed a broad peak at about 22° which corresponded to the amorphous silica phase. The prepared silica had a rough surface with porous morphology and high purity (SiO_2 content about 99%). Batch experiments were carried out to determine the optimal conditions of Fe(II) adsorption. The factors affecting the adsorption percentage included initial pH, contact time, adsorbent dosage, and initial Fe(II) concentration. Atomic absorption spectroscopy was employed to analyze the Fe(II) adsorption percentages. The optimal conditions for Fe(II) adsorption by silica extracted from glutinous rice husks were pH 6, 30 minute contact time, 0.4 g adsorbent dosage and 30 mg/L initial Fe(II) concentration. The optimal conditions for silica extracted from jasmine rice husk were similar to those of silica from glutinous rice husk including pH 6, 20 minute contact time, 0.6 g adsorbent dosage and 20 mg/L initial Fe(II) concentration. Silica extracted from both rice husks showed good Fe(II) adsorption with 99 percentages.

Keywords : adsorption, Fe(II), silica, glutinous rice husk, jasmine rice husk

Introduction

Iron is a common metal found in the earth's crust. Groundwater which percolates through soil and rock can dissolve minerals containing iron and hold them in solution. When exposed to air, dissolved iron in groundwater becomes insoluble and leaves the water with brown-red colour and may cause taste, odour, or turbidity problems. Also household activities and industries such as electroplating, mining, and alloy manufacturing also cause metal contamination in water. Based on groundwater quality reported by Department of Groundwater Resources in Nakhon Ratchasima-Ubon Ratchathani basin, the most commonly found metal contaminant is iron with the highest amount of 600 mg/L found at Srakao, Kankong District, Buriram Province.¹ This amount is 600 times higher than public drinking groundwater standards requirement iron ($\text{Fe} \leq 1.0 \text{ mg/L}$).²

There are many techniques for metal removal such as precipitation, ion-exchange, coagulation and electrolysis. Among these techniques adsorption techniques are widely used for metal removal in water treatment and the adsorption capacity depends on morphology, composition, and porosity of the adsorbents used. Activated carbon has been frequently used as an adsorbent in water and wastewater treatment industries, however activated carbon is expensive. The adsorption of heavy metal ions by low cost adsorbents or agricultural waste materials have been widely studied.^[3-7]

Rice production is a significant portion of the agriculture in Thailand and rice husk is an agricultural

waste material generated in the rice polishing process.

The weight of rice husk is around one third of the total rice weight. Rice husk consists of cellulose, hemicellulose and lignin at about 74% and inorganic contents such as silica alumina and calcium at about 26%. Eighty percent of inorganic matter is silica.⁸ Due to the high percentage of silica in rice husks, therefore, extraction of silica from rice husks and application in various fields have been carried out by many research groups.⁹⁻¹⁰

Silica content in rice husk ash varies from 83–98% depending on preparation techniques and conditions. Sorbent materials derived from rice husks have been effectively used for removal of various heavy metals such as Fe, Mn, Zn, Cu, Cd and Pb.¹¹

Silica from rice husks is an alternative and value material for metal removal because silica is insoluble in water, has good chemical stability, high biosorption capacity, high cost effectiveness, and abundant availability.¹²

This work aims to prepare silica from glutinous and jasmine rice husks and find suitable conditions for Fe(II) adsorption of the prepared silica. If this study produced a favorable result it would support the use of silica as an alternative adsorbent for iron removal in groundwater.

Materials and methods

1. Materials

Thai glutinous rice (type RD6) husk and Thai jasmine rice (type Hom Mali 105) husk were used as raw

materials. The husks were collected from a local rice mill at Phosai District, Ubon Ratchathani, Thailand.

2. Instruments

Powder X-ray diffraction (XRD) was used to characterize the phase of prepared silica. Chemical compositions of the husks and the silica were determined by using an X-ray fluorescence (XRF) spectrometer. Morphology and porosity of silica were characterized using a scanning electron microscope (SEM). Fe(II) concentrations were determined using an atomic absorption spectrometer (AAS). XRD and AAS instruments used in this work were provided by the Faculty of Science, Mahasarakham University. XRF and SEM instruments were provided by the center for scientific and technological equipment, Suranaree University of Technology.

3. Methods

3.1 Preparation of silica from rice husks

Silica from glutinous and jasmine rice husks was prepared using the procedure described by Leela-adisorn.¹³ Husks were first cleaned with water then dried in an oven at 105 °C for one night. After drying, 30 g of the husk sample was put in a round-bottom flask. 300 ml of 1 M HCl added and refluxed for 3 hours. After refluxing, the sample was filtered and washed several times with distilled water until the pH of the rinsed water reached 7, confirming that there was no HCl remaining in the sample, which was then dried in an oven at 105 °C to remove all remaining moisture. Finally, the dried husk sample was heated in an oven at 600 °C for 6 hours, resulting in a white powder sample ready for characterization.

3.2 Determination of optimal conditions for Fe(II) adsorption

Stock solution of 200 mg/L of Fe(II) aqueous solution was first prepared by dissolving 0.4965 g of ferrous sulfate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) in 500 ml distilled water. Fe(II) solutions with lower concentrations were prepared by diluting the required volume of stock solution with phthalate buffer solution at desired pH. The pH of the sample solution was adjusted by using HCl or NaOH solution.

The parameters used to determine suitable conditions for Fe(II) adsorption on prepared silica were

pH, contact time, adsorbent dose, and the initial metal concentration. The adsorption tests of both prepared silicas were carried out using batch procedures. General experimental set up used shaking speed of 130 rpm for 30 minutes and Fe(II) adsorption determined by AAS was reported as adsorption percentage calculated by the following equation:

$$\% \text{ Adsorption} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100$$

where C_0 is the initial concentration of Fe(II) ions (mg/L) and C_e is the concentration of Fe(II) ions at adsorption equilibrium (mg/L)

The studied details of each parameters are as follows:

Effect of initial pH. Five 20 mg/L Fe(II) solutions with different pH, 2 4 6 8 and 10, were studied and prepared by diluting the stock solution with desired pH buffer and pH adjusted with HCl and NaOH solution. Then, 50 mL of each sample solution was transferred to a conical flask and 0.05 g of silica was added to each flask. The sample was shaken on a table shaker at 130 rpm for 30 minutes. Finally, the sample solution was filtered through a filter paper, and the filtered solution analyzed for the remaining Fe(II) ions using AAS measurement.

Effect of contact time. The solution of 20 mg/L Fe(II) ions was prepared from stock and adjust pH to 6. Solutions of 50 mL were transferred to conical flasks and 0.05 g of silica was added to each flask. The mixtures were shaken on a table shaker at 130 rpm with varying shaking time by 20 30 40 50 and 60 minutes. After the desired shaking time, the mixture were filtered through a filter paper and remaining Fe(II) ions was determined by AAS.

Effect of adsorbent dose. Prepared solutions of 20 mg/L Fe(II) at pH 6 were transferred to conical flasks in 50 mL for each flask. Different amounts of silica were added to the solution in each flask (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 g). Each mixture was shaken on a table shaker at 130 rpm for 30 minutes. Finally, the sample solution was filtered through a filter paper, and the filtered solution was

analyzed for the remaining Fe(II).

Effect of initial Fe(II) concentration. A series of concentrations of Fe(II) solution, comprising 10, 20, 30, 40, and 50 mg/L were prepared from the stock solution. The pH of each solution was adjusted to 6. 50 mL solutions of each concentration were transferred to conical flask and 0.05 g of prepared silica were added and shaken on a table shaker at 130 rpm for 30 minutes. After filtration, the solution was analyzed for the remaining Fe(II) ions.

Results and Discussion

1. Silica extraction from rice husks

Glutinous rice husk showed more brown color and was thicker than jasmine rice husk. After refluxing in acid and heating the filtrated solid at 600 °C in oven, white silica products were obtained at percentage yield of 13.67 and 12.76% for glutinous and jasmine rice husks respectively. Yield of silica powder from glutinous rice husk was slightly higher than that obtained from jasmine rice husk which agrees with the percent of silica presented in rice husk raw materials as shown in Table 1. By naked eyes observation, silica powder extracted from jasmine rice husk is finer than those from glutinous rice husk as shown in Figure 1.

Table 1 Composition analysis of rice husk raw materials and extracted silica before and after Fe(II) adsorption (%w/w).

Composition (%)	glutinous rice husk raw materials	jasmine rice husk raw materials	Silica from glutinous rice husk		Silica from jasmine rice husk	
			Before adsorption	After adsorption	Before adsorption	After adsorption
SiO ₂	89.28	85.87	99.75	99.68	99.45	99.52
P ₂ O ₅	4.57	5.76				
SO ₃	1.28	1.44	0.10	N.D.	0.13	N.D.
K ₂ O	2.01	3.08				
CaO	1.00	0.87	0.11	0.04	0.28	0.06
TiO ₂	0.60	0.73				
MnO ₂	0.80	1.35				
Fe ₂ O ₃	0.42	0.80	N.D.	0.26	0.11	0.41
others	0.06	0.10	0.03	0.02	0.02	0.01

2. Characterization of extracted silica

2.1 Elemental composition analysis by

XRF

XRF is a powerful quantitative and qualitative analytical technique for elemental analysis of materials. When elements in a sample are exposed to high intensity X-rays, fluorescent X-rays will be emitted from the sample at unique energy levels related to those elements. The quantity of elements are reported as oxide based on weight percentages. Elemental compositions of rice husk raw materials, extracted silica before and after Fe(II) adsorption shown in Table 1. The main inorganic composition of both rice husks is silica (SiO₂) of which

glutinous and jasmine rice husks contain 89.28 and 85.87% respectively. Extracted silica from both rice husks showed similar and high percentage silica purity, about 99% because the refluxing in acid and heating in an oven at high temperature can remove the organic contents and some of inorganic impurity. These results agree with the data presented by Tanachai Jongsuwanpaisan.¹⁴ After Fe adsorption, the composition of silica adsorbent were analyzed to confirm the presence of Fe. The percentage of Fe in silica after adsorption increased to 0.26 and 0.41% for glutinous and jasmine rice husk silica, respectively. This result shows that Fe content was adsorbed into both samples of silica.

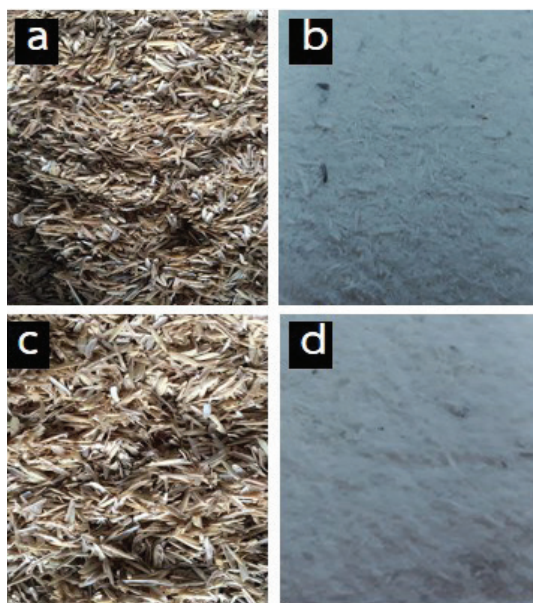


Figure 1 Glutinous and jasmine rice husk raw materials (a, c) and extracted silica powder from glutinous and jasmine rice husk (b, d).

2.2 Phase analysis by XRD

XRD is an analytical technique primarily used for phase identification of a crystalline material and also measurement of sample purity. The analyzed material should be finely ground, homogenized, and average bulk composition determined.

The XRD patterns of silica from both rice husks showed a broad peak at 22° which is a characteristic of amorphous silica¹⁵⁻¹⁶ as shown in Figure 2. There was no impurity peak present in the patterns indicating that the extracted silica was high purity.

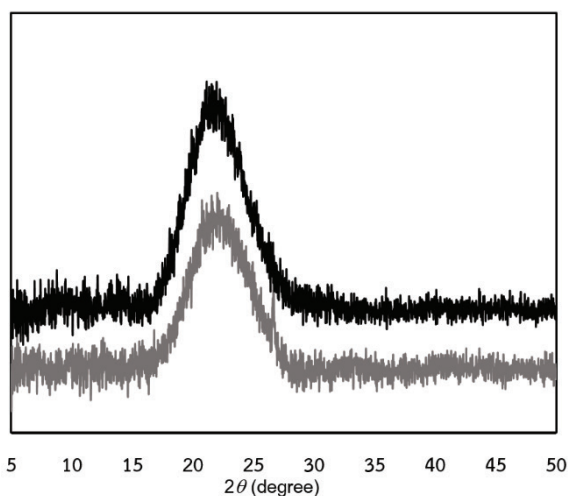


Figure 2 XRD patterns of silica from glutinous rice husk (top) and jasmine rice husk (bottom).

This result agrees with the composition analysis by XRF. The characteristic peak of elements in trace amount may be overcome by background signal, therefore no major impurity peaks were present.

2.3 Morphological analysis by SEM

SEM uses a finely focused electron beam to produce a high resolution image of a sample and shows a three dimensional appearance, which is very useful when examining the morphology, surface structure and porosity of a sample. SEM images of extracted silica from glutinous and jasmine rice husks show a polygonal shape with rough surface and porosity. After Fe(II) adsorption, the morphology of silica is similar. This result suggest that extracted silica from rice husks can be used as adsorbent without losing the surface structure as shown in Figure 3.

3. Study of optimal conditions for Fe(II) ion adsorption

The adsorption experiments were performed using aqueous solutions of ferrous sulphate ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), optimized conditions including initial pH, contact time, adsorbent dose and initial Fe(II) concentration were studied by batch experiment.

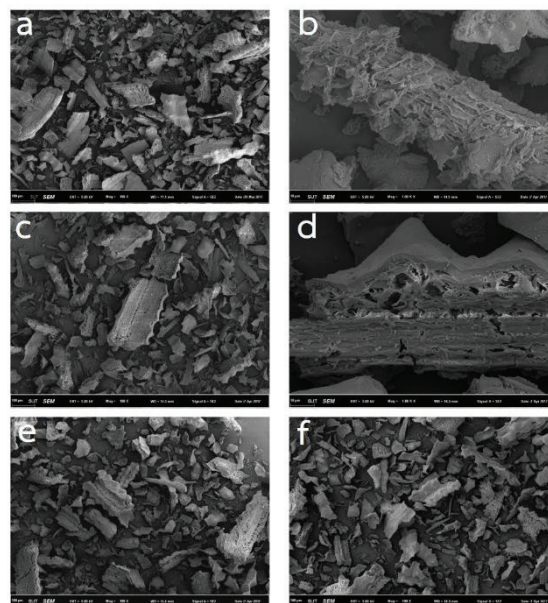


Figure 3 SEM magnifications of silica from glutinous rice husk (a, b), silica from jasmine rice husk (c, d), silica from glutinous rice husk after adsorption (e), silica from jasmine rice husk after adsorption (f).

Effect of initial pH.

The pH of solution media affects the adsorption capacity because pH can induces charge on the surface of the adsorbent, and alter the degree of ionization and speciation of the adsorbate.[17] The effect of initial pH on Fe(II) adsorption was studied by varying the pH as 2, 4, 6, 8 and 10.

The effects of pH on the adsorption of Fe(II) ions from the aqueous solution in terms of adsorption percentage is presented in Fig. 4(a). It is clear that Fe(II) ions were effectively adsorbed at pH 6 and the maximum adsorption

percentages by silica from glutinous and jasmine rice husks are 48.2 and 69.3%, respectively. Thus, pH 6 was chosen in further studies of other parameters. These results agree with the data obtained by Rodda and Samala [18-19] for heavy metal ions sorption onto agricultural waste sorbents. In the basic solution (pH 8 and 10), the hydrolysis of Fe(II) ions takes place and forms poorly soluble iron(II) hydroxide solid precipitate in solution.²⁰ In highly acidic condition (pH 2 and 4), the surface of adsorbents are protonated by H^+ which reduces the Fe(II) adsorption capacity.²¹

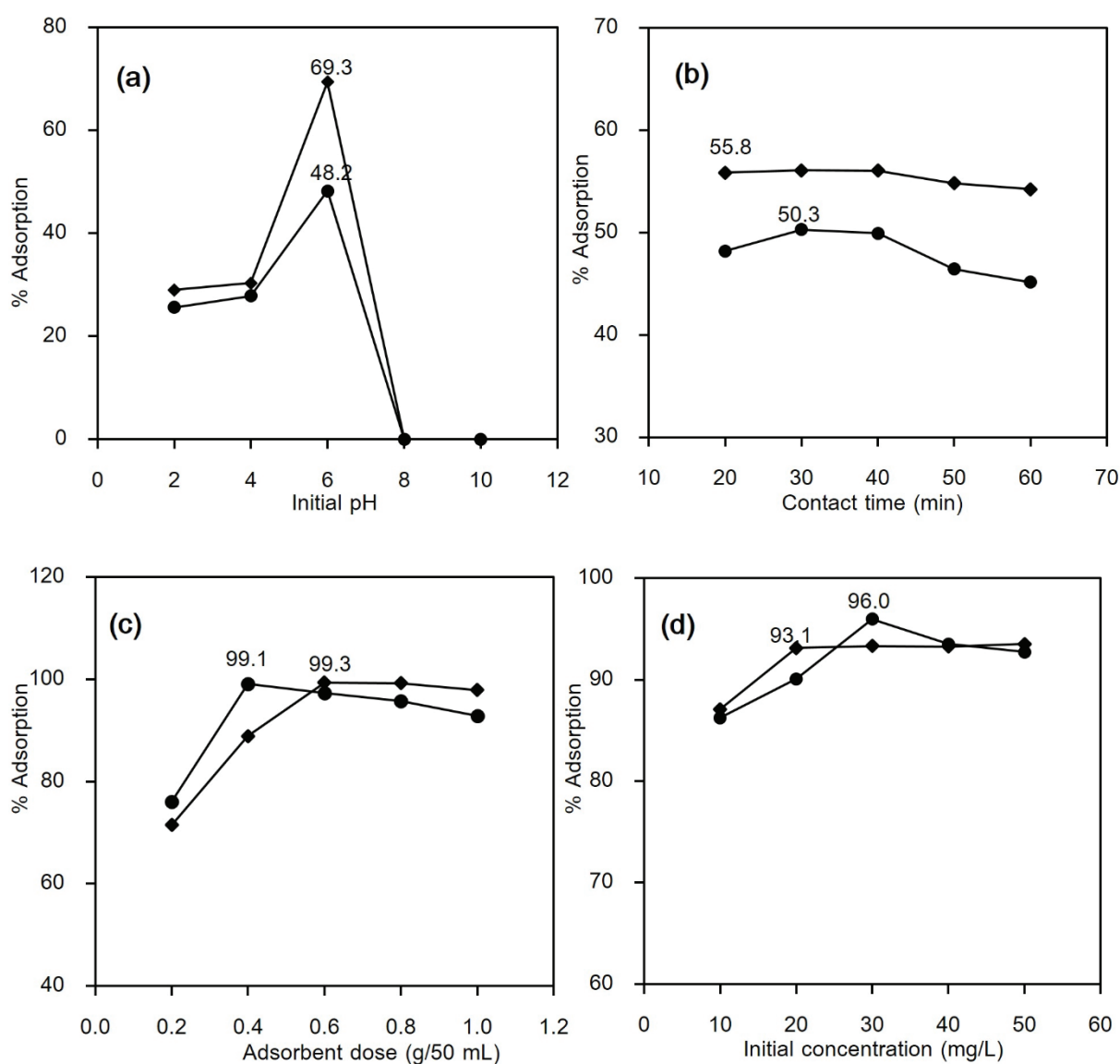


Figure 4 Effect of adsorption parameter on Fe(II) ions uptake of prepared silica, (a) initial pH (b) contact time (c) adsorbent dosage (d) initial Fe(II) concentration (● = silica from glutinous rice husk ◆ = silica from jasmine rice husk).

Effect of contact time.

The effects of contact time on the adsorption were assessed by varying of shaking time to 20 30 40 50 and 60 minutes with other parameters remaining fixed. It was observed that the highest uptake of Fe(II) ions was at 20 and 30 minutes for silica extracted from glutinous and jasmine rice husks, respectively. After this time. the adsorption equilibrium and adsorption percentage slightly decreased as shown in Figure 4(b). Silica extracted from jasmine rice husk reached equilibrium within 20 minutes with the maximum uptake of 56.8% while the silica extracted from glutinous rice husk reaches equilibrium at 30 minutes with the maximum uptake of 50.3%. The adsorption reaches equilibrium at beginning state due to the high concentrations of Fe(II) ions compared to amount of available adsorption site of adsorbent. The result agrees with the metal adsorption by zeolite studied by Mehdizadeh et al, in which the adsorption reached equilibrium at 10-30 minutes depending on metal ions.²⁰

Effect of adsorbent dosage

Adsorbent dosage or the amount of adsorbent is one of the important parameters on adsorption because it implies the adsorption capability when the concentration of Fe(II) ions is constant.

The experiment limited the amount of silica as adsorbent at 0.2 0.4 0.6 0.8 and 1.0 g in 20 mg/L Fe(II) solution 50 mL and pH to 6. Silica from glutinous rice showed maximum uptake at 0.4 g dosage while silica from jasmine rice showed maximum uptake at 0.6 g dosage with nearly 100% adsorption as shown in Figure 4(c). The adsorption of Fe(II) ions increased rapidly with increasing dose of silica due to the greater availability of the exchange sites or surface area.²⁰

Effect of initial concentration of Fe(II) ions

The effect of initial concentration of Fe(II) ions on the adsorption percentage of Fe(II) ions by extracted silica was studied by batch adsorption experiment using different initial Fe(II) concentrations at 10, 20, 30, 40 and 50 mg/L at optimal pH. The result is shown in Figure 4(d). It can be seen that the maximum adsorption of silica from glutinous and jasmine rice husks occurred at the initial concentration 30 and 20 mg/L, respectively, with the

adsorption percentage being more than 90%. At higher concentrations, the numbers of Fe(II) ion are relatively higher compared to availability of adsorption sites. Therefore, the adsorption is constant or decreases with increasing in initial concentration.²²

Conclusions

This work prepared silica from husks of glutinous and jasmine rice by refluxing in hydrochloric acid and heating at 600 °C for 6 hours with characterization by XRD XRF and SEM. The XRD pattern confirmed the amorphous silica phase for both extracted silica with high purity of nearly 100%. SEM images of prepared silica showed a polygonal shape with rough surface and porosity. After Fe(II) adsorption, the morphology of extracted silica were not changed. The adsorption batch method was employed to determine the effect of each adsorption parameter including pH, contact time, adsorbent dosage and Fe(II) ions concentration. The experiment was carried out at an ambient temperature. The optimum parameters corresponding to the maximum adsorption of Fe(II) ions for silica extracted from glutinous rice husk were pH 6, 30 minute contact time, 0.4 g adsorbent dosage and 30 mg/L Fe(II) concentrations. The silica extracted from jasmine rice husk showed maximum adsorption at pH 6, 20 minute contact time, 0.6 g adsorbent dosage and 20 mg/L Fe(II) concentrations.

Acknowledgements

This work was financially supported by The National Research Council of Thailand and Ubon Ratchathani Rajabhat University Grant year 2015.

References

1. Groundwater situation report for Thailand, 2015, Department of groundwater resource, online: http://www.agriinfo.doae.go.th/year58/diaster/dgr_report.pdf, accessed in June 29, 2017 (in Thai)
2. Quality and standard for public health and environment protection. May 21, B.E 2551. Royal Thai Government Gazette. Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment No 125 special

part 85D. (in Thai)

3. Jusoh A, Cheng WH, Low WM, Nora'ainia A, Noor MJMM. Study on the Removal of Iron and Manganese in Groundwater by Granular Activated Carbon. *Desalination* 2005; 182: 347-353.
4. Veglio F, Passariello B, Abbruzzese C. Iron Removal Process for High-Purity Silica Sands Production by Oxalic Acid Leaching. *Ind. Eng. Chem. Res* 1999; 38: 4443-4448.
5. Moghadam MR, Nasirizadeh N, Dashti, Z., Babanezhad, E. Removal of Fe(II) from Aqueous Solution Using Pomegranate Peel Carbon: Equilibrium and Kinetic Studies *Int J Ind Chem* 2003; 4: 19-24.
6. Nguyen TAH, Ngo HH, Guo WS, Zhang J, Liang S, Yue QY, Li Q, Nguyen TV. Applicability of Agricultural Waste and By-Products for Adsorptive Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Bioresour Technol* 2013; 148: 574-585.
7. Parida U, Bastia TK, Kar BB. A Study on the Water Absorption Efficiency of Porous Silica Gel Prepared from Rice Husk Ash. *Asian J Water Environ Pollut* 2017; 14(1): 83-86
8. Sankar S, Sharma SK, Kaur N, Lee B, Kim DY, Lee S, Jung H. Biogenerated Silica Nanoparticles Synthesized from Glutinous, Red, and Brown Rice Husk Ashes by a Chemical Method. *Ceram Int* 2016; 42: 4875-4885.
9. Todkar BS, Deorukhkar, OA. Deshmukh, SM, (2016), Extraction of Silica from Rice Husk. *Int J Eng Res Dev* 2016; 12(3): 69-74.
10. Pode, R. Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renew Sust Ener Rev* 2016; 53: 1468-1485.
11. Babaso, PN, Sharanagouda H. Rice Husk and Its Applications: Review. *Int J Curr Microbiol AppSci* 2017; 6(10): 1144-1156.
12. Zhang Y, Zhao J, Jiang Z, Shan D, Lu Y. Biosorption of Fe(II) and Mn(II) Ions from Aqueous Solution by Rice Husk Ash. *BioMed Res. Int.* 2014; 24: ID973095.
13. Leela-adisorn, U. Preparation and Characterization of High-Grade Silica from Rice Husk. Bachelor Thesis, Department of Materials Science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand. 1993.
14. Jongsuwanpaisan, T, Rice-husk Silica Dehumidifying Wall Unit, Thesis, Master of Architecture Program, Faculty of Architecture and Plannin, Thammasart University. Pathumthani, Thailand 2549. (in Thai)
15. Lima SPB, Vasconcelos RP, Paiva OA, Cordeiro GC, Chaves MRM, Filho RDT, Fairbairn EMR. Production of Silca Gel from Residual Rice Husk Ash. *Química Nova* 2011; 34(1): 71-75.
16. Ferreira CS, Santos PL, Bonacin JA, Passos RR, Pocrifka LA. Rice Husk Reuse in the Preparation of SnO₂/SiO₂ Nanocomposite. *Mat Res* 2015; 18(3): 639-643.
17. Cho H, Oh D, Kim K. A Study on Removal Characteristics of Heavy Metals from Aqueous Solution by Fly Ash. *J Hazard Mater* 2005; 127(1-3): 187-195.
18. Rodda DP, Johnson BB, Wells JD. The Effect of Temperature and pH on the Adsorption of Copper(II), Lead(II), and Zinc(II), onto Goethite. *J. Colloid Interface Sci* 1993; 161 (1): 57-62.
19. Salama OEA, Reiadb NA, ElShafei MM. A Study of the Removal Characteristics of Heavy Metals from Wastewater by Low-Cost Adsorbents. *J Adv Res* 2011; 2(4): 297-303.
20. Mehdizadeh S, Sadjadi S, Ahmadi SJ, Outokesh M. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Platinum Nanoparticles/Zelite-4A. *J Environ Health Sci Eng* 2014; 12: 7.
21. Moghadam MR, Nasirizadeh N, Dashti Z, Babanezhad E. Removal of Fe(II) from Aqueous Solution Using Pomegranate Peel Carbon: Equilibrium and Kinetic Studies. *Int J Ind Chem* 2013; 4: 19.
22. Meena AK, Kadirvelu K, Mishra GK, Rajagopal C, Nagar PN. Adsorptive Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Treated Sawdust (*Acacia Arabica*). *J Hazard Mater* 2008; 150: 604-611.

การกระเจิงของศักย์ยูกาวาโดยใช้หลักการควอนตัมเชิงพลวัต

Yukawa scattering treated by the Quantum dynamical principle

อาณาจักร พลจันทีก, เสกสรร สุขะเสนา

Anajak Phonchantuek¹, Seckson Sukhasena²

Received: 29 December 2017; Accepted: 4 April 2018

บทคัดย่อ

การกระเจิงโดยศักย์ยูกาวา ถูกยกเป็นกรณีการศึกษา ผ่านการใช้เทคนิคการคำนวณโดยหลักการเชิงพลวัตควอนตัมที่เสนอโดยชวิงเงอร์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ขึ้นกับฟังก์ชันกำเนิดที่ถูกแทนที่ด้วยตัวกระทำแบบฟังก์ชันเชิงอนุพันธ์ จากผลลัพธ์เราได้ลักษณะอสมโทติกของกรีนฟังก์ชันอิสระ ที่สามารถอธิบายลักษณะของการกระเจิงของอนุภาคต่อศักย์ยูกาวา และทำการแปรค่าพารามิเตอร์ของมวลให้มีค่าต่างๆ กัน นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้ยังนำไปสู่ค่าแอมพลิจูดของการกระเจิงและค่าภาคตัดขวางของการกระเจิงเชิงอนุพันธ์อื่นเนื่องมาจากศักย์ยูกาวาอีกด้วย

คำสำคัญ: หลักการควอนตัมเชิงพลวัต การกระเจิงโดยศักย์ยูกาวา ศักย์ระยะสั้น กรีนฟังก์ชัน

Abstract

Yukawa scattering is pedagogically interpreted, by the Schwinger's quantum dynamical principle involving the generating function, which is replaced by a functional differential operation. As for the results, we get the asymptotically free Green function that explains the behavior of the Yukawa potential when the mass parameter is increasing and it can also lead to scattering amplitude and differential cross section respectively.

Keywords: quantum dynamical principle, Yukawa scattering, short range potentials, Green functions.

Introduction

In quantum scattering, we are interested in an interaction between the incident particles and the potential of the target e.g., coulomb potential¹ $V(x)=1/x$ which describes the behavior of particle scattering. Yukawa² presented his study by considering the meson interaction, particle with mass, which eventually was called the Yukawa potential,. Experimentally, researchers studied the scattering amplitude to determine these scattered particles. R. Feynman presented a diagram of particle

scattering with the path integral that uses the time-slicing derivation^{3,4}.

Accordingly, in this report, we use the quantum dynamical principle proposed by J. Schwinger⁵⁻⁹ to describe this situation. This method is very useful because it gives us the interested transformation function, also called the propagator. In particular, the Hamiltonian equation of this system involves external sources which generate degrees of freedom^{10,11,12}. The equation is precisely derived from the variation of the transformation

¹ นิสิตระดับปริญญาโท วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน “สถาบันสำนักเรียนท่าโพธิ์” มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

² อาจารย์, วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน “สถาบันสำนักเรียนท่าโพธิ์” มหาวิทยาลัยนเรศวร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ The Institute for Fundamental Study “The Tah Poe Academia Institute” Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand, anajakp58@email.nu.ac.th

² Lecturer, The Institute for Fundamental Study “The Tah Poe Academia Institute” Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand.
Author for correspondence: secksons@nu.ac.th

function that depends on the potential, and then it is replaced by the differential functional. Consequently, it leads to the scattering amplitude.

The main purpose of this paper is to find the scattering amplitude and differential cross section by evaluating the asymptotically free Green function through the Yukawa potential. Previously, this method was also used to explain Coulomb scattering^{13,14} near an energy shell. Clearly, this paper also shows the process, by setting tools, for interpreting the scattering problem in quantum theory by using the Yukawa potential which is involved with the mass term.

Quantum dynamical principle for scattering case

We start with a typical Hamiltonian written as

$$H = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} + V(\mathbf{x}), \quad (1)$$

where $\mathbf{p}$ is the momentum of a particle with mass m and incident on a potential $V(\mathbf{x})$. Furthermore, we present a new Hamiltonian $H(\lambda, \tau)$ as follows

$$H(\lambda, \tau) = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} + \lambda V(\mathbf{x}) - \mathbf{x} \cdot \mathbf{F}(\tau) + \mathbf{p} \cdot \mathbf{S}(\tau), \quad (2)$$

The latter involves the external sources $\mathbf{F}(\tau)$ and $\mathbf{S}(\tau)$ at time τ . These sources are linear function of $\mathbf{x}$ and $\mathbf{p}$. The sources generate $\mathbf{x}(\tau)$ and $\mathbf{p}(\tau)$, for position and momentum at time τ respectively. The parameter λ is an arbitrary parameter. The arbitrary parameter is another physical quantity involved with the system that we don't need to specify. It will be eventually set equal to one (because of the boundary condition of the transformation function).

Next we introduce Schwinger's quantum dynamical principle in the variation of transformation function from $\mathbf{p}$ at time t' (initial state) to $\mathbf{x}$ at time t (final state), written as

$$\delta \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle = -\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau \delta \langle \mathbf{x}t | \delta H(\mathbf{x}(\tau), \mathbf{p}(\tau), \tau; \lambda) | \mathbf{p}t' \rangle. \quad (3)$$

This leads to

$$\delta \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle = -\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau \delta \left[\lambda V \left(-i\hbar \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau)} \right) \right] \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle, \quad (4)$$

by inserting the Hamiltonian from Eq. (2) into Eq. (3). So, this variation satisfies this Hamiltonian and depends on the parameter λ . In addition, for $V(\mathbf{x})$, $\mathbf{x}$ is replaced by $-i\hbar \delta / \delta \mathbf{F}(\tau)$, which was denoted earlier.

Immediately, integrating Eq. (4) over λ from $\lambda = 0$ to 1, we obtain

$$\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle = \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau V \left(-i\hbar \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau)} \right) \right] \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle^0 \Big|_{\mathbf{F}=0, \mathbf{S}=0}, \quad (5)$$

where $\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle^0$ satisfied the Hamiltonian in Eq. (1) and setting the parameter $\lambda = 1$. The transformation function $\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle^0$ is governed by the free Hamiltonian. The source terms, $\mathbf{F}(\tau)$ and $\mathbf{S}(\tau)$ are finally set equal to zero to satisfy the Hamiltonian in Eq. (1). Zero-superscript denotes the free particle where it's Hamiltonian is given by

$$H(0, \tau) = \frac{\mathbf{p}^2}{2m} - \mathbf{x} \cdot \mathbf{F}(\tau) + \mathbf{p} \cdot \mathbf{S}(\tau). \quad (6)$$

By applying the quantum dynamical principle to Eq.(6) and replacing $\mathbf{p}$ by $i\hbar \delta / \delta \mathbf{S}(\tau)$, we obtain

$$\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle^0 = \exp \left[-\frac{i}{2m\hbar} \int_{t'}^t d\tau \left(i\hbar \frac{\delta}{\delta \mathbf{S}(\tau)} \right)^2 \right] \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle_0. \quad (7)$$

The transformation function $\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle_0$ satisfies the Hamiltonian equation, i.e. without the kinetic term, which is defined as

$$H_0(\tau) = -\mathbf{x} \cdot \mathbf{F}(\tau) + \mathbf{p} \cdot \mathbf{S}(\tau). \quad (8)$$

By the way, the *Heisenberg equation* of the special Hamiltonian in Eq. (8) is integrated. Finally, we obtain

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle_0 &= \exp \left[\frac{i}{\hbar} \mathbf{x} \cdot \left(\mathbf{p} + \int_{t'}^t d\tau \mathbf{F}(\tau) \right) \right] \\ &\times \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \mathbf{p} \cdot \int_{t'}^t d\tau \mathbf{S}(\tau) \right] \end{aligned}$$

$$\times \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau \int_{t'}^{\tau} d\tau' \mathbf{S}(\tau) \Theta(\tau - \tau') \mathbf{F}(\tau') \right], \quad (9)$$

where the Heaviside step function, $\Theta(\tau)$, is used as the time controller. In particular, from Eq. (9), when we set $\mathbf{S}(\tau)$ and $\mathbf{F}(\tau)$ equal to zero and substitute into Eq. (7) thus Eq. (5) is directly rewritten as

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle &= \exp \left[\frac{i}{\hbar} \left(\mathbf{x} \cdot \mathbf{p} - \frac{\mathbf{p}^2}{2m} (t - t') \right) \right] \\ &\times \exp \left[\frac{i\hbar}{2m} \int_{t'}^t d\tau \int_{t'}^{\tau} d\tau' [t - \tau_{>}] \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau)} \cdot \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau')} \right] \\ &\times \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau V \left(\mathbf{x} - \frac{\mathbf{p}}{m} (t - \tau) + \mathbf{F}(\tau) \right) \right] \Big|_{\mathbf{F}=0, \mathbf{S}=0}, \quad (10) \end{aligned}$$

where $\tau_{>}$ is maximum of τ and τ' . We replace, for the potential function, $-i\hbar \delta / \delta \mathbf{F}(\tau)$ by $\mathbf{x} - \mathbf{p}(t - t') / m$ to get Eq. (10). Finally, we get the translational invariant in time when setting $\mathbf{F}(\tau) = 0$. $\langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle$ is a *transformation function* of $t - t'$.

The differential cross section from the asymptotically free Green function

Next, we determine the differential cross section by using the *asymptotically free Green function* which is a function at infinite time.

We recall the definition of Green function that

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{x}t | \mathbf{p}t' \rangle &= G_+(\mathbf{x}t, \mathbf{p}t') \\ &= \int d^3 \mathbf{x}' e^{i\mathbf{x}' \cdot \mathbf{p} / \hbar} G_+(\mathbf{x}t, \mathbf{x}'t'), \quad (11) \end{aligned}$$

for $G_+(\mathbf{x}t, \mathbf{x}'t')$ is denoted as $\langle \mathbf{x}t | \mathbf{x}'t' \rangle$.

We use the Fourier transform to rewrite Eq. (11) as

$$\begin{aligned} G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0) &= -\frac{i}{\hbar} \frac{1}{(2\pi\hbar)^3} \int_0^\infty d\alpha e^{i(p^0 + i\omega)\alpha / \hbar} \\ &\times \int d^3 \mathbf{x} e^{-i\mathbf{x} \cdot \mathbf{p} / \hbar} \langle \mathbf{x}\alpha | \mathbf{p}'0 \rangle, \quad (12) \end{aligned}$$

where $\langle \mathbf{x}\alpha | \mathbf{p}'0 \rangle$ is given in Eq. (10) with $t - t' \equiv \alpha$, and $\omega \rightarrow +0$.

Next, insert Eq. (10) into Eq. (12), we obtain

$$\begin{aligned} G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0) &= -\frac{i}{\hbar} \frac{1}{(2\pi\hbar)^3} \int_0^\infty d\alpha e^{i(p^0 - E(\mathbf{p}') + i\omega)\alpha / \hbar} \\ &\times \int d^3 \mathbf{x} e^{-i\mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} - \mathbf{p}') / \hbar} K(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; \alpha), \quad (13) \end{aligned}$$

where $E(\mathbf{p}') = \mathbf{p}'^2 / 2m$.

The function $K(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; \alpha)$ is denoted as

$$\begin{aligned} K(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; \alpha) &= \exp \left[\frac{i\hbar}{2m} \int_{t'}^t d\tau \int_{t'}^{\tau} d\tau' [t - \tau_{>}] \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau)} \frac{\delta}{\delta \mathbf{F}(\tau')} \right] \\ &\times \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_{t'}^t d\tau V \left(\mathbf{x} - \frac{\mathbf{p}'}{m} (t - \tau) + \mathbf{F}(\tau) \right) \right] \Big|_{\mathbf{F}=0}. \quad (14) \end{aligned}$$

For $\alpha \rightarrow \infty$, we consider the $G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0)$ near the energy shell $p^0 \simeq \mathbf{p}'^2 / 2m$. So, we introduce the new integration variable as

$$u = \frac{\alpha}{\hbar} [p^0 - E(\mathbf{p}')]. \quad (15)$$

Thus Eq. (13) becomes

$$\begin{aligned} G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0) [p^0 - E(\mathbf{p}')] &= -\frac{i}{(2\pi\hbar)^3} \int_0^\infty du e^{iu(1+i\omega)} \\ &\times \int d^3 \mathbf{x} e^{-i\mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} - \mathbf{p}') / \hbar} K \left(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; \frac{u\hbar}{p^0 - E(\mathbf{p}')} \right). \quad (16) \end{aligned}$$

Considering only $K(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; u\hbar / (p^0 - E(\mathbf{p}')))$ where we set $\mathbf{F}(\tau) = 0$, and obtain

$$\begin{aligned} &K \left(\mathbf{x}, \mathbf{p}'; \frac{u\hbar}{p^0 - E(\mathbf{p}')} \right) \\ &\simeq \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_0^{u\hbar / (p^0 - E(\mathbf{p}'))} d\alpha V \left(\mathbf{x} - \frac{\mathbf{p}'}{m} \alpha \right) \right] \quad (17) \end{aligned}$$

Clearly, Eq. (16) can be rewritten as

$$\begin{aligned} &G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0) [p^0 - E(\mathbf{p}')] \\ &= -\frac{i}{(2\pi\hbar)^3} \int_0^\infty du e^{iu(1+i\omega)} \int d^3 \mathbf{x} e^{-i\mathbf{x} \cdot (\mathbf{p} - \mathbf{p}') / \hbar} \\ &\times \exp \left[-\frac{i}{\hbar} \int_0^{u\hbar / (p^0 - E(\mathbf{p}'))} d\alpha V \left(\mathbf{x} - \frac{\mathbf{p}'}{m} \alpha \right) \right]. \quad (18) \end{aligned}$$

Next, we consider the Yukawa potential,

$V(\mathbf{x}) = \lambda e^{-kM|\mathbf{x}|} / |\mathbf{x}|$ where M is mass of a particle that mediating force. For this potential, we consider only the last exponential term of Eq. (18) by using approximation and incomplete Gamma function. We obtain

$$\exp\left[-\frac{i}{\hbar} \int_0^{u\hbar/(p^0-E(\mathbf{p}'))} d\alpha V\left(\mathbf{x}-\frac{\mathbf{p}'}{m}\alpha\right)\right] \approx \exp\left[-\frac{i}{\hbar} \frac{\lambda kmM}{|\mathbf{p}'|} \left(\ln\left(\frac{2}{|\mathbf{x}|(1-\cos\theta)}\right) - \gamma\right)\right] \quad (19)$$

where γ is Euler-Mascheroni constant and $\theta = \mathbf{p}' \cdot \mathbf{x} / |\mathbf{p}'| |\mathbf{x}|$. Eq. (19) is independent of u variable. Therefore, we can easily integrate over u in Eq. (18) and get

$$\int_0^\infty du e^{iu(1+i\epsilon)} = \frac{-1}{i(1+i\epsilon)}. \quad (20)$$

Finally, from Eq. (18), when $\epsilon \rightarrow +0$, we obtain

$$\int d^3\mathbf{p} e^{i\mathbf{p} \cdot \mathbf{x} / \hbar} G_+(\mathbf{p}, \mathbf{p}'; p^0) \approx \frac{e^{i\mathbf{x} \cdot \mathbf{p}' / \hbar}}{[p^0 - E(\mathbf{p}') + i\epsilon]} e^{-i\beta \ln(2p')} e^{i\beta\gamma} e^{i\beta \ln(p' \mathbf{x} - \mathbf{p}' \cdot \mathbf{x})}. \quad (21)$$

where $\beta = \lambda kmM / p'$. This is the asymptotically free Green function for Yukawa scattering. In terms of energy-momentum representation, it is expressed as

$$G_+^0(\mathbf{p}) = \frac{e^{i\beta\gamma} e^{-i\beta \ln(2p)}}{[p^0 - E(\mathbf{p}) + i\epsilon]}. \quad (22)$$

The meaning of "free" word is the $\mathbf{x}$ -independent. Therefore, we can plot this propagator for $M = 0.510, 1$ and 1.5 MeV, as shown in Figure 1.

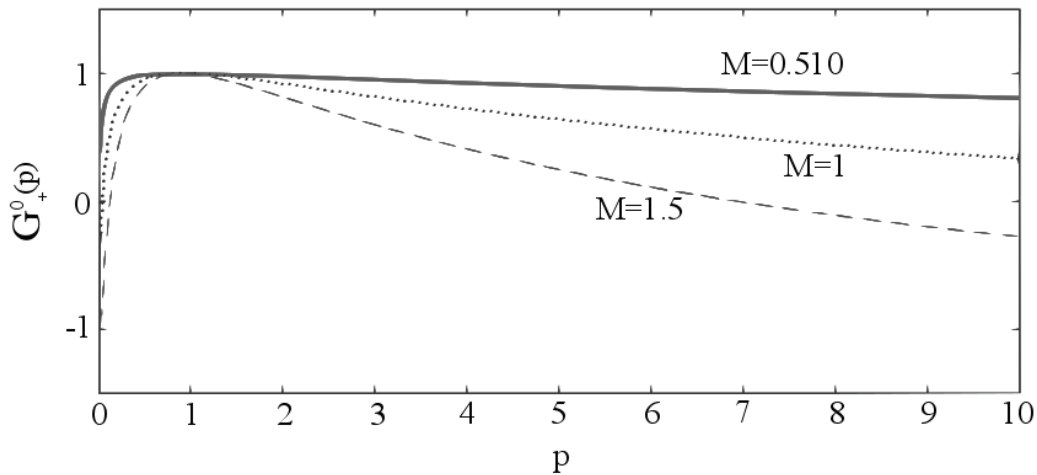


Figure 1 The Asymptotically free Green function of the Yukawa scattering of various masses

The scattering amplitude $f(\mathbf{p}, \mathbf{p}')$ for scattering particle is given by

$$f(\mathbf{p}, \mathbf{p}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \int d^3\mathbf{p}'' V(\mathbf{p}-\mathbf{p}'') \times G_+(\mathbf{p}'', \mathbf{p}'; p^0) [p^0 - E(\mathbf{p}'')] \Big|_{p^0=E(\mathbf{p}')}, \quad (23)$$

where $\mathbf{p}$ and $\mathbf{p}'$ are the initial and final momenta respectively. Next, we substitute the final result from Eq.(21) and obtain the scattering amplitude as

$$f(\mathbf{p}, \mathbf{p}') = -\frac{m}{2\pi\hbar^2} \frac{4\pi\lambda}{(\mathbf{p}-\mathbf{p}')^2 + (kM)^2} \times (p'(p-p') - \mathbf{p}' \cdot (\mathbf{p}-\mathbf{p}'))^{i\beta} e^{i\beta\gamma} e^{-i\beta \ln(2p')}. \quad (24)$$

After we take the squared absolute and then we get the differential cross section for Yukawa scattering. It is given as

$$D(\theta) = \frac{4m^2\lambda^2}{\hbar^4 \left(4\mathbf{p}^2 \sin^2(\theta/2) + (kM)^2 \right)^2}. \quad (25)$$

The result given in Eq. (25) is consistent with the Born approximation. By using Eq. (25), it can be shown by the graph in Figure 2, for $M = 0.510$, 1 and 1.5 MeV, respectively.

Discussion and Conclusion

The transformation function in Eq. (10) provided the trajectory which involved potential V . This potential is the function of $\mathbf{x} - \mathbf{p}(t - \tau)/m$ only, by setting $\mathbf{F} = 0$

. So, this function leads to the propagator of scattered particle. The following result is the asymptotically free Green function for Yukawa scattering. It is directly obtained from considering this potential when a particle is near the energy shell. In Figure 1, the propagators still conserve their wave properties for the mass M of its own potential for $M = 1$ and 1.5 MeV respectively. Particularly, this means that the Yukawa potential decreased the influence of the incoming particle. It certainly confirms the existence of the short range potential. Finally, the differential cross section in Eq. (25) is obtained and consistent with the result calculated by the Born approximation method. Figure 2 shows the graph of the differential cross section for various masses as a comparative study by the present method.

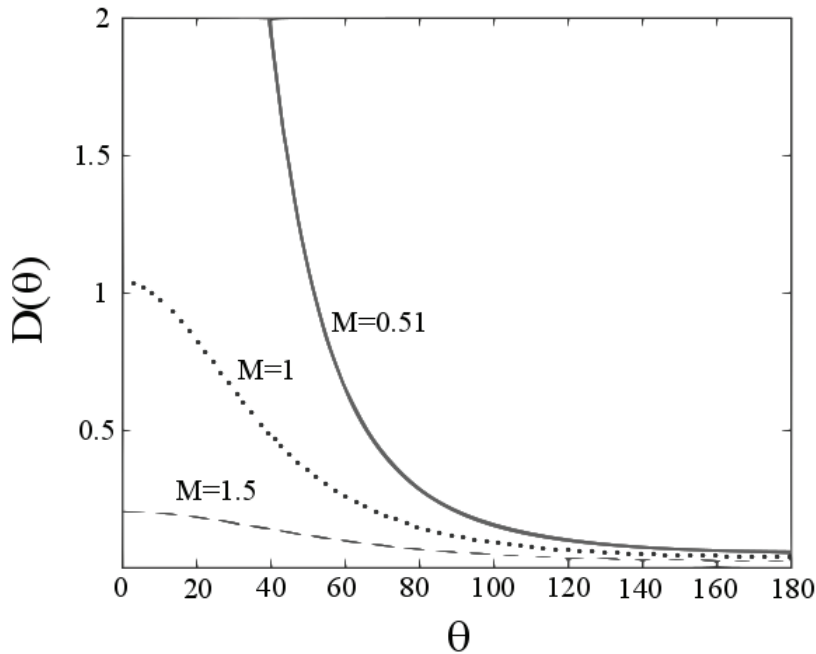


Figure 2 The differential cross section of Yukawa scattering with various masses.

Acknowledgements

The authors would like to thank their colleague, P. Vanichapongjaroen at the Institute for Fundamental Study "The Tah Poe Academia Institute" for his help improving this manuscript. One of the authors (A. Phonchantuek) would like also to thank the Development and Promotion

of Science and Technology Talents Project of Thailand (DPST) for its long time support of his education. The authors appreciation is also thank to Paul Padco for his kindness help for the last checking for completeness of the manuscript.

References

1. Low, F. E. 2004. *Classical Field Theory: Electromagnetism and Gravitation*. Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
2. Yukawa, H. 1934. On the Interaction of Elementary Particles I. *Proceeding of the Physico-Mathematical Society of Japan*. 17, 48-57.
3. Feynman, R. P. 1946. Space-Time Approach to Quantum Electrodynamics. *Physics Review*. 76, 769.
4. Feynman, R. P. 1946. The Theory of Positrons. *Physics Reviews*. 76, 749.
5. Schwinger, J. 1951. On the Green's Functions of Quantized Fields I. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*. 37, 452-455.
6. Schwinger, J. 1953. The Theory of Quantized Fields II. *Physics Review*. 91, 713-728.
7. Schwinger, J. 1960a. Unitary Transformations and the Action Principle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*. 46, 883-897.
8. Schwinger, J. 1960b. The Special Canonical Group. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*. 46, 1401-1415.
9. Schwinger, J. 1961. Quantum Variables and the Action Principle. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*. 47, 1075-1083.
10. Schwinger, J. 1966. Particles and Sources. *Physics review*. 152, 1219-1226.
11. Manoukian, E. B. 1985. Quantum Action Principle and Path Integrals for Long-Range Interactions. *Nuovo Cimento A*. 90, 295-306.
12. Manoukian, E. B. 1988. Functional approach to scattering in quantum field theory. *Inter International journal of theoretical physics*. 27, 401-.
13. Manoukian, E. B. 2006. *Quantum Theory: A wide spectrum*. Netherlands: Springer.
14. Manoukian, E. B. and Sukkhasena, S. 2006. Functional Treatment of Quantum Scattering via the Dynamical Principle. *Progress of Theoretical Physics*. 116, 795-801.

ความจำเพาะและโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) และโซเดียมกับกรดพิโคลินิก

Specificity and structures of Cu (II), CuNPs and Na complexes with picolinic acid

นุจรินทร์ วะสุกัน¹, มะยุโซะ คุโน², สุจิตรา ศรีสังข์^{3*}

Nootcharin Wasukan¹, Mayuso kuno², Sujittra Srisung^{3*}

Received: 5 January 2018; Accepted: 7 March 2018

บทคัดย่อ

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางนาโนเทคโนโลยีเติบโตขึ้นอย่างแพร่หลาย ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้มีการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวาง ซึ่งกรดพิโคลินิกได้รับความสนใจในด้านอุตสาหกรรมยา และสามารถจับกับไอออนของโลหะในร่างกายได้ ขณะที่อนุภาคคอปเปอร์นาโนถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์สำหรับอุปโภคบริโภคอย่างแพร่หลาย ทำให้มนุษย์มีโอกาสได้รับอนุภาคคอปเปอร์นาโนเข้าสู่ร่างกายได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเกิดอันตรกิริยาระหว่างกรดพิโคลินิก (Picolinic acid) กับโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) และโซเดียม ด้วยระเบียบวิธีการคำนวณ B3LYP/6-31G (d,p) เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง ตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O และพันธะระหว่าง N-O และพลังงานการจับของอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน และโซเดียมแบบ 1 ต่อ 1 จากการศึกษาพบว่า พลังงานการจับระหว่างพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) ที่พันธะระหว่าง N-O มีพลังงานการจับเท่ากับ -493.838 kcal/mol ซึ่งพบว่ามีค่าเสถียรมากกว่าพันธะระหว่าง O-O สำหรับพลังงานการจับระหว่างพิโคลินิกกับโลหะโซเดียมที่พันธะระหว่าง O-O มีพลังงานการจับเท่ากับ -155.501 kcal/mol ซึ่งพบว่ามีค่าเสถียรมากกว่าพันธะระหว่าง N-O เนื่องจากพลังงานที่ได้จากการคำนวณมีค่าลดลง ดังนั้นพบว่าโลหะคอปเปอร์ (II) มีความจำเพาะกับพิโคลินิกมากกว่าโลหะโซเดียม นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความจำเพาะระหว่างพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) และอนุภาคคอปเปอร์นาโน พบว่าพลังงานการจับระหว่างพิโคลินิกกับอนุภาคคอปเปอร์นาโนที่พันธะระหว่าง N-O มีความเสถียรมากกว่าพันธะระหว่าง O-O และพลังงานการจับเท่ากับ -5850.242 kcal/mol ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่าโครงสร้างของพิโคลินิกกับคอปเปอร์ (II) เนื่องจากอนุภาคคอปเปอร์นาโนมีขนาดเล็กกว่าโลหะคอปเปอร์ ทำให้มีความจำเพาะและสามารถจับกับพิโคลินิกได้ดีที่สุด

คำสำคัญ: กรดพิโคลินิก คอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) โซเดียม สารประกอบเชิงซ้อน

Abstract

Today, nanotechnology is a rapidly growing modern technology widely researched in drug development. Picolinic acid is interesting to the pharmaceutical industry because of its interaction with metal ions in the human body. Copper nanoparticles (CuNPs) are widely used in consumer products and the human can be exposed to them. In this study, the interactions between picolinic acid and copper (II) and sodium were studied using the B3LYP/6-31G (d,p) method. The structures, position of the O-O bond and N-O bond and the binding energy of the complex ratios of picolinic acid to metal ions of copper (II) and sodium of 1 : 1 were investigated. The results showed that binding of picolinic acid and copper (II) at the position between N-O bond had a binding energy of -493.838 kcal/mol, which is found to be more stable than the position between O-O bond. While, the binding energy of picolinic acid and sodium at the position between O-O bond was estimated to be -155.501 kcal/mol being more stable than at the position between N-O bond,

¹ นักวิจัย ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120

^{2,3} ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร 10110

¹ Research, National Nanotechnology center, National Science and Technology Development Agency 12120

^{2,3} Assistant Professor Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110

due to the result of the energy calculation being decreased. Therefore, binding of copper (II) with picolinic acid is more specific than sodium. In addition, specificity between picolinic with copper (II) and copper nanoparticles was compared. The results showed that picolinic acid and copper nanoparticles at the position between N-O bond were found to be more stable than the position between O-O bond with the binding energy of -5850.242 kcal/mol. Due to the Copper nanoparticles are smaller than copper (II) can occur the best specificity and the ability to bind the picolinic acid.

Keywords: Picolinic acid, Copper (II), Copper Nanoparticles (CuNPs), Sodium, Complex

บทนำ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้เกิดการค้นคว้าวิจัยและพัฒนาในรูปแบบใหม่อย่างกว้างขวาง สำหรับสารประกอบไพริดีน (Pyridine compounds) ได้รับความสนใจในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ธรรมชาติอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะทางเคมี เนื่องจากความหลากหลายของคุณสมบัติทางกายภาพและสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมยา¹⁻³ กรดพิโคลินิก (Picolinic acid) มีหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) อยู่ตำแหน่งที่สอง แสดงดัง Figure 1 เป็นไอโซเมอร์ของกรดนิโคตินิก (Nicotinic acid) ซึ่งมีหมู่คาร์บอกซิลอยู่ตำแหน่งที่สาม⁴⁻⁵ กรดพิโคลินิกสามารถสร้างพันธะกับโลหะไอออนในร่างกายมนุษย์ เช่น โคเรียม สังกะสี แมงกานีส และโมลิบดีนัม จะเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาต่างๆ ในร่างกาย⁶⁻⁸ นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) มีการใช้อย่างแพร่หลายในผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภค ซึ่งมนุษย์มีโอกาสดูดซับเข้าสู่ร่างกายได้⁹⁻¹⁰ จึงได้รับความสนใจในการศึกษาระบบเมตาบอลิซึมในร่างกายมนุษย์ เนื่องจากสารประกอบของลิแกนด์กลุ่มนี้มีคุณสมบัติของสารคีเลต (Chelating agent) และเกี่ยวข้องกับบริเวณเร่ง (Active site) ที่มีโครงสร้างเหมาะสมกับโครงสร้างโมเลกุลของยาปฏิชีวนะ สามารถผ่านเซลล์ผนังหลอดเลือดทำให้ระบบไหลเวียนเลือดดีขึ้น และลดปริมาณคอเลสเตอรอลรวมทั้งไขมันในเส้นเลือดได้¹¹

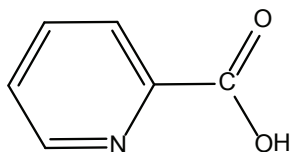


Figure 1 Structure of picolinic acid.

กรดพิโคลินิกมีการประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายทางเคมีและอุตสาหกรรมยา นอกจากนี้ยังมีรายงานที่เกี่ยวข้องกับการดักจับโลหะเมื่ออยู่ในรูปแบบของสารประกอบเชิงซ้อนกับสังกะสี ทำให้สังกะสีสามารถผ่านผนังทางเดินอาหารและระบบไหลเวียนได้ดีขึ้น¹⁰ เมื่อทำปฏิกิริยากับโคเรียมและเหล็กใช้

ในการรักษาโรคเบาหวานและโรคโลหิตจาง¹²⁻¹³ ทางด้านเชิงพาณิชย์กรดพิโคลินิกจะใช้เป็นตัวกลางในการผลิตเภสัชภัณฑ์และเกลือของโลหะสำหรับการประยุกต์ใช้ทางด้านอาหารเสริม¹⁴

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ไม่ว่าจะเป็นทางด้านซอฟต์แวร์ (Soft ware) และฮาร์ดแวร์ (Hardware) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านวิทยาศาสตร์และการประยุกต์ ดังนั้นการพัฒนาและออกแบบโมเลกุลที่มีสมบัติของสารคีเลต เพื่อใช้ทางยาปฏิชีวนะในระบบเมตาบอลิซึมของร่างกาย ในโครงการวิจัยนี้จะทำการประยุกต์โดยใช้เคมีคอมพิวเตอร์ (Computational chemistry) ในการศึกษาวิจัยเพื่อเป็นการทำนายโครงสร้าง อันตรกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อน รวมทั้งเปรียบเทียบความจำเพาะ และความเสถียรภาพของโลหะกับลิแกนด์ดังกล่าว นอกจากนี้ทางด้านเคมีคอมพิวเตอร์ยังช่วยลดระยะเวลา งบประมาณ และประหยัดสารเคมีในการทดลองอีกด้วย ในปัจจุบันพบว่ามีการศึกษาและวิจัยเพื่อพัฒนาสารประกอบของลิแกนด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิก (Carboxylic; COOH) กับโลหะต่างๆ อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการทางชีวโมเลกุลของร่างกายมนุษย์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอันตรกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) และโลหะโซเดียม รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบความจำเพาะระหว่างโลหะคอปเปอร์ (II) กับอนุภาคคอปเปอร์นาโน ซึ่งโลหะดังกล่าวมีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการทางชีวโมเลกุลและทางด้านการดูแลสุขภาพร่างกายของมนุษย์ โดยใช้วิธีการคำนวณทางเคมีควอนตัม (Quantum chemistry) หรือเคมีคอมพิวเตอร์ การศึกษาดังกล่าวนี้นี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญที่จะใช้ในการอธิบายและเกิดความเข้าใจถึงกลไกในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างพิโคลินิกกับโลหะที่มีความจำเพาะต่อบริเวณต่างๆ ในร่างกาย

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียม รวมทั้งเปรียบเทียบระหว่างโลหะคอปเปอร์ (II) กับอนุภาคคอปเปอร์นาโน อาศัยการคำนวณทฤษฎีฟังก์ชันความหนาแน่น (Density

functional theory;DFT) โดยใช้ชุดฟังก์ชันพื้นฐานสำหรับคำนวณอะตอมด้วย B3LYP/6-31G (d,p) (Becke 3-parameter exchange and Lee–Yang–Parr) ด้วยโปรแกรม Gaussian 03 ซึ่งทำงานด้วยระบบปฏิบัติการลินุกซ์ เป็นการใช้งานของซอฟต์แวร์ผ่านการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สำหรับการคำนวณอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างมอนอร์เมอร์ A และมอนอร์เมอร์ B ซึ่งจะเกิดจากความแตกต่างระหว่างพลังงานของซูเปอร์โมเลกุล AB และการคำนวณพลังงานทั้งหมดต้องประกอบด้วยฟังก์ชันของซูเปอร์โมเลกุลด้วย ซึ่งในการคำนวณในครั้งนี้ทำการคำนวณพลังงานการจับกันโดยใช้สมการที่ (1)

$$\Delta E(AB) = E(AB^{AB}) - E(A^{AB}) - E(B^{AB}) \quad \dots(1)$$

เมื่อ $\Delta E(AB)$ คือ พลังงานการจับที่เกิดขึ้นระหว่าง A กับ B
 $E(AB^{AB})$ คือ พลังงานของโครงสร้างของโมเลกุลที่เกิดอันตรกิริยาของ A และ B

$E(A^{AB})$ คือ พลังงานของโมเลกุล A ที่คำนวณด้วยฟังก์ชันของโมเลกุลของ A และ B

$E(B^{AB})$ คือ พลังงานของโมเลกุล B ที่คำนวณด้วยฟังก์ชันของโมเลกุลของ A และ B

โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

การศึกษาโครงสร้างของกรดพิโคลินิก

โครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) ซึ่งพบว่าโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโมเลกุลพิโคลินิกมี 3 โครงสร้าง แสดงดัง Figure 2

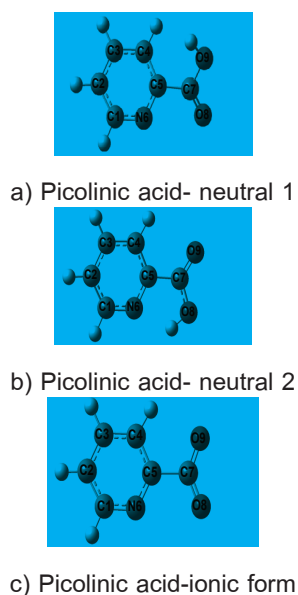


Figure 2 Optimized molecular structures of a) Picolinic acid- neutral 1 b) Picolinic acid- neutral 2 and c) Picolinic acid-ionic form.

การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโนและโซเดียม

สำหรับการศึกษาอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะดังนี้

1. โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) แบบ 1 ต่อ 1

โครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุล Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) ที่เป็นโครงสร้างแบบ 1 ต่อ 1 สำหรับในการศึกษานี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งในโครงสร้างของโมเลกุลพิโคลินิกที่ตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O (ตำแหน่ง XI) กับพันธะระหว่าง N-O (ตำแหน่ง XII) ที่มีผลต่อการจับกันของโลหะคอปเปอร์ (II) โครงสร้างและพลังงานการจับกันที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งดังกล่าวทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) สำหรับโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอันตรกิริยาดังกล่าวพบว่ามีโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2 โครงสร้าง แสดงดัง Figure 3

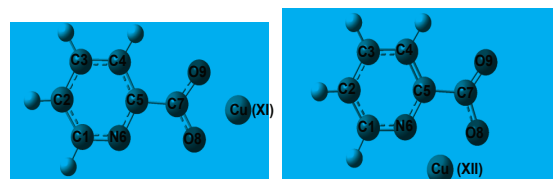


Figure 3 The interactions of picolinic acid-ionic form with copper (II) at XI and XII positions in the ratio of 1:1.

2. โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับอนุภาคคอปเปอร์นาโน แบบ 1 ต่อ 1

โครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุล Picolinic acid-ionic form กับอนุภาคคอปเปอร์นาโนที่เป็นโครงสร้างแบบ 1 ต่อ 1 สำหรับในการศึกษานี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งในโครงสร้างของโมเลกุล picolinic acid ที่ตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O (ตำแหน่ง XI) กับพันธะระหว่าง N-O (ตำแหน่ง XII) ที่มีผลต่อการจับกันของโลหะอนุภาคคอปเปอร์นาโน โครงสร้างและพลังงานการจับกันที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งดังกล่าวทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) สำหรับโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอันตรกิริยาดังกล่าวพบว่ามีโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2 โครงสร้าง แสดงดัง Figure 4

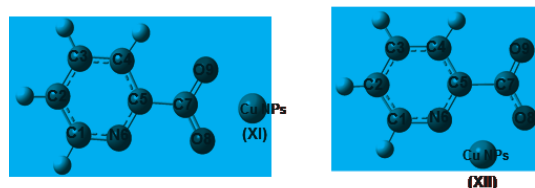


Figure 4 The interactions of picolinic acid-ionic form with CuNPs at positions-XI and XII in the ratio of 1:1.

3. โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะโซเดียมแบบ 1 ต่อ 1

โครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุล Picolinic acid-ionic form กับโลหะโซเดียมที่เป็นโครงสร้างแบบ 1 ต่อ 1 สำหรับในการศึกษานี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของตำแหน่งในโครงสร้างของโมเลกุล picolinic acid ที่ตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O (ตำแหน่ง XI) กับพันธะระหว่าง N-O (ตำแหน่ง XII) ที่มีผลต่อการจับกันของโลหะโซเดียม โครงสร้างและพลังงานการจับกันที่เกิดขึ้นกับตำแหน่งดังกล่าวทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) สำหรับโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดของอันตรกิริยาดังกล่าวพบว่าโครงสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมด 2 โครงสร้าง แสดงดัง Figure 5

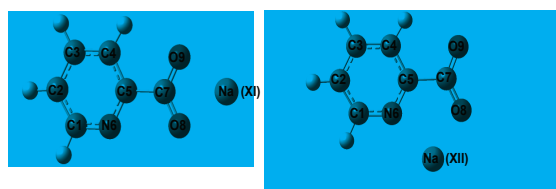


Figure 5 The interactions of picolinic acid-ionic form with sodium at positions XI and XII in the ratio of 1:1.

4. ขนาดอะตอมของโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโนและโซเดียมที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form

อะตอมของโลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียมที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่ง XI กับตำแหน่ง XII ในโครงสร้างของ picolinic acid-ionic form มีความแตกต่างกัน โดยขึ้นกับขนาดของอะตอม ซึ่งพบว่าขนาดอะตอมของโลหะโซเดียมจะมีขนาดอะตอมใหญ่กว่าอะตอมของโลหะคอปเปอร์ (II) นอกจากนี้ยัง

เปรียบเทียบระหว่างโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน โดยขนาดของอนุภาคนาโนอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร ดังนั้นในการศึกษาอิทธิพลของขนาดอะตอมที่มีต่อโครงสร้างและพลังงานการจับกันที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างและอันตรกิริยาดังกล่าว ทำการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p)

5. การศึกษาลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกรดพิโคลินิก โลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียม ด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-Vis spectrophotometry)

การทดลองศึกษาลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกรดพิโคลินิก โลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียม โดยเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.01 โมลาร์ แล้วนำไปตรวจด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมตรี บันทึกสเปกตรัมของสารตัวอย่างที่ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงที่ 200 - 800 นาโนเมตร

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ผลการศึกษาโครงสร้างของกรดพิโคลินิก

จาก Figure 2 และ Table 1 โครงสร้าง Picolinic acid Neutral-1, Neutral-2 และ Ionic form ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) พบว่าพันธะระหว่าง C-O, O-O และ N-O มีความยาวพันธะแตกต่างกัน ส่วนมุมระหว่างพันธะพบว่าโครงสร้างทั้งสามมีมุมระหว่างพันธะที่แตกต่างกันด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณาโครงสร้าง picolinic acid neutral-1 และ neutral-2 มีความยาวพันธะระหว่าง C7...O8 แตกต่างกันคือ 1.202 และ 1.341 Å ตามลำดับ และความยาวพันธะระหว่าง C7...O9 มีความแตกต่างกันคือ 1.364 และ 1.210 ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนที่ตำแหน่งพันธะระหว่าง C7...O9-H และตำแหน่งพันธะระหว่าง C7...O8-H ของโครงสร้าง picolinic acid neutral-1 และ neutral-2 ซึ่งพบว่ามีความยาวพันธะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 1.364 และ 1.341 Å ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองโครงสร้างนี้พบว่าความยาวพันธะระหว่าง C7...O8 และความยาวพันธะ C7...O9 ของโครงสร้าง picolinic acid neutral-1 และ neutral-2 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ 1.202 และ 1.210 Å ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีความยาวพันธะสั้นกว่า เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจน

Table 1 The bond length (Å) and bond angle (deg) of the picolinic acid neutral-1, neutral-2 and ionic form structures calculated at the B3LYP/6-31G (d,p) method.

Parameters	Picolinic acid structure		
	Neutral-1	Neutral-2	Ionic form
Bond length (Å)			
C7...O8	1.202	1.341	1.247
C7...O9	1.364	1.210	1.261
O8...O9	2.232	2.247	2.278
N6...O8	2.854	2.628	2.801
O9...H	0.968	-	-
O8...H	-	0.981	-
Bond angle (deg)			
O8...C7...O9	120.771	123.380	130.536

นอกจากนี้โครงสร้าง picolinic acid ionic form พบว่าความยาวพันธะระหว่าง C7...O8 และ C7...O9 มีความยาวพันธะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจนทำให้ความยาวทั้งสองพันธะใกล้เคียงกัน ขณะที่ความยาวพันธะระหว่าง O8...O9 มีความยาวพันธะมากกว่าทั้งสองโครงสร้างเนื่องจากไม่มีพันธะไฮโดรเจน ส่วนโครงสร้าง picolinic acid neutral-1 และ neutral-2 มีความยาวพันธะ O8...O9 แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากโครงสร้างทั้งสองมีพันธะไฮโดรเจนเหมือนกันแต่ตำแหน่งแตกต่างกัน ขณะที่ความยาวพันธะระหว่าง N6...O8 พบว่า โครงสร้าง Picolinic acid Neutral-1 มีความยาวพันธะมากที่สุด รองลงมาคือ Picolinic acid Ionic form และโครงสร้าง Picolinic acid Neutral-2 ความยาวพันธะน้อยที่สุดเนื่องจากที่พันธะไฮโดรเจนที่ตำแหน่ง O8-H ส่วนมุมระหว่างโครงสร้างทั้งสาม

พบว่า โครงสร้าง Picolinic acid Ionic form มีมุมระหว่างพันธะมากที่สุด โครงสร้าง Picolinic acid Neutral-1 และ Neutral-2 มีมุมระหว่างพันธะใกล้เคียงกัน

2. ผลการศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) อนุภาคคอปเปอร์นาโน (CuNPs) และโซเดียม

2.1 โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) แบบ 1 ต่อ 1 การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) ผลการศึกษาได้แสดงไว้ใน Table 2 และ Table 3 ซึ่งสอดคล้องกับ Figure 3 เมื่อพิจารณาโลหะคอปเปอร์ (II) ที่จับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ที่ตำแหน่ง XI

Table 2 The bond length (Å) bond angle (deg) and binding energy ($\Delta E_{\text{binding}}$, kcal/mol) of the picolinic acid-ionic-XI structure where X are copper (II) copper nanoparticles (CuNPs) and sodium obtained by B3LYP/6-31G (d,p) calculations.

Parameters	Picolinic acid-ionic-XI		
	Cu (II)	Na	CuNPs
Bond length (Å)			
XI...O8	1.850	2.181	1.850
XI...O9	1.862	2.187	1.862
XI...C7	2.224	2.465	2.224
C7-O8	1.298	1.264	1.298
C7-O9	1.299	1.277	1.299

Table 2 The bond length (Å) bond angle (deg) and binding energy ($\Delta E_{\text{binding}}$, kcal/mol) of the picolinic acid-ionic-XI structure where X are copper (II) copper nanoparticles (CuNPs) and sodium obtained by B3LYP/6-31G (d,p) calculations.

Parameters	Picolinic acid-ionic-XI		
	Cu (II)	Na	CuNPs
O8-O9	2.165	2.248	2.165
N6-O8	2.722	2.763	2.722
Bond angle (deg)			
O8...XI...O9	71.377	61.933	71.377
XI...O8-C7	88.082	87.124	88.082
XI...O9-C7	87.562	86.548	87.562
O8-C7-O9	112.979	124.395	112.979
Binding energy (kcal/mol)			
$\Delta E_{\text{binding}}$	-474.992	-155.501	-5828.028

พบว่ามีความยาวพันธะระหว่าง C7-O8 กับพันธะระหว่าง C7-O9 มีความยาวพันธะเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมอโนเมอร์ แต่ความยาวพันธะระหว่าง O8-O9 จะมีความยาวพันธะลดลงเนื่องจากตำแหน่งนี้มีการจับกับโลหะคอปเปอร์ (II) จึงทำให้พันธะมีความเสถียรและมีความแข็งแรงมากขึ้น สำหรับโลหะคอปเปอร์ (II) ที่จับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ตำแหน่ง XII พบว่าความยาวพันธะระหว่าง N6-O8 จะมีความยาวพันธะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมอโนเมอร์ picolinic acid-ionic form เนื่องจากมีโลหะเข้ามาจับตำแหน่งดังกล่าวทำให้พันธะมีความเสถียรและมีความแข็งแรงมากขึ้นเช่นกัน ส่วนมุมระหว่างพันธะ O8...XI...O9 กับ มุมระหว่างพันธะ N6...XII...O8 พบว่ามีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานการจับของโลหะคอปเปอร์ (II) ที่ตำแหน่ง XI กับตำแหน่ง XII มีค่าเท่ากับ -474.992 และ -493.838 kcal/mol ตามลำดับ สำหรับโครงสร้าง Picolinic acid-ionic-X II หรือโลหะคอปเปอร์ (II) ที่จับกันกับพันธะระหว่าง N-O (ตำแหน่ง XII) ในโครงสร้างของ picolinic acid-ionic form โดยโครงสร้างนี้จะให้พลังงานต่ำสุดแสดงว่าที่พันธะระหว่าง N-O หรือตำแหน่ง XII มีความจำเพาะและมีความเสถียรมากกว่าตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O หรือตำแหน่ง XI

2.2 โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับอนุภาคคอปเปอร์นาโน แบบ 1 ต่อ 1 การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง picolinic acid-ionic form กับอนุภาคคอปเปอร์นาโนผลการศึกษาพบว่าอนุภาคคอปเปอร์นาโนจับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ที่ตำแหน่ง XI พบว่ามีความยาวพันธะระหว่าง

C7-O8 กับ พันธะระหว่าง C7-O9 มีความยาวพันธะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมอโนเมอร์ แต่ความยาวพันธะระหว่าง O8-O9 จะมีความยาวพันธะลดลง แสดงดัง (Table 2 และ Table 3) ตามลำดับ เนื่องจากตำแหน่งนี้มีการจับกับอนุภาคคอปเปอร์นาโน จึงทำให้พันธะมีความเสถียรและมีความแข็งแรงมากขึ้น

สำหรับอนุภาคคอปเปอร์นาโนที่จับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ตำแหน่ง XII พบว่าความยาวพันธะระหว่าง N6-O8 จะมีความยาวพันธะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมอโนเมอร์ picolinic acid-ionic form เนื่องจากมีอนุภาคคอปเปอร์นาโนเข้ามาจับตำแหน่งดังกล่าวทำให้พันธะมีความเสถียรและมีความแข็งแรงมากขึ้นเช่นกัน ส่วนมุมระหว่างพันธะ O8...XI...O9 กับ มุมระหว่างพันธะ N6...XII...O8 พบว่ามีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานการจับของอนุภาคคอปเปอร์นาโนที่ตำแหน่ง XI กับตำแหน่ง XII มีค่าเท่ากับ -5828.028 และ -5850.242 kcal/mol ตามลำดับ สำหรับโครงสร้าง Picolinic acid-ionic-X II หรืออนุภาคคอปเปอร์นาโนที่จับกันกับพันธะระหว่าง N-O (ตำแหน่ง XII) ในโครงสร้างของ picolinic acid-ionic form โดยโครงสร้างนี้จะให้พลังงานต่ำสุดแสดงว่าที่พันธะระหว่าง N-O หรือตำแหน่ง XII มีความจำเพาะและมีความเสถียรมากกว่าตำแหน่งของพันธะระหว่าง O-O หรือตำแหน่ง XI

2.3 โครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะโซเดียม แบบ 1 ต่อ 1

การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง picolinic acid-ionic form กับโลหะโซเดียม ผลการศึกษาได้แสดงไว้ใน Table 2 และ Table 3 ซึ่งสอดคล้องกับ Figure 4

เมื่อพิจารณาโลหะโซเดียมที่จับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ที่ตำแหน่ง XI พบว่ามีความยาวพันธะระหว่าง C7-O8 กับ พันธะระหว่าง C7-O9 มีความยาวพันธะเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างมอนอเมอร์ และเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะคอปเปอร์ (II) พบว่ามีความยาวพันธะดังกล่าวนี้ต่ำกว่า แสดงว่าโซเดียมมีความจำเพาะกับตำแหน่งดังกล่าวนี้สำหรับโลหะ โซเดียมที่จับกับโมเลกุลของ picolinic acid-ionic form ตำแหน่ง XII พบว่าความยาวพันธะระหว่าง N6-O8 จะมีความยาวพันธะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากไม่มีความจำเพาะกับตำแหน่งดังกล่าว ส่วนมุมระหว่างพันธะ O8...XI...O9 กับ มุมระหว่างพันธะ N6...XII...O8 พบว่ามุมระหว่างพันธะมีความแตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานการจับของโลหะโซเดียมที่ตำแหน่ง XI กับตำแหน่ง XII มีค่าเท่ากับ -155.501 และ -154.491 kcal/mol ตามลำดับ สำหรับโครงสร้าง Picolinic acid-ionic-XI หรือโลหะ โซเดียมที่จับกับพันธะระหว่าง O-O (ตำแหน่ง XI) ในโครงสร้างของ picolinic acid-ionic form โดยโครงสร้างนี้จะให้พลังงานต่ำสุดแสดงว่าที่พันธะระหว่าง O-O หรือตำแหน่ง XI มีความจำเพาะและมีความเสถียรมากกว่าตำแหน่งของพันธะระหว่าง N-O หรือตำแหน่ง XII

2.4 ขนาดอะตอมของโลหะคอปเปอร์ (II)

อนุภาคคอปเปอร์นาโน และโลหะโซเดียมที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form

การศึกษาโครงสร้างและอันตรกิริยาระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) และ โซเดียมแบบ 1 ต่อ 1 โดยทำการศึกษาด้วยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) ผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 3 และรูปที่ 4 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาขนาดอะตอมของโลหะทั้งสองพบว่า ถ้าขนาดของอะตอมใหญ่ขึ้น ความยาวพันธะระหว่าง XI...O8 XI...O9 และ XI...C7 ของโครงสร้าง Picolinic acid-ionic-XI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น รวมทั้งความยาวพันธะระหว่าง XII...N6 และ XII...O8 ของโครงสร้าง Picolinic acid-ionic-XII มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าอะตอมที่มีขนาดเล็กจะมีผลต่อโครงสร้างของฟิสิกัลมากกว่าอะตอมที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้โครงสร้างของฟิสิกัลกับคอปเปอร์ (II) มีพลังงานต่ำกว่าโครงสร้างของฟิสิกัลกับโซเดียม แสดงว่าฟิสิกัลมีความจำเพาะหรือมีความสามารถในการจับกับคอปเปอร์ (II) มากกว่าโซเดียม โดยพบว่ามีความเสถียรมากกว่าประมาณ 3 เท่า

Table 3 The bond length (Å) bond angle (deg) and binding energy ($\Delta E_{\text{binding}}$, kcal/mol) of the picolinic acid-ionic-XII structure where X are copper (II) copper nanoparticles (CuNPs) and sodium obtained by B3LYP/6-31G (d,p) calculations.

Parameters	Picolinic acid-ionic-XII		
	Cu (II)	Na	CuNPs
Bond length (Å)			
XII...N6	1.878	2.326	1.851
XII...O8	1.776	2.078	1.856
N6-O8	2.646	2.818	2.846
C7-O8	1.344	1.277	1.300
C7-O9	1.203	1.234	1.223
O8-O9	2.246	2.261	2.260
Bond angle (deg)			
N6...XII...O8	92.728	79.333	100.298
XII...N6-O8	42.119	46.459	39.916
XII...O8-N6	45.153	54.208	39.786
XII...O8-C7	111.644	117.984	103.212
O8-C7-O9	123.687	128.389	127.195
Binding energy (kcal/mol)			
$\Delta E_{\text{binding}}$	-493.838	-154.491	-5850.242

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความจำเพาะระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) และอนุภาคคอปเปอร์นาโน พบว่าโครงสร้างของพิโคลินิกกับโลหะคอปเปอร์ (II) และอนุภาคคอปเปอร์นาโน สามารถจับกันได้ดี และมีความเสถียรภาพที่ตำแหน่ง N-O (ตำแหน่ง XII) มากกว่าตำแหน่ง O-O (ตำแหน่ง XI) มีพลังงานการจับกันของโครงสร้างพิโคลินิกกับอนุภาคคอปเปอร์นาโนมากกว่าโลหะคอปเปอร์ (II) และมีพลังงานเท่ากับ -5850.242 kcal/mol เนื่องจากขนาดของอนุภาคคอปเปอร์นาโนมีขนาดอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าโลหะคอปเปอร์ (II) ทำให้การเกิดอันตรกิริยากับพิโคลินิกได้ง่ายและมีความเสถียรภาพมากที่สุด

2.5 ผลการศึกษาลักษณะสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของกรดพิโคลินิก โลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียมด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี

จากการทดลองนำสารละลายตัวอย่างตรวจวิเคราะห์ลักษณะสเปกตรัมด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่ากรดพิโคลินิกมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 264 นาโนเมตร แสดงดัง Figure 6

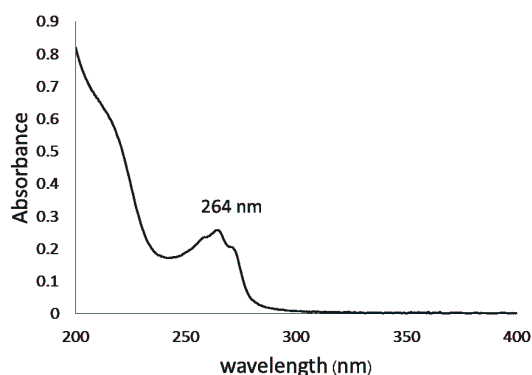


Figure 6 The absorption intensity of the picolinic acid at 264 nm.

ขณะที่ลักษณะสเปกตรัมของโลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียม เมื่อนำไปละลายแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวีวิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมตรี พบว่าสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นแตกต่างกัน ส่วนใหญ่สารละลายไม่มีสีจะมีการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet; UV) แสดงดัง Figure 7 และ Figure 8 ตามลำดับ

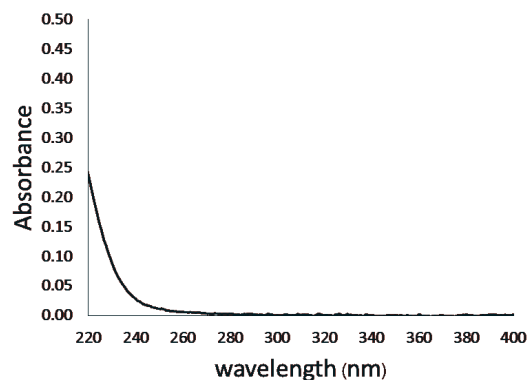


Figure 7 The absorbance spectra of copper (II).

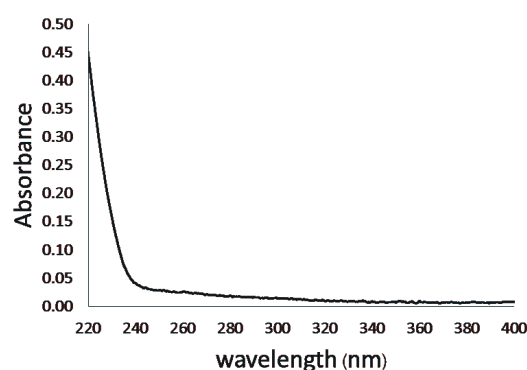


Figure 8 UV-Vis spectrum of sodium.

เมื่อกรดพิโคลินิกทำปฏิกิริยากับโลหะคอปเปอร์ (II) และโซเดียม โดยสร้างพันธะระหว่างไนโตรเจนอะตอมของวงอะโรมาติกกับโลหะไอออน พบว่าความเข้มของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 264 nm จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราส่วนของลิแกนด์ต่อโลหะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรภาพ

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาพลังงานและโครงสร้างการจับระหว่าง Picolinic acid-ionic form กับโลหะคอปเปอร์ (II) และ โซเดียมแบบ 1 ต่อ 1 โดยทำการศึกษาดัวยระเบียบวิธี B3LYP/6-31G (d,p) พบว่าความยาวระหว่างพันธะจะแปรผันตามขนาดอะตอมของโลหะ เมื่อพิจารณาพลังงานการจับระหว่างโครงสร้างของพิโคลินิกกับคอปเปอร์ (II) และโซเดียม ตำแหน่ง XI และตำแหน่ง XII พบว่าโลหะคอปเปอร์ (II) และ โซเดียม มีความจำเพาะกับโครงสร้างของพิโคลินิกที่ตำแหน่งแตกต่างกัน โดยคอปเปอร์ (II) จะมีความจำเพาะต่อตำแหน่ง XII ส่วนโซเดียม จะมีความจำเพาะต่อตำแหน่ง XI นอกจากนี้พลังงานการจับของพิโคลินิกกับคอปเปอร์ (II) และโซเดียม มีความแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของอะตอม สำหรับโครงสร้างระหว่าง

พิกลิโนิกกับคอปเปอร์ (II) และอนุภาคนาโน พบว่าตำแหน่ง XII มีความเสถียรมากกว่าตำแหน่ง XI ขณะที่โครงสร้างของพิกลิโนิกกับอนุภาคนาโนมีความจำเพาะและเสถียรมากกว่าโครงสร้างของพิกลิโนิกกับคอปเปอร์ (II) และมีพลังงานการจับกันเท่ากับ -5850.242 kcal/mol ซึ่งมีพลังงานที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะอื่น เนื่องจากขนาดของอนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กสามารถเกิดอันตรกิริยากับพิกลิโนิกได้โครงสร้างที่มีความเสถียรภาพ

ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างการจับกันของพิกลิโนิกกับโลหะ จึงเป็นองค์ประกอบจำเป็นที่จะต้องเลือกโลหะที่เหมาะสม และตำแหน่งระหว่างพันธะในการเกิดอันตรกิริยาภายในโครงสร้าง รวมทั้งขนาดที่แตกต่างกันสามารถเข้าไปจับกับพิกลิโนิกได้ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาคีวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้สนับสนุนสถานที่และเครื่องมือในงานวิจัย ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

เอกสารอ้างอิง

1. Tuyun AF. and Uslu H. Extraction equilibria of picolinic acid from aqueous solution by tridodecylamine (TDA). *Desalination* 2011; 268: 134-140.
2. Tomioka H, Shimizu T, Tatano Y. Effects of picolinic acid on the antimicrobial functions of host macrophages against *Mycobacterium avium* complex. *Int J Antimicrob Agents* 2007; 29:460-464.
3. Cai S, Sato K, Shimizu T, Yamabe S, Hiraki M, Sano C, Tomioka H. Antimicrobial activity of picolinic acid against extracellular and intracellular *Mycobacterium avium* complex and its combined activity with clarithromycin, rifampicin and fluoroquinolones. *J Antimicrob Chemother* 2006; 57:85-93.
4. Martínez DP, Araujo ML, Brito F, Pérez A, Hernández L, Lubes V. Mixed-ligand complex formation equilibria of nickel(II) with picolinic acid and some amino acids (glycine, α -alanine, β -alanine, and proline) studied in 1.0 mol·dm⁻³ NaCl at 25 °C. *J Mol Liq* 2016; 220: 681-686.
5. Campos RC, Grinberg P, Takase I, Luna AS. Minimization of Cu and Ni interferences in the determination of Sb by hydride generation atomic absorption spectrometry: the use of picolinic acid as masking agent and the influence of L-cysteine. *Spectrochimica Acta Part B* 2002; 57:463-472.
6. Grant RS, Coggan SE, Smythe GA. The Physiological action of picolinic acid in the human brain. *Tryp Res* 2009; 2:71-79.
7. Koczon P, Dobrowolski JCz, Lewandowski W, Mazurek AP. Experimental and theoretical IR and Raman spectra of picolinic, nicotinic and isonicotinic acids. *J Mol Struct* 2003; 655:89-95.
8. Cioczek-Czuczwar A, Czuczwar P, Turski WA., Parada-Turska J. Influence of picolinic acid on seizure susceptibility in mice. *Pharmacol Rep* 2017; 69:77-80.
9. Wang LF, Habibul N, He DQ, Li WW, Zhang X, Jiang H, Yu HQ. Copper release from copper nanoparticles in the presence of natural organic matter. *water research* 2015; 68: 12-23.
10. Robert J, Griffit T, Roxana W, Kelly AH, Nancy DD, Kevin P, David T, David SB. Exposure to copper nanoparticles causes gill injury and acute lethality in zebrafish (*Daniorerio*). *Environ Sci Technol* 2007; 41: 8178-8186.
11. Aggett PJ, Fenwick PK, Kirk H. An in vitro of the effect of picolinic acid on metal translocation across lipid bilayers. *J Nutr* 1989; 119:1432-1437.
12. Seal CJ. and Heaton FW. Effect of dietary picolinic acid on the metabolism of exogenous and endogenous zinc in the rat. *J Nutr* 1985; 115:986-993.
13. Seliger J, Zagar V, Zidansek A, Blinc R. ¹⁴N nuclear quadrupole resonance of picolinic, nicotinic, isonicotinic and dinicotinic acids. *Chem Phys* 2006; 331:131-136.
14. Broadhurst CL. and Domenico P. Clinical studies on chromium picolinate supplementation in diabetes mellitus a review. *Diabetes Technol Ther.* 2006; 8:677-87.
15. Waghmare MD, Wasewar KL, Sonawane SS, Shende DZ. Reactive extraction of picolinic and nicotinic acid by natural non-toxic solvent. *Separ Purif Tech* 2013; 120:296-303.

เยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์สำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

Nanocomposites Polyvinylidene Fluoride Membrane for Direct Methanol Fuel Cells

มรกต พุทธกาล,¹ วิษณุ เจริญถนอม²

Moragote Buddhakala¹, Wissanu Charerntanom²

Received: 5 January 2018; Accepted: 8 March 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการเตรียมเยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ด้วยเทคนิคการหล่อแบบ ที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการแปรความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 0 - 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นแปรความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตที่ 4 - 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วนำเยื่อที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบลักษณะเชิงพื้นผิว สมบัติการเปียก สมบัติการดูดซับของเหลว สมบัติทางไฟฟ้าและโครงสร้างทางเคมี พบว่าเยื่อที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจะมีพื้นผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กกระจายอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ยังแปรผกผันกับค่ามุมสัมผัสและแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวด้วย ในส่วนของเยื่อที่ดัดแปรด้วยการเติมพอลิสไตรีนซัลโฟเนต พบว่าการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตจะแปรผกผันกับค่ามุมสัมผัสและแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลว นอกจากนี้ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตยังแปรผันตรงกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน ผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ของเยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ที่ถูกดัดแปร พบว่ามีพีคของหมู่ซัลโฟนิคเกิดขึ้นจริง ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตที่เหมาะสมในการสังเคราะห์เยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ด้วยเทคนิคการหล่อแบบคือ 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เยื่อหุ้มคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์สามารถประกอบกับชุดทดลองเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงและผลิตกระแสไฟฟ้าได้

คำสำคัญ : พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ เยื่อประกอบขั้วไฟฟ้า เซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

Abstract

The polyvinylidene fluoride nanocomposite membranes were prepared by casting technique at the concentration of 10 percent polyvinyl fluoride by weight. The concentration of nanosilicon dioxide was varied from 0 to 2 percent by weight following by varying the concentration of polystyrene sulfonate from 4 to 14 percent by weight. The synthesized membranes were tested for their surface characteristics, wetting properties, liquid adsorption properties, electrical properties and chemical structure. It was found that the membrane at a concentration of 2 percent nano-silicon dioxide by weight had a porous surface with small dispersion. In addition, the contact angle and the absorption percentage of liquid of the membranes were inversely and directly proportional to the concentration of nano-silicon

¹ อาจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

² อาจารย์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Lecturer in Physics Division, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

² Lecturer in Materials Engineering Division, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchisima, 30000

* Correspondence to: Moragote Buddhakala, Physics Division, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Pathumthani, 12110, Thailand, E-mail: morak555@rmutt.ac.th

dioxide, respectively. For the modified membrane with the addition of polystyrene sulfonate, it was found that the contact angle of the membranes was inversely proportional to the concentration of polystyrene sulfonate whereas the absorption percentage of liquid and the ion exchange capacity of the membrane were directly proportional to the concentration of polystyrene sulfonate. The actual sulfuric peaks were observed from the chemical structure analysis of the polyvinylidene nanocomposite membrane by the FT-IR. The suitable concentration of the polystyrene sulfonate for the synthesis of polyvinylpyrrolidone fluoride nanocomposite sheets by casting technique was at 14 percent by weight. The obtained polyvinyl fluoride nanocomposite sheets can be assembled directly to the Mezzanine Fuel Cells and generate electricity.

Keywords: Poly (vinylidene fluoride), membrane electrode assembly, direct methanol fuel cell

บทนำ

ในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาแหล่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากการบวนการทางความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ หรือถ่านหิน เป็นต้น แต่ความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ประกอบกับเชื้อเพลิงฟอสซิลยังเป็นเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน และกระบวนการผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย จากเหตุดังกล่าว จึงได้มีการค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงาน เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งในปัจจุบันมีทางเลือกที่หลากหลาย เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานจากน้ำ และพลังงานเซลล์เชื้อเพลิง เป็นต้น

เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell) ถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง มีความหนาแน่นพลังงานมาก การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงจะไม่เสี่ยงดังระบบอื่นเนื่องจากไม่มีส่วนใดเคลื่อนที่ ลดปัญหาเนื่องจากแรงเสียดทานจึงไม่ต้องมีการซ่อมบำรุง ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม^{1, 2} ทำให้มีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมคือ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนหรือเซลล์เชื้อเพลิงฟอสโพรน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell; PEMFC) เนื่องจากให้กำลังไฟฟ้าสูงและทำงานได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 50°C – 80°C³ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป โทรศัพท์มือถือ และยานพาหนะ เป็นต้น อย่างไรก็ตามจากการศึกษาเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา พบว่าเชื้อเพลิงที่สำคัญที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงประเภทเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (PEM) คือ ไฮโดรเจนยังคงมีข้อเสีย

ประการคือ มีราคาแพง การขนส่งและเคลื่อนย้ายไม่สะดวก ต้องอาศัยระบบการเก็บรักษาที่ดีเพื่อความปลอดภัยเนื่องจากไฮโดรเจนเป็นแก๊สที่สามารถระเบิดได้ง่าย และมีความยุ่งยากซับซ้อนในการติดตั้งระบบเพื่อนำมาใช้งาน ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกจึงได้ให้ความสนใจและมีความพยายามในการพัฒนาการเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เชื้อเพลิงจากสารไฮโดรคาร์บอนประเภทอื่นๆ แทน ซึ่งในปัจจุบันพบว่าเมทานอลมีประสิทธิภาพอยู่ในขั้นนำมาใช้งานได้ ทั้งในทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือสามารถนำเมทานอลไปแปรรูป (reforming) ให้เป็นเชื้อเพลิงไฮโดรเจนก่อนป้อนเข้าสู่เซลล์เชื้อเพลิงแบบปกติ นอกจากนั้นยังสามารถนำเมทานอลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง ดังนั้นจึงเรียกเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ว่า direct methanol fuel cell (DMFC) หรือเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง¹⁻²⁰

DMFC มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ มีขั้วลบหรือแอโนดและขั้วบวกหรือแคโทด โดยมีเยื่อพอลิเมอร์กั้นอยู่ตรงกลาง โดยเชื้อเพลิงเมทานอลจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนดขึ้นทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โปรตอนและอิเล็กตรอน ซึ่งโปรตอนจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อพอลิเมอร์ที่ทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรไลต์ข้ามไปยังฝั่งแคโทดเพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์กับออกซิเจนในขณะที่อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไหลผ่านวงจรทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

ในงานวิจัยนี้จึงทำการดัดแปรพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์เพื่อปรับสภาพให้สามารถนำโปรตอนได้ และนำเยื่อที่สังเคราะห์ขึ้นเองนี้ไปประกอบเป็นแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนตรงกลาง (Membrane Electrode Assembly; MEA) เพื่อใช้สำหรับเซลล์เชื้อเพลิง DMFC เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง DMFC อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนในการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงขึ้นใช้เองภายในประเทศและเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงในประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1. สังเคราะห์แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์จากการตัดแปรพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์
2. ประกอบเมมเบรนและขั้วไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงเพื่อทดสอบการผลิตกระแสไฟฟ้า

วิธีการทดลอง

ดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. กระบวนการสังเคราะห์เยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene Fluoride; PVdF) โดยศึกษาผลของปริมาณอนุภาคนาโน SiO_2

งานวิจัยนี้ใช้สารละลาย PVdF เข้มข้น 10 %wt. ที่อัตราส่วนของตัวทำละลาย Dimethylacetamide (DMAc) ต่อ Acetone เป็น 4 : 6 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าถ้าอัตราส่วนของ DMAc มากกว่า Acetone จะเติมอนุภาคนาโน SiO_2 ได้ปริมาณน้อยและสารละลายจะมีความหนืดมาก ดังนั้นที่อัตราส่วนของตัวทำละลาย 4 : 6 จึงมีความเหมาะสมในการเตรียมแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต ในโครงการนี้จึงเลือกใช้เงื่อนไขดังกล่าวมาเป็นข้อมูลเบื้องต้น โดยจะทดลองแปรค่าความเข้มข้นของ SiO_2 จาก 0 ถึง 5 %wt. โดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 เตรียมสารละลาย PVdF เข้มข้น 10 % wt.

ในตัวทำละลายผสม DMAc กับ Acetone ปริมาณ 10 g ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 แตกต่างกันดัง Table 1

Table 1 Chemicals used for nanocomposited PVDF membrane fabrication

no.	Quantity (g)			
	PVdF	DMAc	Acetone	SiO_2
1	1	3.6	5.4	0
2	1	3.6	5.4	0.05
3	1	3.6	5.4	0.10
4	1	3.6	5.4	0.15
5	1	3.6	5.4	0.20

1.2 กวนสารละลายโดยเครื่องกวนสารละลายด้วยแรงแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 40 °C ด้วยความเร็ว 350 รอบ/นาที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อสารละลายเข้ากันดีแล้วทำการกวนสารละลายอีกครั้งที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็ว 125 รอบ/นาที่เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายลดลงและไม่ให้เกิดฟองอากาศในสารละลาย

1.3 สังเคราะห์แผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF โดยการใช้กระจกสร้างแบบให้มีขนาด 6 x 6 cm² จากนั้น

เทสารละลาย PVdF ลงแบบที่สร้างไว้ใช้กระจกสไลด์ปาดเพื่อให้พื้นผิวของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีความหนาเท่ากันปล่อยให้เยื่อคงสภาพเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

2. กระบวนการสังเคราะห์เยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF โดยศึกษาผลของปริมาณพอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Poly-styrene Sulfonate; PSS)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาผลของปริมาณ PSS ต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่สังเคราะห์ได้ดังนั้นจึงกำหนดค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 ที่ 5 % wt. และทำการแปรค่าความเข้มข้นของ PSS จาก 5 ถึง 25 %wt. และจากการทดลองในเบื้องต้นพบว่ากระบวนการสังเคราะห์แผ่นเยื่อตามขั้นตอนในข้อ 1.3 คือการปล่อยให้แผ่นเยื่อคงสภาพเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงนั้น พบว่าแผ่นเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะบิดงอและเปราะส่งผลให้ฉีกขาดหักง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในการสังเคราะห์เล็กน้อยเพื่อให้แผ่นเยื่อมีลักษณะเรียบและแข็งแรงมากขึ้น โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 เตรียมสารละลาย PVdF เข้มข้น 10 %wt.

ในตัวทำละลายผสม DMAc กับ Acetone ปริมาณ 30 g ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 5 %wt. ความเข้มข้นของ PSS แตกต่างกันดัง Table 2

Table 2 PSS content for nanocomposited PVDF membrane fabrication at different PSS concentration (%wt)

no.	PSS concentration (%wt.)	Quantity (g)				
		PVdF	DMAc	Acetone	SiO_2	PSS
1	4	3	10.8	16.2	0.6	1.2
2	6	3	10.8	16.2	0.6	1.8
3	8	3	10.8	16.2	0.6	2.4
4	10	3	10.8	16.2	0.6	3.0
5	12	3	10.8	16.2	0.6	3.6
6	14	3	10.8	16.2	0.6	4.2

2.2 กวนสารละลายโดยเครื่องกวนสารละลายด้วยแรงแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 40 °C ด้วยความเร็ว 1200 รอบ/นาที่เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อสารละลายเข้ากันดีแล้วทำการกวนสารละลายอีกครั้งที่อุณหภูมิห้อง ด้วยความเร็ว 350 รอบ/นาที่เป็นเวลา 30 นาที

เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้อุณหภูมิของสารละลายลดลงและไม่ให้เกิดฟองอากาศในสารละลาย

2.3 สังเคราะห์แผ่นเยื่อนาโนคอมโพสิต PVdF โดยการใช้กระจกสร้างแบบให้มีขนาด $6 \times 6 \text{ cm}^2$ จากนั้นเทสารละลาย PVdF ลงแบบที่สร้างไว้ใช้กระจกสไลด์ปาดเพื่อให้พื้นผิวของแผ่นเยื่อคอมโพสิต PVdF มีความหนาเท่ากันปล่อยให้แผ่นเยื่อคงสภาพเป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นนำไปแช่น้ำกลั่นทำการแช่เป็นเวลา 5 นาทีแล้วลอกแผ่นเยื่อออกจากแบบ ชั้บแผ่นเยื่อด้วยกระดาษทิชชูไว้ชื้นและปล่อยให้แผ่นเยื่อแห้งที่อุณหภูมิห้อง

3. การศึกษาสมบัติในการดูดซับของเหลว

3.1 เตรียมชิ้นงานโดยทำการตัดเยื่อให้มีขนาดประมาณ $2 \times 2 \text{ cm}^2$ จำนวนตัวอย่างละ 3 แผ่น

3.2 นำชิ้นงานจากข้อ 1. ไปชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 4 ตำแหน่ง โดยกำหนดให้เป็นมวลแห้ง ($m_{\text{แห้ง}}$) แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

3.3 นำชิ้นงานจากข้อ 2. มาชั้บน้ำออกด้วยกระดาษทิชชูไว้ชื้นแล้ว นำแผ่นเยื่อไปชั่งมวลด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลอีกครั้งกำหนดให้เป็นมวลเปียก ($m_{\text{เปียก}}$)

3.4 นำค่ามวลทั้ง 2 ที่ได้มาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวตามสมการ (1)

$$\% \text{ Water Uptake} = \left| \frac{m_{\text{เปียก}} - m_{\text{แห้ง}}}{m_{\text{แห้ง}}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $m_{\text{แห้ง}}$ คือ มวลของแผ่นเยื่อก่อนแช่น้ำ (g)

$m_{\text{เปียก}}$ คือ มวลของแผ่นเยื่อหลังแช่น้ำ (g)

4. การศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้าด้วยการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange capacity; IEC)

4.1 ตัดแผ่นเยื่อให้มี มวลประมาณ 0.2 g นำไปแช่ในกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 95 – 97 % ปริมาตร 10 ml เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.2 นำชิ้นงานจากข้อ 1 มาล้างด้วยน้ำกลั่นและชั้บด้วยกระดาษทิชชูที่สะอาด จากนั้นนำชิ้นงานไปแช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น 0.1 mol/l ปริมาตร 50ml เป็นเวลา

24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างโซเดียมกับโปรตอน

4.3 นำสารละลายที่ได้ไปทำการไทเทรตกับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 mol/l โดยใช้ฟีนอล์ฟธาเลอินเป็นอินดิเคเตอร์

4.4 คำนวณค่า IEC โดยใช้สมการที่ (2) ดังนี้

$$\text{IEC} = \frac{M_{(\text{NaOH})}}{W_{(\text{dry})}} \quad (2)$$

เมื่อ IEC คือ ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (mol/l)

$M_{(\text{NaOH})}$ คือ ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการไทเทรต (mol)

$W_{(\text{dry})}$ คือ มวลของแผ่นเยื่อขณะแห้ง (g)

5. ประกอบเมมเบรนและขั้วไฟฟ้าสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

5.1 นำแผ่นเยื่อเมมเบรนประกอบกับขั้วทดลองเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

5.2 วัดประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

6. การวิเคราะห์

วิเคราะห์ลักษณะกายภาพของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM JOEL รุ่น JSM – 5410 LV) วัดมุมสัมผัสด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัสจากบริษัท Kyowa Interface Science รุ่น DM– CE2

ผลการทดลอง

1. ผลของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสมบัติของเยื่อนาโนคอมโพสิต PVdF

การตรวจสอบลักษณะเชิงพื้นผิวของเยื่อนาโนคอมโพสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสภาพพื้นผิวของแผ่นเยื่อคอมโพสิต PVdF ซึ่งผลที่ได้แสดงดัง Figure 1

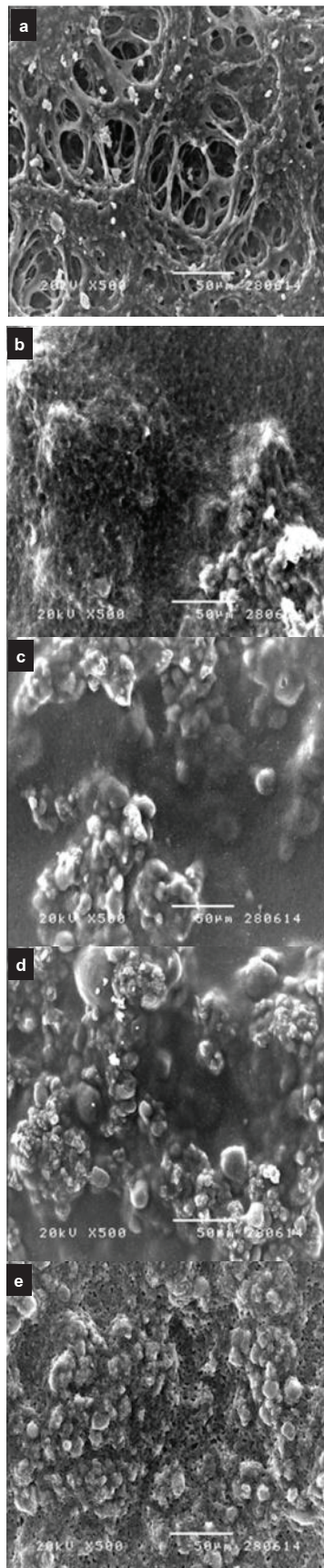
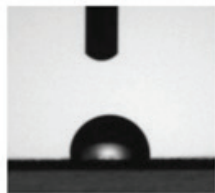
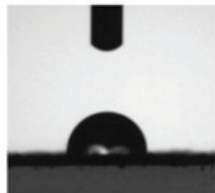
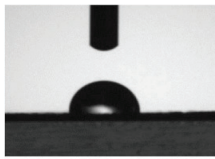
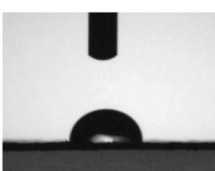


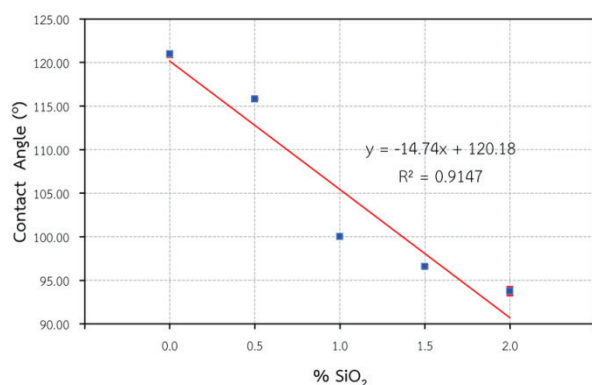
Figure 1 SEM image of nanocomposited PVDF membrane at a) 0% b) 0.5% c) 1.0% d) 1.5% and e) 2% of SiO_2

จากผลการตรวจสอบลักษณะเชิงพื้นผิวของเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่ทำการแปรค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 แสดงดัง Figure 1 พบว่าที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 0 % พื้นผิวของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นโพรงพรุนที่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ ดัง Figure 1 (a) ซึ่งโพรงพรุนที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลมาจากการระเหยอย่างรวดเร็วของตัวทำละลายทำให้เนื้อสารเกิดการเปลี่ยนสถานะอย่างรวดเร็ว ที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 ระหว่าง 0.5 % ถึง 1.5 % พบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นเยื่อมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นและยังสังเกตเห็นอนุภาคนาโนของ SiO_2 ที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนปรากฏบนเนื้อของแผ่นเยื่อ ดัง Figure 1 (b) ถึง Figure 1 (d) อันเนื่องจากอนุภาคนาโนของ SiO_2 มีการดูดซับตัวทำละลายเอาไว้ส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยช้าลง แผ่นเยื่อจึงมีระยะเวลาในการจัดเรียงตัวที่ดีขึ้นทำให้พื้นผิวมีความเป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าแผ่นเยื่อที่ไม่เติมอนุภาคนาโนของ SiO_2 และที่ความเข้มข้นของอนุภาคนาโน SiO_2 2 % พบว่าลักษณะพื้นผิวของแผ่นเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากและยังคงสังเกตเห็นกลุ่มก้อนขนาดต่าง ๆ ของอนุภาคนาโน SiO_2 ดัง Figure 1 (e) รูพรุนขนาดเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวของแผ่นเยื่อเกิดจากการกระจายตัวกลุ่มก้อนของอนุภาคนาโน SiO_2 แล้วเกิดเป็นรูพรุนเล็ก ๆ ที่ผิวหน้าของแผ่นเยื่อขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Xingtao Zuo²⁰

ผลการตรวจสอบสมบัติการเปียกด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส สมบัติการเปียกเป็นสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของแผ่นเยื่ออิเล็กทรอนิกส์ ในที่นี้ใช้เทคนิคการวัดมุมสัมผัสของเหลวเพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสมบัติการเปียกของเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่สังเคราะห์ได้

Table 3. Hydrophobicity of nanocomposited PVDF membrane fabrication at different SiO₂ concentration

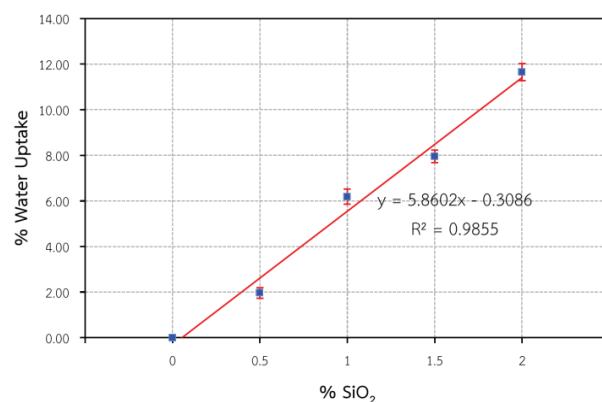
% SiO ₂		Contact angle (°)
0%		121.00 ± 0.33
0.5%		115.82 ± 0.11
1.0%		100.02 ± 0.13
% SiO ₂	รูปมุมสัมผัส	ค่ามุมสัมผัส (°)
1.5%		96.60 ± 0.16
2.0%		93.76 ± 0.47

**Figure 2** Linear relationship between SiO₂ concentration and contact angle of nanocomposited PVDF membrane

จาก Figure 2 พบว่าค่ามุมสัมผัสของเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีค่าระหว่าง 93.76° ถึง 121.00° ที่ความเข้มข้นของ SiO₂ ตั้งแต่ 0 ถึง 2.0 % โดยค่าความเข้มข้นของ SiO₂ จะแปรผกผันกับค่ามุมสัมผัส เมื่อความเข้มข้นของ SiO₂ เพิ่มขึ้นค่ามุมสัมผัสจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอนุภาคนาโนของ SiO₂ มีสมบัติ hydrophilic จึงส่งผลให้มุมสัมผัสมีค่าลดลง แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ SiO₂ ทำให้เยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีสมบัติการเปียกที่ดีขึ้นหรือมีความชอบน้ำมากขึ้นเพราะเห็นได้จากมุมสัมผัสมีค่าลดลง

ผลการตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลว

สมบัติการดูดซับของเหลวนับเป็นอีกสมบัติหนึ่งที่มีผลต่อการทำงานของแผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ เนื่องจากแผ่นเยื่อที่มีสมบัติในการดูดซับของเหลวที่ดีจะส่งผลให้เกิดกลไกในการนำโปรตอนได้ทั้ง 2 แบบทำให้แผ่นเยื่อสามารถนำโปรตอนได้มากขึ้น ดังนั้นจึงมีการตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลวของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่สังเคราะห์ได้เพื่อศึกษาผลของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ต่อสมบัติในการดูดซับของเหลวของแผ่นเยื่อ

**Figure 3** Linear relationship between SiO₂ concentration and liquid absorpti on percentage of nanocomposited PVDF membrane

จากผลการตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลวของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าแผ่นเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวระหว่าง 0 ถึง 11.65 % ที่ความเข้มข้นของ SiO₂ ตั้งแต่ 0 ถึง 2.0 % โดยค่าความเข้มข้นของ SiO₂ จะแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลว เมื่อความเข้มข้นของ SiO₂ เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบสมบัติการเปียก เนื่องจากอนุภาคนาโนของ SiO₂ นั้นมีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic char-

acterization) จึงส่งผลให้แผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ที่สังเคราะห์ได้นั้นสามารถดูดซับของเหลวได้มากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Xingtao Zuo²⁰

2. ผลของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตต่อสมบัติของเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF

จากการศึกษา พบว่าการเพิ่มหมู่ซัลโฟนิคในแผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์จะส่งผลให้แผ่นเยื่อมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงขึ้น¹⁶ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกนำพอลิสไตรีนซัลโฟเนตมาทำการดัดแปรโครงสร้างของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF เพื่อให้เกิดหมู่ซัลโฟนิคในแผ่นเยื่อ จากนั้น

นำแผ่นเยื่อที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจสอบลักษณะเชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตรวจสอบสมบัติการเปียกด้วยเครื่องวัดมุมสัมผัส ตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลว ตรวจสอบสมบัติเชิงไฟฟ้าด้วยการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนและตรวจสอบลักษณะโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เพื่อศึกษาว่าพอลิสไตรีนซัลโฟเนตมีผลต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ผลการตรวจสอบลักษณะเชิงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงใน Figure 4

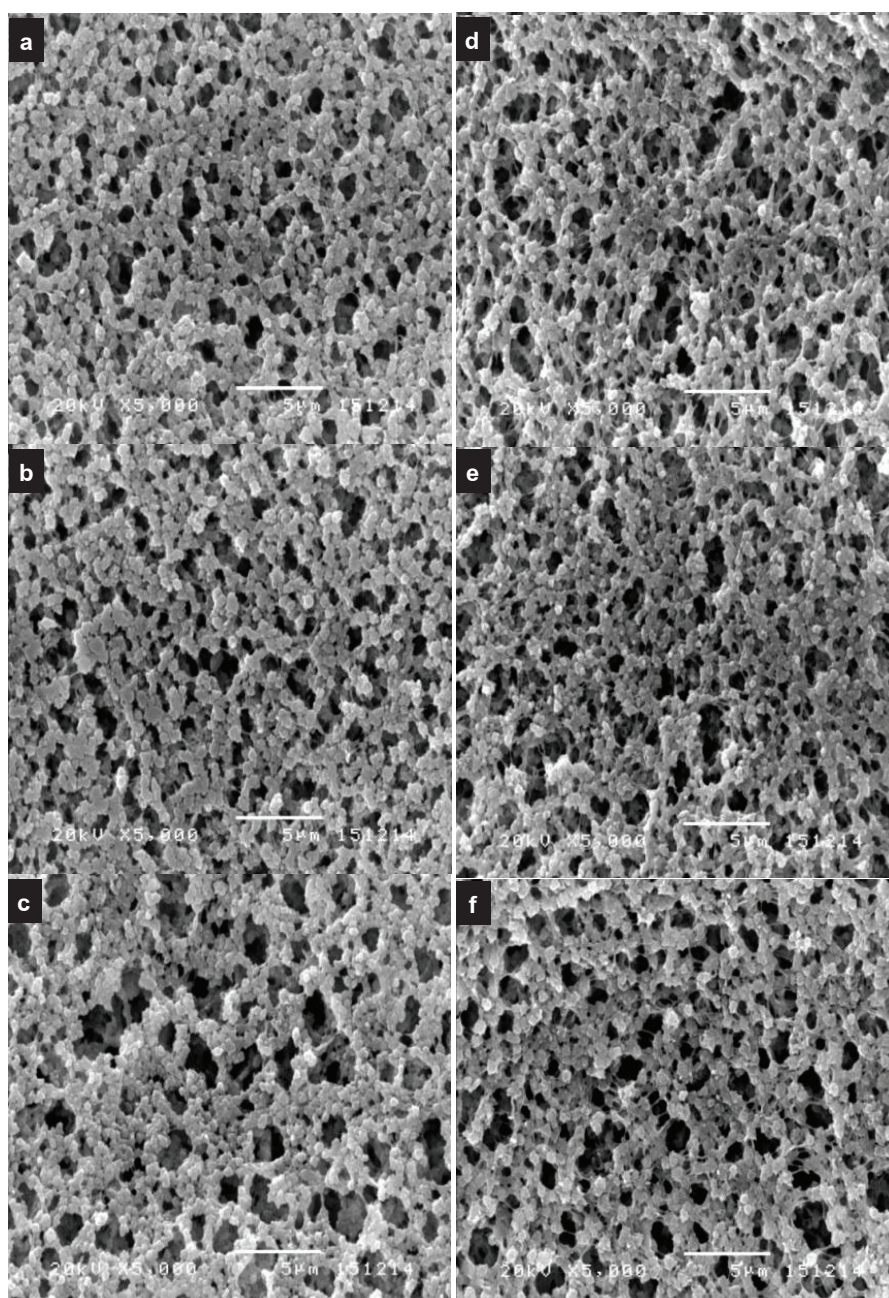


Figure 4 SEM image of nanocomposited PVDF membrane at a) 4% b) 6% c) 8% d) 10% e) 12% and f) 14% of PSS

จากผลการตรวจสอบลักษณะเชิงพื้นผิวของเยื่อ นาโนคอมพอสิต PVdF ที่ทำการแปรค่าความเข้มข้นของ PSS แสดงดัง Figure 4 ที่ความเข้มข้นของ PSS ระหว่าง 4 ถึง 14 % พบว่าพื้นผิวของเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน คือมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากซึ่งสอดคล้องกับ Figure 1 รูพรุนขนาดเล็ก ๆ ที่ปรากฏบนพื้นผิวของแผ่นเยื่อ เกิดจากการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของ PSS กับอนุภาคนาโน SiO_2 แล้วเกิดเป็นรูพรุนที่ผิวหน้าของเยื่อ

3. ผลการตรวจสอบสมบัติการเปียกด้วยเครื่องวัด มุมสัมผัสจะเห็นได้จากผลที่แสดงใน Table 4 และกราฟใน Figure 5

จาก Table 4 และ Figure 5 พบว่าค่ามุมสัมผัส ของเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีค่าระหว่าง 118.86° ถึง 136.96° ที่ความเข้มข้นของ PSS ตั้งแต่ 4 ถึง 14 % โดยค่าความเข้มข้นของ PSS จะแปรผกผันกับค่ามุมสัมผัส เมื่อความเข้มข้นของ PSS เพิ่มขึ้นค่ามุมสัมผัสจะลดลงอย่าง มีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ PSS จะส่งผลให้แผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีสมบัติการ เปียกที่ดีขึ้นหรือมีความชอบน้ำมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการ ทดลองของ Piyush Kumar เนื่องมาจากการเติม PSS เพื่อให้เกิดหมู่ซัลโฟนิกในเยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF ส่งผลให้บริเวณ พื้นผิวของแผ่นเยื่อมีหมู่ SO_3H ซึ่งสามารถดึงดูดกับโปรตอน ในโมเลกุลของน้ำได้ดี ทำให้เยื่อนาโนคอมพอสิต PVdF มีค่า มุมสัมผัสของเหลวที่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของ PSS

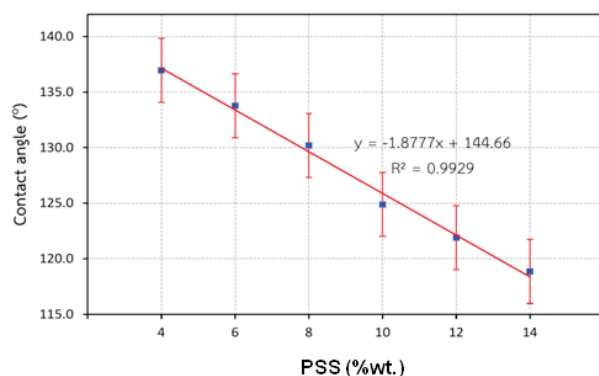


Figure 5 Linear relationship between PSS concentration and contact angle of nanocomposited PVDF membrane

Table 4 Hydrophobicity of nanocomposited PVDF membrane fabrication at different PSS concentration measured by contact angle tensiometry

% PSS		Contact angle ($^\circ$)
4%		136.96 ± 1.06
6%		133.78 ± 0.63
8%		130.18 ± 0.90
10%		124.88 ± 0.65
12%		121.90 ± 0.59
14%		118.86 ± 1.12

4. ผลการตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลว

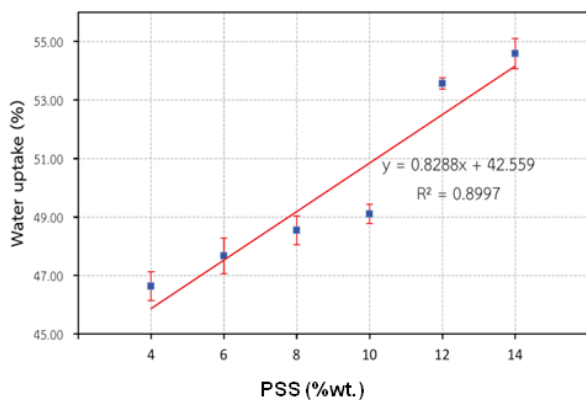


Figure 6. Linear relationship between PSS concentration and liquid absorption percentage of nanocomposited PVDF membrane

จากผลการตรวจสอบสมบัติในการดูดซับของเหลวของแผ่นเยื่อโพลีไวนิลฟลูออไรด์ PVdF แสดงดัง Figure 6 พบว่าแผ่นเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวระหว่าง 46.64 ถึง 54.59 % ที่ความเข้มข้นของ PSS ตั้งแต่ 4 ถึง 14 % โดยค่าความเข้มข้นของ PSS จะแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลว เมื่อความเข้มข้นของ PSS เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลวจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจสอบสมบัติการเปื่อยยุ่ยแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ PSS จะส่งผลให้เยื่อโพลีไวนิลฟลูออไรด์ PVdF ที่สังเคราะห์ได้นั้นสามารถดูดซับของเหลวได้มากขึ้นซึ่งผลการตรวจสอบนี้ยังสอดคล้องกับผลการทดลองของ Piyush Kumar¹⁹ ด้วย

5. ผลการตรวจสอบสมบัติเชิงไฟฟ้าด้วยการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

สมบัติในการนำโปรตอนนับเป็นสมบัติที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของแผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ที่ดีจำเป็นต้องมีสมบัติในการนำโปรตอนสูง ในที่นี้จะใช้เทคนิคการหาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange capacity; IEC) ของเยื่อซึ่งเป็นวิธีการหาค่าการนำโปรตอนแบบทางอ้อมเพื่อศึกษาผลของพอลิซัลโฟเนตต่อความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของแผ่นเยื่อโพลีไวนิลฟลูออไรด์ PVdF

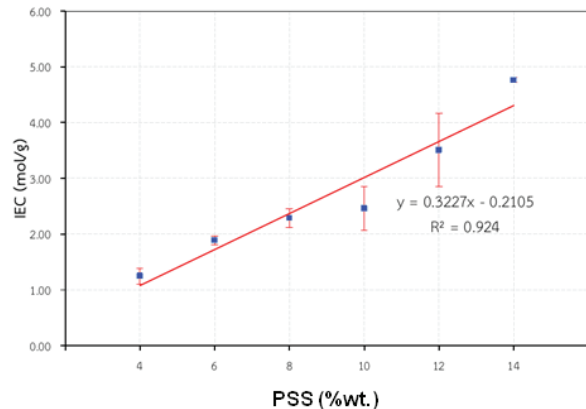


Figure 7 Linear relationship between PSS concentration and ion exchange capacity of nanocomposited PVDF membrane

จากผลการตรวจสอบสมบัติเชิงไฟฟ้าด้วยการวัดค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อโพลีไวนิลฟลูออไรด์ PVdF แสดงดัง Figure 7 พบว่าเยื่อที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่าง 1.25 ถึง 4.76 mol/g ที่ความเข้มข้นของ PSS ตั้งแต่ 4 ถึง 14 % โดยค่าความเข้มข้นของ PSS จะแปรผันตรงกับค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน เมื่อความเข้มข้นของ PSS เพิ่มขึ้นค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Piyush Kumar เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของ PSS มีหมู่ซัลโฟนิกซึ่งในที่นี้จะช่วยในการดึงดูด Na^+ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของ PSS จึงส่งผลให้เยื่อโพลีไวนิลฟลูออไรด์ PVdF ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนมากขึ้น

6. ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค

FTIR

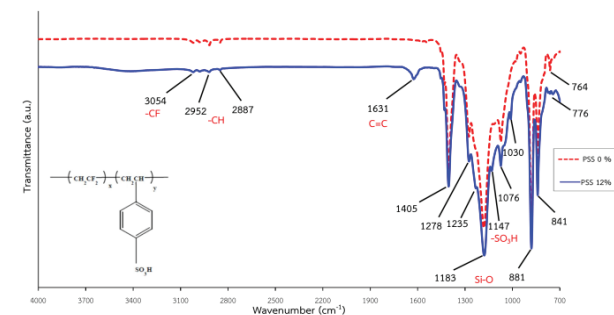


Figure 8. FTIR spectrum of Nanocomposited PVDF membrane at 0% and 12% by weight of PSS

ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิค FTIR ของเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ที่ถูกดัดแปรแสดงดัง Figure 8 พบว่า มีพีกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ CF ที่ตำแหน่ง 3054 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างของ PVdF พบพีกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ Si-O ที่ตำแหน่ง 881 และ 841 cm^{-1} แสดงถึงโครงสร้างของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ พบพีกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ $-\text{SO}_3\text{H}$ ที่ตำแหน่ง 1147 cm^{-1} แสดงถึงหมู่ซัลโฟนิก อีกทั้งยังพบพีกที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ C=C ที่ตำแหน่ง 1631 cm^{-1} แสดงให้เห็นว่ามีโครงสร้างของวงแหวนอะโรมาติกเกิดขึ้นแสดงถึงสไตรีน ที่อยู่ในเยื่อจากผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าการดัดแปรเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ในที่นี้เกิดขึ้นได้สำเร็จ

7. ผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง

ในการวัดประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงของแผ่นเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ด้วยการทดลองนำเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ไปประกอบกับชุดเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงโดยการเลือกใช้เยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF เจือไนซ์ที่ดีที่สุดคือเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ที่มีอัตราส่วนของ SiO_2 2 %wt. และอัตราส่วนของ พอลิสไตรีนซัลโฟเนตที่ 14 %wt. ไปประกอบกับชุดเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง เพื่อวัดประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิง ผลการทดลองการวัดประสิทธิภาพเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงพบว่าแผ่นเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ที่ทำการสังเคราะห์ได้สามารถประกอบกับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงได้และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 63.07 mA cm^{-2} และพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรง ดังแสดงใน Table 5 และ Figure 9 จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงมีค่าลดลงเมื่อเวลาการใช้งานต่อเนื่องที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นและการแพร่ผ่านแผ่นเยื่อเมื่อเวลาผ่านไปส่งผลให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิต PVdF ลดลง

Table 5. Efficiency of direct methanol fuel cells

Time (hr)	Current density (mA cm^{-2})
0	63.07
0.5	57.93
1	55.24
1.5	51.87
2	49.11
2.5	46.85
3	44.38
3.5	42.03
4	40.19
4.5	37.41
5	35.22

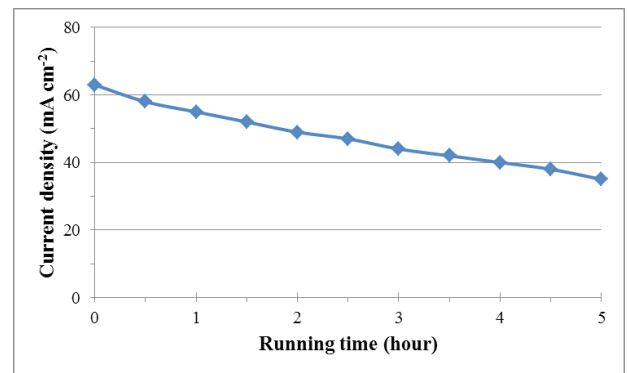


Figure 9 Efficiency of direct methanol fuel cells

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการดัดแปรและศึกษาสมบัติของเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ด้วยเทคนิคการหล่อแบบ ที่ความเข้มข้นของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ 10 %wt. ในตัวทำละลายผสมระหว่างไดเมทิลอะซิเตตและอะซิโตนที่อัตราส่วน 4 : 6 โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ที่ 0 ถึง 2 %wt. เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ทำให้แผ่นเยื่อสามารถดูดซับของเหลวได้ดี จากนั้นทำการดัดแปรเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ด้วยการเติมพอลิสไตรีนซัลโฟเนตเพื่อทำให้เกิดหมู่ซัลโฟนิก โดยทำการแปรค่าความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตที่ 4 ถึง 14 %wt. นำแผ่นเยื่อหุ้มนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ที่ถูกดัดแปรไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ โดยผลการวิจัยเป็นดังนี้

จากการศึกษาสมบัติของเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ที่แปรความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์ 2 %wt. เหมาะสมในการสังเคราะห์แผ่นเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ เนื่องจากเยื่อมีลักษณะเชิงพื้นที่ผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอจากการหาค่ามอดุลัสพบว่าเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์มีค่ามอดุลัสสูงอันเนื่องมาจากสมบัติความไม่ชอบน้ำของพอลิเมอร์ แต่เมื่อเติมอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์จะพบว่าความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลิกอนไดออกไซด์จะแปรผกผันกับค่ามอดุลัสและแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลว

ในส่วนของการเยื่อที่ทำการแปรความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนต พบว่าแผ่นเยื่อมีลักษณะเชิงพื้นที่ผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน และพบว่าปริมาณความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตจะแปรผกผันกับค่ามอดุลัสและแปรผันตรงกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของเหลว นอกจากนี้ความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตยังแปรผันตรงกับค่าความจุในการแลกเปลี่ยนไอออนด้วย เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตมีหมู่ซัลโฟนิคซึ่งในที่นี้จะช่วยในการดึงดูด Na^+ ในสารละลายไฮโดรเจนคลอไรด์และผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ที่ถูกดัดแปรด้วยเทคนิค FTIR พบว่ามีพีคของหมู่ซัลโฟนิคเกิดขึ้นจริงโดยจะพบพีคที่เกี่ยวข้องกับการเกิดพันธะ $-\text{SO}_3\text{H}$ ที่ตำแหน่ง 1147 cm^{-1} ซึ่งจากผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าการเติมพอลิสไตรีนซัลโฟเนตเพื่อดัดแปรเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ในที่นี้เกิดขึ้นได้สำเร็จ จากงานวิจัยนี้พบว่าความเข้มข้นของพอลิสไตรีนซัลโฟเนตที่ 14 %wt. มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงสุดจึงเป็นปริมาณที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมในการดัดแปรเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการหล่อแบบด้วยสารละลาย

การประกอบเยื่อนาโนคอมพอสิตพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์เข้ากับเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอลโดยตรงสามารถทำได้ และผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 63.07 mA cm^{-2} และพบว่าประสิทธิภาพลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้อนุมัติงบประมาณในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการสาขาวิชาฟิสิกส์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก

เอกสารอ้างอิง

1. Raghavan, P. Zhao, X. Kim, J.-K. Manuel, J. Chauhan, G. S. Ahn, J.-H. 2008. "Ionic conductivity and electrochemical properties of nanocomposite polymer electrolytes based on electrospun poly (vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) with nano-sized ceramic fillers," *Electrochimica Acta*, 54: 228-234.
2. Aravindan, V. Vickraman, P. and Prem Kumar, T. 2007. "ZrO₂ nanofiller incorporated PVC/PVdF blend-based composite polymer electrolytes (CPE) complexed with LiBOB," *Journal of Membrane Science*, 305: 146-151
3. Vielstich, W. Lamm, A. and Gasteiger, H.A., *Handbook of Fuel Cells ; 2003, Fundamentals Technology and Applications vol. 3.* England: John Wiley and Sons Ltd, 2003.
4. Wang, Y. Chen, K. Mishler, S. J. Cho, S. C. and Adroher, X. C. 2011. "A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research," *Applied Energy*, 88: 981-1007.
5. Lin, H.-L. and Wang, S.-H. 2014. "Nafion/poly(vinyl alcohol) nano-fiber composite and Nafion/poly(vinyl alcohol) blend membranes for direct methanol fuel cells," *Journal of Membrane Science*, 452: 253-262.
6. Yang, T. and Liu, C. 2011. "SPEEK/sulfonated cyclodextrin blend membranes for direct methanol fuel cell," *International Journal of Hydrogen Energy*, 36: 5666-5674.
7. Cho, K.-Y. Eom, J.-Y. Jung, H.-Y. Choi, N.-S. Lee, Y. M. Park, J.-K. 2004. "Characteristics of PVdF copolymer/Nafion blend membrane for direct methanol fuel cell (DMFC)," *Electrochimica Acta*, 50: 583-588.
8. Ye, D.-h. and Zhan, Z.-g. 2013. "A review on the sealing structures of membrane electrode assembly of proton exchange membrane fuel cells," *Journal of Power Sources*, 231: 285-292.
9. Mehta, V. and Cooper, J. S. 2003. "Review and analysis of PEM fuel cell design and manufacturing," *Journal of Power Sources*, 114: 32-53.
10. Shen, J. Xi, J. Zhu, W. Chen, L. Qiu, and X. 2006.

- "A nanocomposite proton exchange membrane based on PVDF, poly(2-acrylamido-2-methyl propylene sulfonic acid), and nano-Al₂O₃ for direct methanol fuel cells," *Journal of Power Sources*, 159: 894-899.
11. Choi, S. W. Fu, Y. Z. Ahn, Y. R. Jo, S. M. and Manthiram, A. 2008. "Nafion-impregnated electrospun polyvinylidene fluoride composite membranes for direct methanol fuel cells," *Journal of Power Sources*, 180:167-171,
 12. Gnana kumar, G. Kim, A. R. Nahm, K. S. and Jin Yoo, D. 2011. "High proton conductivity and low fuel crossover of polyvinylidene fluoride-hexafluoro propylene-silica sulfuric acid composite membranes for direct methanol fuel cells," *Current Applied Physics*, 11: 896-902.
 13. Gottesfeld, S. Pafford, J. 1988. "A new approach of the problem of carbon nonoxide poisoning in fuel cells operating at low temperatures," *Journal of Electrochemical Society*, 135: B1121-B1131.
 14. Okur, O. Karadag, Ç.I. Gül Boyac San, F. Okumus, E. Behmenyar, G. 2013. "Optimization of parameters for hot-pressing manufacture of membrane electrode assembly for PEM (polymer electrolyte membrane fuel cells) fuel cell," *Energy* 57:574-580.
 15. Wang, J.M. Chab, S.Y. Leea, W.M. 2001. "Optimal composition of polymer electrolyte fuel cell electrodes determined by the AC impedance method," *Journal of Power Sources*. 94:78-84.
 16. นฤมล สีสกุลไกร: การดัดแปรพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อใช้เป็นแผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิงเมทานอล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, เทคโนโลยีวัสดุ; 2549.
 17. Savadogo, O. 1998. Emerging membranes for electrochemical systems. Part I. Solid polymer electrolyte membrane for fuel cell systems, *Journal of New Master. Electrochem System*. 1: 47-66.
 18. อนุชิต วิเชียรชม: การเตรียมและสมบัติทางไฟฟ้าของเมมเบรนผสมที่ได้จากยางธรรมชาติ อีพ็อกไซด์และไคโตซาน. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์; 2556.
 19. Kumar, P. Dutta, K. Das, S. Kundu, P.P. 2014. Membrane prepared by incorporation of crosslinked sulfonated polystyrene in the blend of PVdF-co-HFP/ Nafion: A preliminary evaluation for application in DMFC. *Applied Energy* 123: 66-74.
 20. Zuo, X. Yu, S. Xu, X. Xu, J. Bao, R. Yan, Y. 2009. New PVDF organic-inorganic membranes: The effect of SiO₂ nanoparticles content on the transport performance of anion-exchange membranes. *Journal of Membrane Science*, 340: 206-213.
 21. แม้น อมรสิทธิ์และคณะ, หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. กรุงเทพฯ: ชวนชวนพิมพ์ 50, 2552 หน้า 187.

โอะริงามิและทฤษฎีกราฟ

Origami and Graph Theory

ชานันท์ ลีวเฉลิมวงศ์¹

Chanun Lewchalermvongs¹

Received: 8 January 2018; Accepted: 19 March 2018

บทคัดย่อ

โอะริงะมิ คือ ศิลปะของการพับกระดาษโดยปราศจากการตัดให้เป็นงานประติมากรรม ในงานชิ้นนี้เราแสดงการใช้ความรู้ทางทฤษฎีกราฟมาศึกษาสมบัติของโอะริงะมิด้วยกันสองแบบ คือ โอะริงะมิแบบเรียบและโอะริงะมิแบบแยกส่วน สมบัติที่สำคัญข้อหนึ่งของรูปแบบรอยพับของโอะริงะมิแบบเรียบคือการถูกระบายได้ด้วยสีสองสี ซึ่งถูกนำมาใช้ในการออกแบบชิ้นงานโอะริงะมิแบบเรียบ โดยรูปแบบรอยพับถูกแสดงด้วยกราฟบนระนาบ ในการศึกษาโอะริงะมิแบบแยกส่วน เราพิจารณาชิ้นงานที่เป็นรูปทรงหลายหน้า โดยศึกษาสมบัติการระบายสีโดยใช้สีสามสีของรูปทรงที่มีการเพิ่มยอดแหลมไปที่แต่ละหน้า รวมทั้งแสดงตัวอย่างการนำสูตรออยเลอร์มาใช้ศึกษาโครงสร้างของชิ้นงานที่เป็นรูปทรงหลายหน้า

คำสำคัญ: โอะริงามิ รูปแบบรอยพับ ทฤษฎีกราฟ กราฟระนาบ

Abstract

Origami is the art of folding paper with no cutting into works of sculpture. The focus of this paper is on studying graph-theoretical properties of two types of origami, which are flat origami and modular (or unit) origami. The 2-colorability of a flat origami crease-pattern is one of the most important properties used in designing a flat origami model, where the crease-pattern is represented in the form of a plane graph. On the other hand, for modular origami, we study its complete model which is a polyhedron, and show that three colors suffice for coloring faces of a spiked or stellated polyhedron model. We give an example of how Euler's Formula helps us study the structure of polyhedral models.

Keywords: origami, crease-pattern, graph theory, plane graph

Introduction

Origami is the art of paper folding, which provides the process of constructing a piece of sculpture out of a piece of paper with no cutting. The word "origami" comes from Japanese; it is the combination of roots "oru," which means "fold," and "kami," which means "paper." While origami was originally popularized by Japanese culture, its origins are believed to lie in the same period as the invention of paper. Paper is believed to have been

invented by Ts'ai Lun, a Chinese court official, in 105 A.D. Buddhist monks spread paper through Korea to Japan in the sixth century A.D. In the twentieth century, Akira Yoshizawa (1911-2005), an origami artist who introduced the origami notational system of dotted lines and arrows, was the influence of the revival of the interest in origami and its spread throughout the world.

The oldest known reference to origami in the context of mathematics is the book by Rev. Dionysius

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

ศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ กรุงเทพมหานคร 10400

Lecturer, Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400

Centre of Excellence in Mathematics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400. chanun.lew@mahidol.edu

Larder in 1840, which illustrates several geometric concepts using paper folding. In 1893, origami was still used as a tool for illustration in the book by T. Sundara Row, which shows a variety of geometric constructions, executed by straight edge and compass, using origami as a construction tool. This work shows that origami can simulate the construction of a straight edge and a compass. In 1936, origami was analyzed in terms of its geometric constructions by Margherita Piazzolla Beloch. This work is believed to be the first contribution to “origami mathematics.” It was followed by the work of Humiaki Huzita in 1985, which presented a set of six axioms of origami construction. Each of those axioms describes what can be constructed from origami “points” and “lines” via a single fold. Several fundamental theorems on crease-patterns were established by Jun Maekawa, Toshikazu Kawasaki, and Jacques Justin. Their work was extended to flat origami, which is folding a piece of paper into a flat model, by Thomas C. Hull³. He published a book on the mathematics of origami in 2006. In 1993, Robert Lang developed an algorithm for designing origami, and published his book⁶, describing his mathematical approach to origami design. His work is viewed as the start of “computational origami,” which deals with the problem of programming a computer to manipulate a piece of paper on-screen and fold it into any origami object. In 1996, Marshall Bern and Barry Hayes established that it is NP-hard to decide whether a general crease-patterns has a flat folding¹.

In this paper, we will analyze two types of origami, which are flat origami and modular (or unit) origami, using graph-theoretical tools, and review their properties from³ and⁴. The paper is organized as follows. We will introduce basic origami terminology and background in graph theory. In the next section, we will introduce some properties of flat origami crease-patterns and show that when we represent a flat origami crease-pattern in the form of a plane graph, it has the 2-face-coloring property. Then we will give some examples of how our knowledge of planar graphs helps us to study modular origami models.

Origami Terminology

Before we proceed to a mathematical description of origami, we introduce basic terminology for describing origami. Origami starts with a piece of paper, which is two-dimensional and flat. To construct an origami model, we apply a *folding motion* of the paper, which is a continuous motion of the paper from one configuration to another that does not cause the paper to stretch, tear, or self-penetrates. A *folded state* is a snapshot of this motion at a particular time. It is a mapping of a piece of paper into $\mathbb{R}^3$ that satisfies two properties: isometry and noncrossing. The isometry condition specifies that the distance between a pair of points on the paper is preserved by the mapping, which means the mapping does not stretch or shrink the paper. The noncrossing condition specifies that the paper does not cross through itself when we apply the mapping.

A *crease*, which is made by a fold, is a line segment or, in some cases, a curve on a piece of paper. A crease can be folded in one of two ways, as a *valley fold*, moving the folded edge down to the plane, or a *mountain fold*, moving the folded edge up from the plane. We display a valley fold as a dash pattern, and a mountain fold as a dot pattern, see Figure 1.

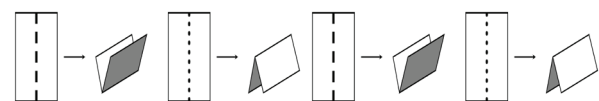


Figure 1 A mountain crease (left) and a valley crease (right)³.

When we unfold an origami model and look at the paper from which it was folded, we see a collection of creases crossing all over the paper. For example, Figure 2 shows a collection of creases on the paper when we unfold the traditional Japanese crane. In this study, we are interested only in creases used in the finished model, so we ignore all creases which are left over from folded states of the folding motion and do not correspond to any folded edges in the finished model. We call the collection of all creases used in the finished model a *crease-pattern* of the model. Figure 2 shows the crease-pattern for the traditional crane.

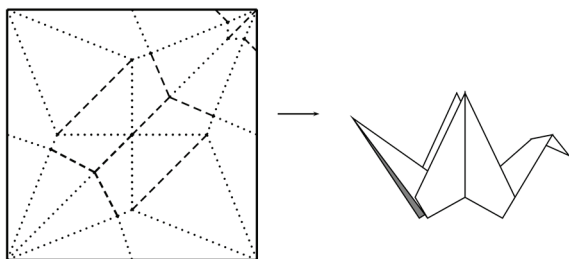


Figure 2 The crease-pattern for the traditional crane3.

Next, we will translate these observations into mathematical abstractions. We define a *piece of paper* as a *polygonal region* S of the plane.

Definition 1.³ An *origami* is a pair (C, f) , where C is the crease-pattern and f is a function from C to $(-\pi, \pi)$ such that the map from S to $\mathbb{R}^3$ induced by (C, f) is injective.

The function f can be viewed as describing how far and in what direction each crease is folded. We note that if l is a crease in C , then $f(l) > 0$ means that l is a valley fold, and $f(l) < 0$ means that l is a mountain fold.

Basic Background in Graph Theory

We refer to [2] for graph theoretical notations and terminology not described in this paper. A graph is *Eulerian* if there is a closed trail containing each of its edges. A graph G that can be drawn in the plane without intersection of edges is called *planar*, and a drawing of G without intersection of edges is called a *plane graph*. The plane graph of G partitions the plane into connected regions, called *faces* of G . The *dual* G^* of G is a graph such that each vertex of G^* is a face of G and each edge in G^* is incident to two vertices whose corresponding faces share a border (an edge in G). A *vertex coloring* of a graph is an assignment of colors to the vertices such that no two vertices connected by an edge have the same color. The smallest integer k such that the graph has a k -coloring is the *chromatic number* of the graph; it is denoted by $\chi(G)$. Next, we state some well-known theorems in graph theory.

Theorem 2 (Hand-Shaking Lemma). *Let G be a graph with a vertex set $V(G)$ and an edge set $E(G)$, and let $d(v)$ denote the degree of a vertex v in G . Then*

$$\sum_{v \in V(G)} d(v) = 2 |E(G)|.$$

Theorem 3. *The number of vertices of odd degree in a graph is even.*

Theorem 4. *A connected graph is an Eulerian graph if and only if all its vertices have even degree.*

Theorem 5. *For every planar graph G , the following statements are equivalent.*

- (i) G is bipartite;
- (ii) every face of G has even length;
- and (iii) the dual G^* of G is an Eulerian graph.

Theorem 6 (Euler's Formula). *If a connected plane graph has v vertices, e edges, and f faces, then*

$$v - e + f = 2.$$

Theorem 7 (Brooks' Theorem). *Let G be a connected graph. If G is neither complete nor an odd cycle, then $\chi(G) \leq \Delta(G)$, where $\Delta(G)$ is the maximum degree in G .*

Graph Theory in Flat Origami

A *flat origami* is an origami such that when completed its model can be pressed between pages of a book without adding new creases, which means that flat origami models have zero thickness. For example, the traditional crane in Figure 2 is a flat origami model.

Next, we will define a crease-pattern in the form of a graph. When we put an unfolded paper of an origami model on the plane, a crease in the crease-pattern can be viewed as a line segment whose endpoints are in the interior of the paper or on the boundary of the paper. We define such an endpoint or an intersection point of creases as a *vertex*. We call a vertex in the interior of the paper an *internal vertex*, and a vertex on the boundary of the paper a *boundary vertex*. All of these vertices partition creases and the boundary of the paper into *edges*. There are three types of edges, which are *boundary edges* (edges on the boundary of the paper), *mountain edges* (edges corresponding to mountain creases), and *valley edges* (edges corresponding to valley creases), see Figure 3.

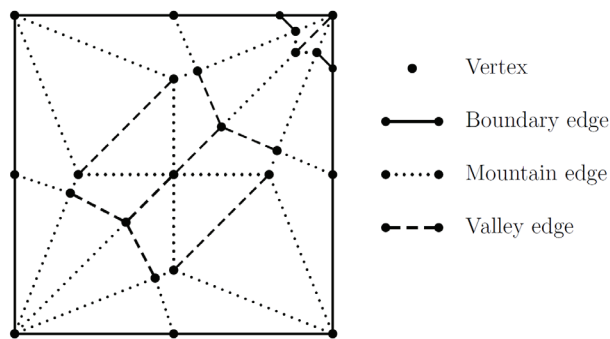


Figure 3 The crease-pattern graph of the traditional crane.

We let the crease-pattern be defined as a graph such that the vertex set consists of all vertices introduced above, and the edge set consists of all edges introduced above. We call such a graph a *crease-pattern graph*. For example, Figure 3 shows the crease-pattern graph of the traditional crane. By definition, this graph is a plane graph because every intersection of edges is a vertex in the graph. We notice that the crease-pattern divides the paper into connected regions, which are faces of the graph and are called *inner faces*. We are interested in coloring all such faces of a crease-pattern graph of a flat origami with the condition that no two faces sharing an edge can get the same color. An important question is what is the smallest number of colors needed for coloring. To answer this question, let us introduce two necessary properties of an internal vertex of a crease-pattern graph of a flat origami.

The first such property concerns the numbers of mountain and valley edges of an internal vertex of a flat origami crease-pattern graph. This property is known as Maekawa's Theorem, after the Japanese physicist Jun Maekawa. It was first mentioned in the book *Origami for the Connoisseur*⁵ and also discovered independently by the French mathematician Jacques Justin (1994).

Theorem 8. (Maekawa's Theorem). *Let u be an internal vertex in a crease-pattern graph G of a flat origami, let M be the number of mountain edges incident to u , and let V be the number of valley edges incident to u . Then $|M - V| = 2$.*

A consequence of this theorem is that both M and V are either consecutive even numbers or consecutive

odd numbers. So $M + V$ is always even. We obtain the second property.

Corollary 9. *Every internal vertex in a crease-pattern graph G of a flat origami has even degree.*

Next, we use these two properties to show that we can color all faces of a crease-pattern by using only two colors.

Corollary 10. *For every crease-pattern graph of a flat origami, all inner faces can be colored by using two colors.*

Proof. Let G be a crease-pattern graph of a flat origami. By Corollary 9, we know that all internal vertices have even degree, so all vertices of odd degree are boundary vertices. We add a new vertex w in the outer face of G . Then we add edges from w to all vertices of odd degree in G to obtain the new graph H , see Figure 5. Since all vertices of odd degree of G are on the boundary, we have that H is also planar. By Theorem 3, the number of vertices of odd degree in G is even. So the degree of w is even. Thus all vertices in H have even degree, and H is Eulerian by Theorem 4. From the fact that H is the dual graph of its dual H^* , we have that H is $(H^*)^*$. From Theorem 5, we have that H^* is bipartite. So we can color all vertices of H^* with two colors. By the definition of a dual graph, all of these vertices in H^* are correspondent to faces of H . By removing the vertex w , we can color all inner faces of G by using two colors, see an example in Figure 5.

Notice that when the crease-pattern is refolded it makes the two colors face in opposite directions. So in the refolded model of a colored flat origami crease-pattern, the result is all one color on one side and all the other color on the other side. For example, we refold the crease-pattern of the crane in Figure 5, then one side of the crane model is black while the other side is white.

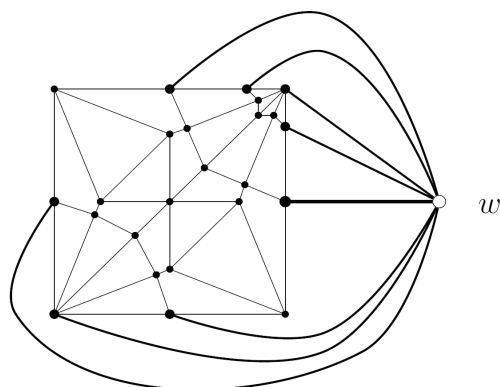


Figure 4 The graph H of the crease-pattern graph G obtained by adding a new vertex w in the outer face of G .



Figure 5 An example of coloring the crease-pattern of the traditional crane by using two colors.

Graph Theory in Modular Origami

We fold several pieces of paper into identical shapes called *units* or *modules*, and we assemble many units together to form the complete model, which is called a *modular*, or *unit origami*. In this study, we are interested in a modular origami model which is a polyhedron, a geometric solid in three dimensions with flat faces and straight edges. To form a graph of a polyhedron, we can view the polyhedron as a set of vertices (the corners) connected by edges. Then we take one face of this polyhedron and stretch it out, so we now can embed the polyhedron in the plane and this is a plane graph of the polyhedron, see Figure 6. We now can use our knowledge of planar graphs to help us study modular origami models. We discuss the results from⁴ that show how to use the graph theoretical knowledge.

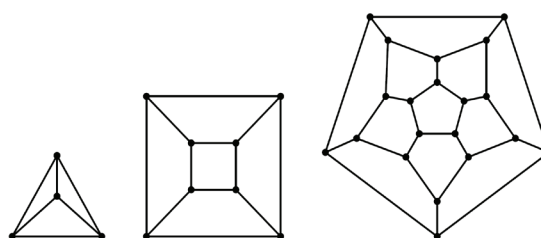


Figure 6 The plane graph forms of a tetrahedron, a cube, and a dodecahedron.

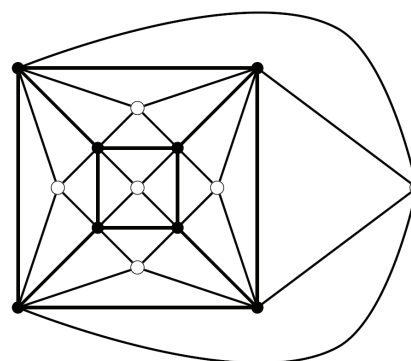


Figure 7 The spiked cube.

A *spiked* or *stellated* polyhedron is a polyhedron such that each face is capped by a pyramid, which means that in the plane graph of this polyhedron we add a new vertex in each face and add edges connecting the new vertex to the vertices of the face, see Figure 7. We would like to know what is the smallest number of colors needed to color all faces of the spiked polyhedron. To answer this question, we can consider the dual of its plane graph. According to the process to obtain the spike polyhedron, we have that each face of the plane graph is a triangle, so each vertex of the dual is of degree three. Thus the maximum vertex degree of the dual is three and the dual is 3-vertex-colorable by Theorem 7. So we can color all faces of the spike polyhedron by using three colors.

Moreover, we can understand the structure of polyhedron by using our knowledge of planar graphs. For example, if we make a polyhedron such that each corner is adjacent to three edges and the polyhedron has only pentagons and hexagons for faces, what does this polyhedron look like? To answer this question, we consider a plane graph of this polyhedron. Let v be the number of vertices, let e be the number of edges, and let f be the number of faces. By the Hand-Shaking Lemma,

we have that $3v = 2e$. Then we substitute this value into Euler's Formula and obtain that

$$\frac{2}{3}e - e + f = 2$$

$$e = 3f - 6. \quad (1)$$

Let f_5 be the number of pentagonal faces and f_6 be the number of hexagonal faces. For example, a dodecahedron has twelve pentagonal faces and zero hexagonal face, so $f_5 = 12$ and $f_6 = 0$. If we add the length of all the faces, then we count every edge exactly twice since each edge is in the boundary of two faces. Since each pentagonal face has 5 edges around it, and each hexagonal has 6 edges around it, we have that

$$5f_5 + 6f_6 = 2e.$$

Then we substitute equation (1) into this equation, and obtain that

$$5f_5 + 6f_6 = 6f - 12. \quad (2)$$

Since the polyhedron has only pentagonal and hexagonal faces, $f_5 + f_6 = f$. From equation (2), we obtain that

$$5f_5 + 6f_6 = 6f_5 + 6f_6 - 12$$

$$f_5 = 12.$$

So the number of pentagonal faces of this polyhedron is 12.

Conclusion

The 2-face-coloring property of flat origami crease-patterns becomes an important rule for producing flat origami, especially in computational origami, because this property can determine the direction in which each region of a flat origami crease-pattern will face when folded. The link between planar graphs and modular origami helps us understand the structure of such origami models and design modular units.

References

1. Bern M, Hayes B. The complexity of flat origami. Seventh Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithm. Philadelphia: SIAM; 1996. p. 175-183.
2. Diestel R. Graph theory. New York: Springer-Verlag; 1997.
3. Hull TC. On the mathematics of flat origamis. Congressus Numerantium. 1994;100:215-224.
4. Hull TC. Unit origami as graph theory. In: V'Ann C, OrigamiUSA, editors. COET95. Proceedings of the 2nd International Conference on Origami in Education and Therapy. New York; 1995. p. 39-47.
5. Kasahara K, Takahama T. Origami for the connoisseur, New York: Oxford University Press; 1987.
6. Lang RJ. Origami Design Secrets, Massachusetts: AK Peters, Ltd; 2003.

วิธีการวิเคราะห์สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดเบาในอาหารปิ้งย่างไทยชนิดต่าง ๆ

Analysis Methods of Light Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Thai Grilled Food Varieties

ธนาวัฒน์ จูมแพง^{1*}

Thanawat Jumeapaeng^{1*}

Received: 9 January 2018; Accepted: 6 March 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปริมาณของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) ชนิดเบาพร้อมกันในตัวอย่างอาหารปิ้งย่างไทยชนิดต่าง ๆ ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี สารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ แนฟทาซีน แอซีแนฟธีน ฟลูออรีน และแอนทราซีน ถูกนำมาสกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันสามวิธี ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิกส์ วิธีการสกัดแบบ การกลั่นไหลกลับ และวิธีการสกัดแบบแคชเชอร์ ผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่ การสกัดด้วยคลีนอัลตราโซนิกส์ ใช้เฮกเซน ปริมาตร 4 มิลลิลิตร เป็นตัวทำละลาย อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที วิธีดังกล่าวให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานมากกว่า 0.99 ค่าขีดต่ำสุดของการวัดเชิงปริมาณอยู่ในช่วง 0.06 - 0.28 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าร้อยละการกลับคืนและ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 80.01 - 89.11 และ 7.35 - 12.01 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อนำวิธีดังกล่าว ไปใช้ในการวิเคราะห์สารพีเอเอชชนิดเบาในตัวอย่างอาหารปิ้งย่างไทย พบว่าในปลาดุกย่างมีปริมาณของแนฟทาซีน แอซีแนฟธีน และค่าผลรวมของสารพีเอเอชชนิดเบาสูงที่สุด วิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นวิธีที่สะดวก ค่าใช้จ่ายไม่สูง ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย และให้ความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดี

คำสำคัญ: สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิกส์ อาหารปิ้งย่างแก๊สโครมาโทกราฟี

Abstract

The aim of this research was to investigate suitable sample preparation methods for simultaneous determination of light polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Thai grilled food varieties by gas chromatography. The four light PAHs in food are naphthalene, acenaphthene, fluorene, and anthracene and were extracted by three different extraction methods (1) ultrasonic solvent extraction (2) reflux extraction and (3) QuEChERS method. The results revealed that ultrasonic solvent extraction method with 4 mL of hexane at 40°C for 15 minutes were the optimum conditions. The correlation coefficient of the calibration curve of the proposed method was >0.99, LOQ, percent recoveries and relative standard deviation were in the ranges of 0.06–0.28 µg/L 80.01–89.11% and 7.35–12.01, respectively. In addition, this method was applied for determination of light PAHs in Thai grilled food samples. The highest amounts of naphthalene, acenaphthene, and total amounts of light PAHs were found in grilled catfish. The proposed extraction method was convenient, cheap and less time-consuming in the analysis stage with good precision and accuracy.

Keyword: Polycyclic aromatic hydrocarbon, Ultrasonic solvent extraction method, Grilled food, Gas chromatography

¹ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ สถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตอุดรธานี ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000

¹ Lecture, Faculty of Sports and Health Science, Institute of Physical Education, Udon Thani campus, Mak Khaeng Seb-district, Mueang Udon Thani District, Udon Thani Province 41000

* Corresponding author: Tel +6689-9379357, E-mail: drthanawatj@gmail.com

บทนำ

อาหารปิ้งย่างเป็นอาหารที่ได้รับความนิยมทั่วโลก เนื่องจากมีกลิ่นหอม กระบวนการในการทำง่าย และรสชาติดี อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า การปรุงอาหารที่ใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานาน เช่น การปิ้งย่างจนไหม้เกรียม และอาหารที่ผ่านการทอดซ้ำหลายครั้ง จะทำให้เกิดสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAHs)¹ เมื่อรับประทานเข้าไป จะเกิดการสะสมในร่างกายและ ทำให้ร่างกายทำงานผิดปกติหรือเกิดโรคร้ายแรง เช่น มะเร็ง ได้ในที่สุด²

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน หรือพีเอเอช คือ กลุ่มของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วง ขึ้นไป เกิดจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์หรือ การสลายทางเคมีของสารอินทรีย์จากความร้อน³ พีเอเอชที่ประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกเบนซีน 2-4 วง เรียกว่าสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา (light polycyclic aromatic hydrocarbon) หากมีตั้งแต่ 4 วงขึ้นไป เรียกว่า สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดหนัก (heavy polycyclic aromatic hydrocarbon) โดยทั่วไปพีเอเอชชนิดหนักจะมีความเสถียรและเป็นพิษมากกว่าพีเอเอชชนิดเบา จึงเป็นที่รู้จักและมีการศึกษาค้นคว้ามากกว่า โดยเฉพาะเบนโซเอไพรีน (benzo[a]pyrene) ซึ่งทางองค์การอนามัยโลก จัดให้อยู่ในสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 และสหภาพยุโรปได้กำหนดให้เป็นตัวบ่งชี้ของ สารก่อมะเร็งในอาหารด้วย⁴

แม้องค์การอนามัยโลกจะจัดกลุ่มของ สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนชนิดเบา ให้อยู่ในกลุ่ม 2B (แนฟทาซีน) และ 3 (แอซีแนฟทีน ฟลูออรีน และแอนทราซีน) คือมีความเป็นไปได้น้อยหรือไม่มีความเป็นไปได้ในการก่อให้เกิดโรคมะเร็ง ในมนุษย์ อย่างไรก็ตามพีเอเอชชนิดเบาที่มีความเป็นพิษทั้งพิษแบบเฉียบพลัน พิษแบบปานกลาง และพิษแบบเรื้อรัง เช่น แนฟทาซีน (naphthalene) มีความเป็นพิษต่อระบบประสาทเฉียบพลันหากร่างกายรับ เข้าไปในปริมาณตั้งแต่ 0.6 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน แอซีแนฟทีน (acenaphthene), ฟลูออรีน (fluorene), และแอนทราซีน (anthracene) มีความเป็นพิษต่อตับในระดับปานกลางหากร่างกายรับเข้าไปในปริมาณตั้งแต่ 0.6, 0.4 และ 10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ เป็นต้น⁵ เนื่องจากสารเหล่านี้มีความเป็นพิษน้อยกว่าพีเอเอชชนิดหนักมาก ทำให้มีรายงานการศึกษาและติดตามปริมาณสารเหล่านี้ไม่มากนัก แต่หากไม่ตระหนักถึงอันตรายจากสารเหล่านี้ อาจทำให้เกิดการสะสมในร่างกายและก่อให้เกิดอันตรายได้

ในการวิเคราะห์สารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารชนิดต่าง ๆ นิยมใช้เครื่องมือทางโครมาโทกราฟี เช่น เครื่องแก๊ส

โครมาโทกราฟี⁶ หรือเครื่องโครมาโทกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง⁷ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์สารผสมที่มีหลายองค์ประกอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์สารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารนั้นจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างที่เหมาะสมร่วมกับการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพดีด้วย โดยในปัจจุบันวิธีการเตรียมสารตัวอย่างหรือวิธีการสกัดสารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารมีหลายวิธี เช่น วิธีการสกัดด้วยของเหลวความดันสูง (pressurized liquid extraction)⁸ วิธีการสกัดด้วย ของไหลวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluid extraction)⁹ และการสกัดระดับจุลภาคด้วยวัฏภาคของแข็ง (solid phase microextraction)¹⁰ แต่วิธีการดังกล่าวมีขั้นตอนการสกัดที่ยุ่งยาก อีกทั้งยังใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสกัดที่มีขั้นตอนในการสกัดที่ง่ายและใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพง ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิก (ultrasonic solvent extraction, USE)¹⁰ และวิธีการสกัดแบบการกลั่น ไหลกลับ (reflux extraction)¹¹ และวิธีการสกัดแบบแคชเชอร์ (quick, easy, cheap, effective, rugged, and safe extraction, QuEChERS)¹² ในการสกัด สารพีเอเอชชนิดเบาจากตัวอย่างอาหารปิ้งย่างที่นิยมรับประทานในประเทศไทย เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบและติดตามปริมาณของสาร พีเอเอชในอาหารชนิดต่าง ๆ ทั้งยังทำให้เกิดการป้องกันและช่วยลดความเสี่ยงจากการได้รับอันตรายจากสารพีเอเอชชนิดเบาในผู้บริโภคอีกด้วย

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. อุปกรณ์และสารเคมี

- เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ที่มีตัวตรวจหาแบบฟลูออโรไนเซชัน บริษัท Agilent รุ่น 7820A
- คอลัมน์เอชพี-5 แคพิลลารีคอลัมน์ (HP-5 capillary column: 25x 0.200, film thickness 0.11 µm)
- เครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic) บริษัท Mettler electronic
- ไชรินจ์ฟิลเตอร์ (syringe filters) ชนิดไนลอน ขนาด 0.45 ไมครอน บริษัท Vertical
- เมทานอล (methanol, AR grade) บริษัท Carlo Erba Reagents
- เอ็น, เอ็น ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (N,N-diethylformamide, AR grade) บริษัท Carlo Erba Reagents
- เฮกเซน (hexane, AR grade) บริษัท Carlo Erba Reagents
- ไซโคลเฮกเซน (cyclohexane, AR grade)

บริษัท Carlo Erba Reagents

- แอซีโตน (acetone, AR grade) บริษัท Carlo Erba Reagents

- สารมาตรฐานแนฟทาซีน (AR grade) บริษัท Sigma-Aldrich

- สารมาตรฐานแอซีแนฟธีน (AR grade) บริษัท Sigma-Aldrich

- สารมาตรฐานฟลูออรีน (AR grade) บริษัท Sigma-Aldrich

- สารมาตรฐานแอนธราซีน (AR grade) บริษัท Sigma-Aldrich

2. ตัวอย่างอาหาร

ตัวอย่างอาหารที่ใช้ในการศึกษา มี 8 ชนิด ได้แก่ หมูย่าง ไก่ย่าง ขนมปังปิ้ง ข้าวจี ปลาตุ๋นย่าง ลูกชิ้นหมูปิ้ง ปลาหมึกสดย่าง และข้าวโพดหวานปิ้ง โดยซื้อมาจากตลาดหน้ามหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด ตำบลเกาะแก้ว อำเภอเสลภูมิ จังหวัดร้อยเอ็ด ทำการเก็บตัวอย่างในระหว่างเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2557 - มกราคม พ.ศ. 2558

3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกสารพีเอเอชด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ทำการศึกษาการแยกของสารละลายมาตรฐานผสมระหว่างแนฟทาซีน, แอซีแนฟธีน, ฟลูออรีน และแอนธราซีน ความเข้มข้น 1.00 ไมโครกรัมต่อลิตรในคอลัมน์เฮกซ์-5 แคพิลลารีคอลัมน์ที่อุณหภูมิ โดยกำหนดให้สภาวะอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ส่วนนำเข้าสู่สารตัวอย่าง อุณหภูมิของตัวตรวจวัด อัตราการไหลของแก๊สพา เป็นต้น มีค่าคงที่

4. เปรียบเทียบวิธีการสกัดสารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง

ทำการเปรียบเทียบวิธีสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่างและรมควันที่มีการรายงานไว้ในเอกสารวิจัยต่าง ๆ ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิคส์¹⁰ วิธีการสกัดแบบการกลั่น ไหลกลับ¹¹ และวิธีการสกัดแบบแคชเชอร์¹² โดยมีการดัดแปลงวิธีการเล็กน้อย เพื่อให้สามารถนำผล การทดลองมาเปรียบเทียบกันได้

4.1 วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิคส์

ซึ่งตัวอย่างอาหารปิ้งย่างบดละเอียด 1 กรัม เติมน้ำละลายมาตรฐานพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ลงในตัวอย่างอาหาร ให้มีความเข้มข้น 1.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม จากนั้น เติมน้ำทำละลายเฮกเซน 6 มิลลิลิตร นำมาสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิคส์ 10 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นำส่วนที่สกัดได้ มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา

5 นาที จากนั้นนำไปเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจนจนแห้ง ละลายกลับด้วยเฮกเซน 500 ไมโครลิตร กรองผ่าน ฟิลเตอร์เมมเบรน ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อเปรียบเทียบพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอเอช ทั้ง 4 ชนิด

4.2 วิธีการสกัดแบบการกลั่นไหลกลับ

ซึ่งตัวอย่างอาหารปิ้งย่างบดละเอียด 1 กรัม เติมน้ำละลายมาตรฐานพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ลงในตัวอย่างอาหาร ให้มีความเข้มข้น 1.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เติมน้ำโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ จากนั้นทำการรีฟลักซ์โดยควบคุมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หึ่งสารไว้ให้เย็นแล้วเติมเฮกเซน 100 มิลลิลิตร ทำการสกัดด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วนำไปผ่านคอลัมน์ที่บรรจุด้วยอะลูมินาร์เพื่อให้สารบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น นำสารละลายที่ได้มาทำการระเหยจนแห้งด้วยเครื่องระเหยโดย ความดัน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วละลายกลับด้วยเฮกเซน 500 ไมโครลิตร นำสารที่แยกได้กรองผ่านฟิลเตอร์เมมเบรน ขนาด 0.45 ไมโครเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

4.3 วิธีการสกัดแบบแคชเชอร์

ซึ่งตัวอย่างอาหารปิ้งย่างบดละเอียด 1 กรัม เติมน้ำละลายมาตรฐานพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ลงในตัวอย่างอาหาร ให้มีความเข้มข้น 1.00 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัม เติมน้ำไอโธไรล์ 10 มิลลิลิตรลงไป เขย่าด้วยเครื่องเขย่า 5 นาที จากนั้นเติมโซเดียมคลอไรด์ 1 กรัมและแมกนีเซียมซัลเฟต 4 กรัม สกัดซ้ำอีกครั้ง เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที นำสารละลายดังกล่าว ไปแช่ในช่องแช่แข็งเพื่อทำจัดไขมัน จากนั้นแยกเอาชั้นของสารละลายออกมาทำการปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที นำไปเพิ่มความเข้มข้นโดยการเป่าด้วยแก๊สไนโตรเจน จนแห้ง ละลายกลับด้วยเฮกเซน 500 ไมโครลิตร กรองผ่านฟิลเตอร์เมมเบรนขนาด 0.45 ไมโครเมตร และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

5. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัดสารพีเอเอชจากอาหารปิ้งย่าง

5.1 ชนิดของตัวทำละลาย

ทำการศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่าง ได้แก่ เฮกเซน, เอ็น, เอ็น-ไดเมทิลฟอรัมาไมด์, โซโคเลเฮกเซน และเมทานอล โดยทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดที่ได้ผลดีที่สุดจากข้อ 4

5.2 ปริมาตรของตัวทำละลาย

ทำการศึกษาปริมาตรของตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่าง โดยใช้ปริมาตรของตัวทำละลาย 2, 4, 6 และ 8 มิลลิลิตร ใช้วิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 5.1

5.3 เวลาที่ใช้ในการสกัด

ทำการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่าง โดยใช้เวลาในการสกัด 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ใช้วิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 5.2

5.4 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

ทำการศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่าง โดยใช้อุณหภูมิในการสกัด 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ใช้วิธีการสกัดที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 5.3

6. การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์

6.1 การทดสอบช่วงของการวิเคราะห์และความเป็นเส้นตรง (working range and linearity)

นำสารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 – 0.50 ไมโครกรัมต่อกรัมของตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง โดยใส่สารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารปิ้งย่างที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พร้อมบันทึกโครมาโทแกรม จนได้จุดที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานแต่ละชนิด มีสัดส่วนของสัญญาณของสารที่วัดได้เป็น 3 เท่าและ 10 เท่า ของสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเป็นค่าขีดจำกัดของการตรวจพบและค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณตามลำดับ

6.2 การหาขีดจำกัดของการตรวจพบ (limit of detection, LOD) และการหาขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (limit of quantitation, LOQ)

ทำการเจือจางสารละลายมาตรฐาน พีเอเอชทั้ง 4 ชนิด จากนั้นทำการวิเคราะห์ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พร้อมบันทึกโครมาโทแกรม จนได้จุดที่ความเข้มข้นของสารมาตรฐานแต่ละชนิด มีสัดส่วนของสัญญาณของสารที่วัดได้เป็น 3 เท่าและ 10 เท่า ของสัญญาณรบกวน ซึ่งจะเป็นค่าขีดจำกัดของการตรวจพบและค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณตามลำดับ

6.3 การประเมินผลการทดสอบความถูกต้องของวิธี

ทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง โดยทำการห้ำอาหารปิ้งย่างบดละเอียด 1 กรัม ใส่ใน หลอดทดลอง 2 ชุด โดยชุดที่ 1 เติมสารมาตรฐานลงในตัวอย่างของอาหารปิ้งย่าง ให้มีความเข้มข้น 0.25 ไมโครกรัมต่อกรัมของตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง ชุดที่ 2 ไม่เติมสารมาตรฐาน จากนั้นนำไปสกัดด้วยวิธีที่เหมาะสมข้างต้น แล้วนำสารที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ พิจารณาค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละ

ครั้ง เพื่อนำไปหาปริมาณของ สารตัวอย่างจากกราฟมาตรฐาน ทำการทดลองชุดละ 5 ซ้ำ แล้วหาค่าร้อยละของการกลับคืน

7. การวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอเอชที่ตกค้างในอาหารปิ้งย่างไทย 8 ชนิด

ทำการวิเคราะห์ปริมาณสารพีเอเอช ที่ตกค้างในอาหารปิ้งย่างไทย 8 ชนิด ได้แก่ หมูย่าง ไก่ย่าง ขนมหั้วปิ้ง ข้าวจี ปลาดุกย่าง ลูกชิ้นหมูปิ้ง ปลาหมึกสดย่าง และข้าวโพดหวานปิ้ง นำตัวอย่างอาหารปิ้งย่างแต่ละชนิดมาบดให้ละเอียด แล้วชั่งมา 1 กรัม ใส่ในหลอดปั่นเหวี่ยง จากนั้นทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดที่เหมาะสมข้างต้น แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยแก๊สโครมาโทกราฟทำการทดลอง 3 ซ้ำ นำ ค่าพื้นที่ใต้กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละครั้งไปหาปริมาณสารพีเอเอชจากกราฟมาตรฐาน

8. การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ One-way Analysis of Variance (ANOVA) ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดย ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS® 16.0 software

ผลการศึกษา

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการแยกสารพีเอเอชด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

จากการศึกษาการแยกแชนพลาซีน, แอสินแนพรีน, ฟลูออรีน และแอนธราซีน โดยการใช้สภาวะและอุณหภูมิคอลัมน์ที่เหมาะสม (Table 1) พบว่าที่สภาวะดังกล่าวสามารถแยกสารพีเอเอชดังกล่าวออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจึงเลือกสภาวะนี้ในการวิเคราะห์สารพีเอเอชดังกล่าวในอาหารปิ้งย่าง

2. เปรียบเทียบวิธีการสกัดที่เหมาะสมของการแยกสารพีเอเอช

ในการเปรียบเทียบวิธีการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่างที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการสกัดด้วย ตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิกส์ วิธีการสกัดแบบ การกลั่นไพลิน และการสกัดแบบแคชเชอร์โดยพิจารณาจากแนวโน้มของค่าพื้นที่ใต้กราฟของ สารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิดที่ได้จากโครมาโทแกรม ผลการเปรียบเทียบวิธีการสกัดแบบต่าง ๆ ต่อค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอเอชที่สกัดได้ แสดงในรูปที่ 2 พบว่าวิธีการสกัดที่เหมาะสม ได้แก่ วิธีการสกัดด้วย ตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิกส์ โดยจะมีแนวโน้มของค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารที่สกัดออกมาได้มากกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจาก คลื่นอัลตราโซนิกส์สามารถไปทำลายผนังเซลล์ หรือเนื้อของสารตัวอย่าง ทำให้ตัวทำละลายและสารพีเอเอชสามารถสัมผัสและละลายกันได้มากขึ้น¹³ จึงสรุปได้ว่าวิธีการสกัดสารพีเอเอช

จากอาหารปิ้งย่างที่เหมาะสมได้แก่ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิคส์

3. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัดสารพีเอเอช

3.1 การศึกษาชนิดของตัวทำละลาย

ในการสกัดสารพีเอเอชโดยเปรียบเทียบตัวทำละลายในการสกัด 4 ชนิด คือ เฮกเซน เอ็น,เอ็น-ไดเมทิลฟอร์มามاید ไชโคลเฮกเซน และเมทานอล พบว่าชนิดของ

ตัวทำละลายที่เหมาะสม ได้แก่ เฮกเซน โดยพิจารณาจากค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด จะเห็นว่าเฮกเซนมีแนวโน้มในการสกัดสารพีเอเอชออกจากสารตัวอย่างได้มากกว่าตัวทำละลายชนิดอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เนื่องจากสภาพความเป็นขั้วของ เฮกเซนและสารพีเอเอชใกล้เคียงกัน จึงสามารถสกัดสารพีเอเอช ออกมาได้มากที่สุด ดังแสดงใน Figura 3A

Table 1 Optimum analytical conditions of the GC for 4 PAHs analysis.

System	Conditions
Carrier gas	Nitrogen
Flow rate of carrier gas	1 ml/min
Split mode	1:30
Injection temperature	280 °C
Capillary column	HP-5 (25 m × 0.25 mm, 0.25 μm)
Oven temperature	Initial temperature: 200 °C (Held 12 min) Ramp: 20 °C/min to 250 °C (Held 2 min)
Detector temperature	350 °C

3.2 ผลของการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด

ในการสกัดสารพีเอเอชโดยเปรียบเทียบอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจากอุณหภูมิ 30 – 40 องศาเซลเซียส ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50 - 80 องศาเซลเซียส แนวโน้มของค่าพื้นที่ใต้กราฟไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 3B ดังนั้นอุณหภูมิในการสกัดที่เหมาะสม คือที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3.3 ผลของการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด

ในการศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัด ที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอเอชในอาหารปิ้งย่าง จาก Figura 3C พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดจาก 5 นาที เป็น 10 นาที ค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดเป็น 15 นาที พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของแอซีแนฟธีน และฟลูออรีนยังไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับ การสกัดที่เวลา 5 และ 10 นาที แต่พบว่าแนฟธาลินและแอนทราซีนมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการสกัดขึ้นเป็น 20 - 35 นาที พบว่าค่าพื้นที่ใต้กราฟไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

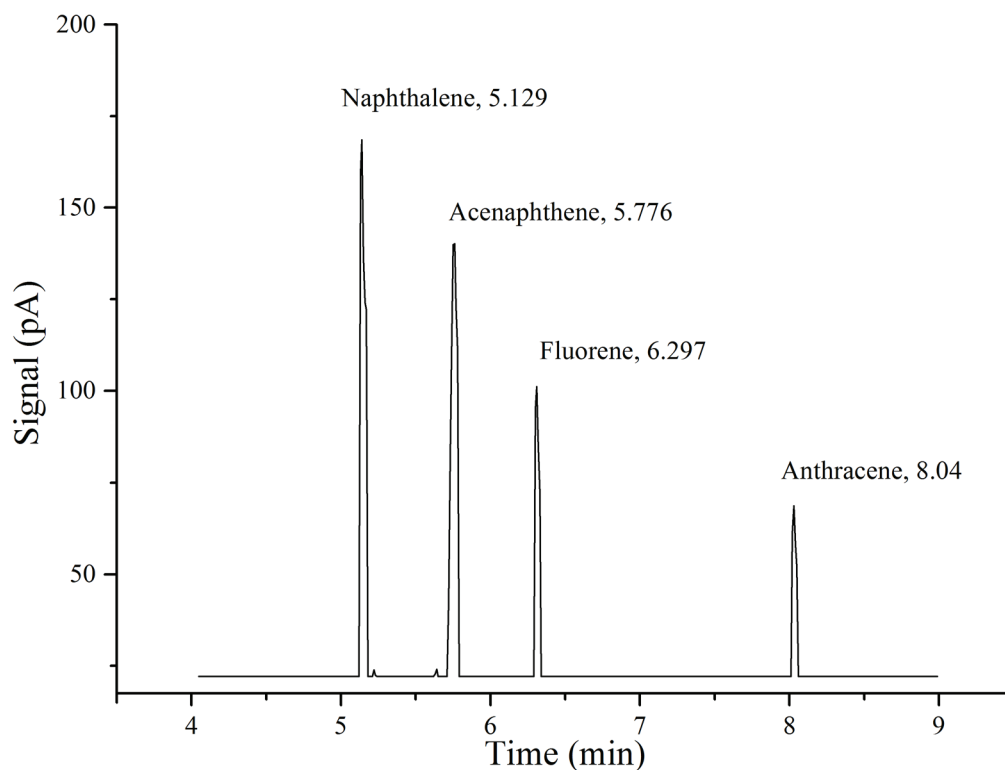


Figure 1 A typical chromatogram of 4 PAHs under optimum analytical conditions.

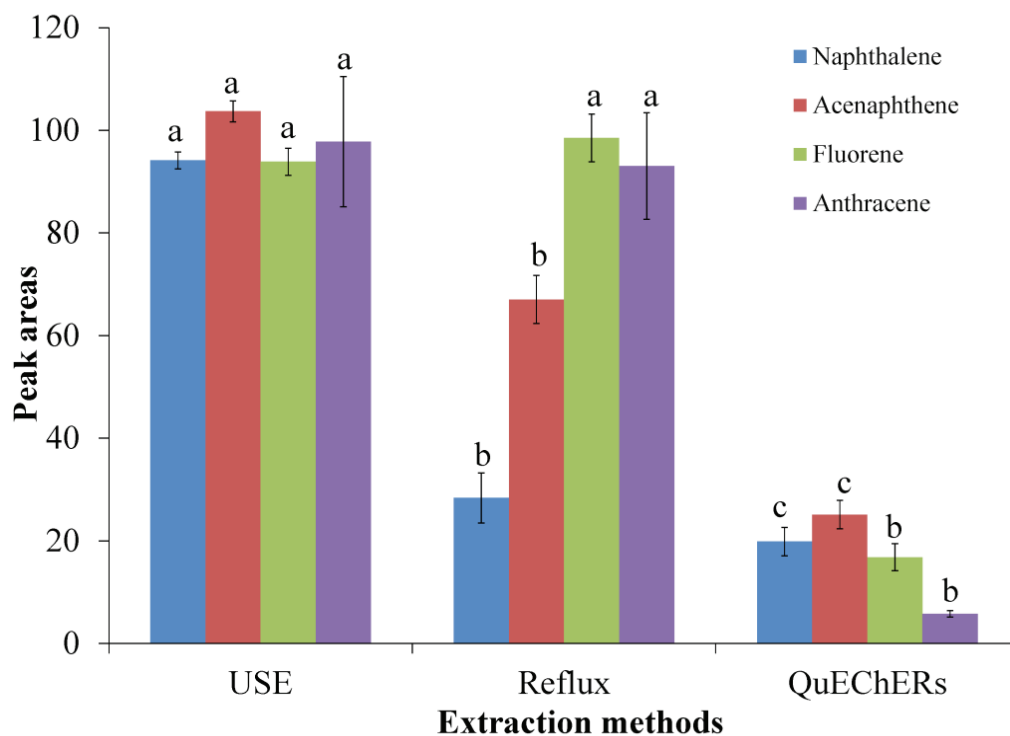


Figure 2 Comparison between extraction methods for light PAHs analysis. Different letters on bars represent the statistical difference as determined by one way ANOVA at 0.05 probability.

เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มของพื้นที่ใต้กราฟของพีเอชทั้ง 4 ชนิดแล้ว จึงสรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดที่เหมาะสม คือ 15 นาที

3.4 ผลของการศึกษาปริมาณของ ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ในการศึกษาปริมาณของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอชในอาหารปิ้งย่าง พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายจาก 2 มิลลิลิตร เป็น 4 มิลลิลิตร จะทำให้ค่าพื้นที่ใต้กราฟของแนฟธาลีนและแอซีแนฟธีน เพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายเป็น 6 มิลลิลิตร พบว่าแนวโน้มของพื้นที่ใต้กราฟของสารพีเอชทั้ง 4 ชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเป็น 8 มิลลิลิตร พบว่า พื้นที่ใต้กราฟของแนฟธาลีนและแอซีแนฟธีน มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่พื้นที่ใต้กราฟของฟลูออรีนและ แอนทราซีนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ปริมาตรของตัวทำละลายที่ 4 และ 6 มิลลิลิตร ดังนั้นจากผลการทดลอง เมื่อเพิ่มปริมาตรของตัวทำละลายจาก 4 มิลลิลิตร เป็น 8 มิลลิลิตร พบว่ามีสัญญาณพื้นที่ใต้กราฟเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปริมาตรที่เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อพิจารณาเรื่องความคุ้มค่าและความเป็นมิตร ต่อสิ่งแวดล้อม จึงสรุปได้ว่า ปริมาตรของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารพีเอชจากสารตัวอย่าง คือ 4 มิลลิลิตร ดัง Figura 3D

4. การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีวิเคราะห์

จากการทดสอบความเป็นเส้นตรงและ ช่วงการวิเคราะห์ ค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (LOD) และค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (LOQ) ความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์ พบว่าค่าที่ได้ดังแสดงใน Table 2

จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานผสม 4 ชนิด ได้แก่ แนฟธาลีน, แอซีแนฟธีน, ฟลูออรีน, และ แอนทราซีน พบว่าช่วงความเข้มข้นของ กราฟมาตรฐานที่ให้กราฟเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.10 - 0.50, 0.10 - 0.40, 0.10 - 0.40 และ 0.05 - 0.20 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และได้กราฟที่มี ค่าสัมประสิทธิ์

สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.9905 - 0.9999 แสดงว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและ ค่าผลรวมพื้นที่ใต้พีคของสารพีเอชเป็นเส้นตรง จึงสามารถใช้กราฟมาตรฐานดังกล่าวนี้ ในการวิเคราะห์ปริมาณได้

สำหรับการหาความไวของวิธีวิเคราะห์ พบว่าค่าขีดจำกัดของการตรวจพบของสารพีเอชทั้ง 4 ชนิด อยู่ใน ช่วง 0.02 - 0.08 ไมโครกรัมต่อลิตร ส่วนค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ อยู่ในช่วง 0.06 - 0.28 ไมโครกรัมต่อลิตร แสดงว่าวิธีการวิเคราะห์นี้มีค่าความไวสูงพอที่จะสามารถวิเคราะห์สารพีเอชชนิดเบาในอาหารปิ้งย่างได้

ส่วนการหาความแม่นยำและความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์พบว่าค่าร้อยละการกลับคืนอยู่ในช่วง 82.55 - 89.11 (ช่วงที่ยอมรับได้คือร้อยละ 70-125) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 8.00 -12.01 (ช่วงที่ยอมรับได้คือ $\leq 15.0\%$)¹⁴ จึงสรุปได้ว่า วิธีการวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำและความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ดี สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณได้

5. การวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอชที่ตกค้างในอาหารปิ้งย่างไทย 8 ชนิด

สำนักงานขึ้นทะเบียนโรคและสารที่เป็นพิษ (Agency for toxic substances and disease registry, ATSDR) ได้กำหนดระดับปริมาณน้อยที่สุด ที่จะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดพิษ (Minimal risk levels หรือ MRLs) ของแนฟธาลีน แอซีแนฟธีน ฟลูออรีน และแอนทราซีน ได้แก่ 0.6, 0.6, 0.4 และ 10.0 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ⁵ จากการวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอชชนิดเบาในอาหารปิ้งย่าง 8 ชนิด ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการศึกษาไม่พบ การปนเปื้อนของสารพีเอชชนิดเบาเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยปริมาณของแนฟธาลีน แอซีแนฟธีน ฟลูออรีน และแอนทราซีน อยู่ในช่วง 0.30 - 0.46, 0.21 - 0.30, 0.12 - 0.14 และ 0.09 - 0.10 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบนั้นใกล้เคียงกับงานวิจัยของไรนิกค์และคณะ¹⁵

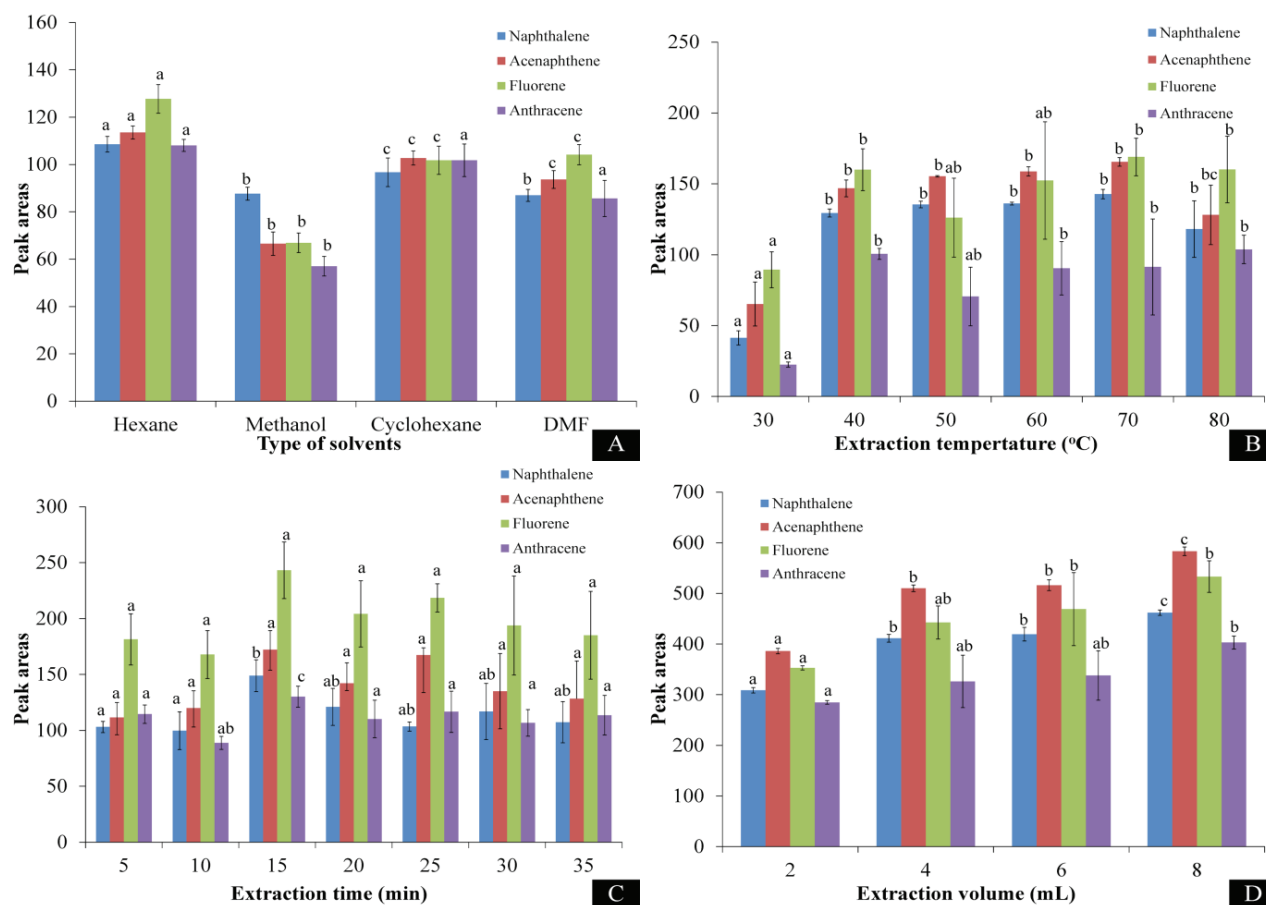


Figure 3 Effect of type of solvent, extraction temperature, extraction time, and extraction volume on peak areas of 4 PAHs using USE. Different letters on bars represent the statistical difference as determined by one way ANOVA at 0.05 probability.

แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการวิเคราะห์ดังกล่าว มีความถูกต้องเชื่อถือได้ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาพบว่า ในตัวอย่างปลาตุ๋นที่มีปริมาณสารแนฟทาซีน แอซีแนฟธีน และปริมาณสารพีเอเอชทั้ง 4 ชนิดโดยรวมสูงที่สุด โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ จิตผกา สันต์รบและคณะ ที่พบว่าปริมาณของสารพีเอเอชในปลาตุ๋นมากกว่าตัวอย่างชนิดอื่นๆ¹⁶ โดยอาจ

เนื่องมาจากการย่างปลานั้นต้องใช้เวลานานในการย่างนานและต้องใช้ความร้อนสูงเพื่อให้เนื้อปลาที่อยู่ด้านในสุกเป็นผลให้มีการปนเปื้อนของสารพีเอเอชมากกว่าตัวอย่างอาหารปิ้งย่างชนิดอื่น ๆ ซึ่งหากร่างกายได้รับสารดังกล่าวติดต่อกันเป็นเวลานาน อาจทำให้เกิด การสะสมในร่างกายและทำให้ร่างกายเกิดความผิดปกติได้¹⁷

Table 2 Linearity, LOD, LOQ, recovery and RSD of the analytical method.

PAHs	R ²	Linearity range (µg/L)	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)	Recovery (%)	RSD (%)
naphthalene	0.9988	0.10 - 0.50	0.08	0.28	84.1	8.88
acenaphthene	0.9991	0.10 - 0.40	0.06	0.18	80.01	7.35
fluorene	0.9905	0.10 - 0.40	0.02	0.08	89.11	8.00
anthracene	0.9967	0.05 - 0.20	0.02	0.06	82.55	12.01

Table 3 The contents of light PAHs found in 8 Thai grilled food (mean $\pm$ SD, n = 3).

Samples	Content ($\mu\text{g/kg}$)				
	naphthalene	acenaphthene	fluorene	anthracene	Total 4 PAHs
grilled sticky rice	0.40 $\pm$ 0.06	n.d.	n.d.	0.09 $\pm$ 0.01	0.49
roasted corns	0.42 $\pm$ 0.03	n.d.	0.12 $\pm$ 0.01	n.d.	0.54
roasted pork meat ball	n.d.	0.28 $\pm$ 0.04	0.14 $\pm$ 0.01	n.d.	0.42
toast	0.36 $\pm$ 0.05	0.25 $\pm$ 0.02	n.d.	n.d.	0.61
roasted chicken	0.33 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.01	n.d.	0.70
grilled pork	0.30 $\pm$ 0.03	0.21 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.01	0.73
grilled catfish	0.46 $\pm$ 0.04	0.30 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.01	n.d.	0.89
roasted squid	n.d.	0.26 $\pm$ 0.03	n.d.	n.d.	0.26
MRLs (mg/kg/day) ^[5]	0.60	0.60	0.40	10.00	-

*n.d (none detected)

สรุป

การศึกษาปริมาณสารพีเอเอชชนิดเบาพร้อมกันในตัวอย่างอาหารปิ้งย่างไทยที่คนไทยในท้องถิ่นนิยมรับประทานทั้ง 8 ชนิด จากการเปรียบเทียบวิธีการสกัด พบว่า วิธีการสกัดที่มีประสิทธิภาพ การสกัดที่ดีที่สุด ได้แก่ วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายแบบอัลตราโซนิคส์ และเมื่อนำวิธีดังกล่าวไปศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีการสกัด เพื่อปรับปรุงให้ประสิทธิภาพการสกัดดียิ่งขึ้น พบว่า สภาวะของการสกัดแบบอัลตราโซนิคส์ที่เหมาะสม คือ การสกัดด้วย เฮกเซนปริมาตร 4 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 15 นาที โดยวิธีดังกล่าว ใช้ปริมาตรของตัวทำละลายน้อยกว่างานวิจัยของเออร์ฮันวูทและคณะ ซึ่งใช้ปริมาตรของเฮกเซน 25 มิลลิลิตร ทำให้ลดความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้สารเคมีปริมาณมากได้⁸ นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการสกัดยังน้อยกว่างานวิจัยของอะโลมร่าและคณะ ซึ่งใช้เวลาถึง 120 นาทีอีกด้วย¹⁰ สำหรับประสิทธิภาพของวิธีการสกัด พบว่า ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกราฟมาตรฐานอยู่ในเกณฑ์ดี ค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้อยู่ในช่วง 0.06 - 0.28 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง อีกทั้งยังให้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ดี อีกด้วย และเมื่อนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง พบว่า ปลาอุกย่างจะมีปริมาณของแนฟทาซีน อะซีแนฟทีน และค่าผลรวมของสาร พีเอเอชชนิดเบาทั้ง 4 ชนิด สูงที่สุด นอกจากนี้ยังตรวจพบสารพีเอเอชในตัวอย่างอาหารปิ้งย่างทุกชนิดอีกด้วย

ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

- การวิเคราะห์สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในตัวอย่างอาหารปิ้งย่าง อาจพัฒนาขั้นตอนของการเพิ่มความเข้มข้นด้วยวิธีอื่น ๆ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปริมาณสารตัวอย่างในปริมาณ ที่ต่ำลงได้
- วิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้อาจนำไปใช้ในกลุ่มของอาหารประเภทอื่น ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน หรือการนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างประเภทอื่น เช่น ตัวอย่างทางชีวภาพ สิ่งแวดล้อม เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

เอกสารอ้างอิง

1. Fromberg A, Højgård A, Duedahl-Olesen L. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils combining gel permeation chromatography with solid-phase extraction clean-up. Food Addit Contam. 2007;24(7):758–67.
2. Nisbet ICT, LaGoy PK. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). Regul Toxicol Pharmacol. 1992;16 (3): 290–300.
3. Center for Food Safety (CFS). Chemical hazard evaluation, polycyclic aromatic hydrocarbons in bar-

- becued meat, Risk assessment studies report 2004; (14): [33 screen]. Available from: URL:http://www.cfs.gov.hk/english/programme/programme_rafs/programme_rafs_fc_01_06_pah.html Accessed Nov 24 2017.
4. European Commission (EC). Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, Commission regulation 2006; (1881): [19 screen]. Available from: URL: https://www.fsai.ie/upload_edFiles/Consol_Reg1881_2006.pdf Accessed Nov 24 2017.
 5. Agency for toxic substances and disease registry. Minimal risk levels (MRLs), ATSDR Minimal risk levels 2017 jun; (1): [16 screen]. Available from: URL: https://www.atsdr.cdc.gov/mrls/pdfs/atsdr_mrls.pdf Accessed Nov 24 2017.
 6. Rose M, White S, Macarthur R, Petch RG, Holland J, Damant AP. Single-laboratory validation of a GC/MS method for the determination of 27 polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in oils and fats. *Food Addit Contam.* 2007;24(6):635–51.
 7. Ishizaki A, Saito K, Hanioka N, Narimatsu S, Kataoka H. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in food samples by automated on-line in-tube solid-phase microextraction coupled with high-performance liquid chromatography-fluorescence detection. *J Chromatogr A.* 2010;1217(35):5555–63.
 8. Lund M, Duedahl-Olesen L, Christensen JH. Extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked fish using pressurized liquid extraction with integrated fat removal. *Talanta.* 2009;79(1):10–5.
 9. Schlemitz S, Pfannhauser W. Supercritical fluid extraction of mononitrated polycyclic aromatic hydrocarbons from tea correlation with the PAH concentration. *Eur Food Res Technol.* 1997;205(4):305–10.
 10. Girelli AM, Apriceno A, Tarola A, Tortora F. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Tea Infusions Samples by High Performance Liquid Chromatography with Fluorimetric Detection. *J. Food Qual.* 2017;2017:1–8.
 11. Alomirah H, Al-Zenki S, Al-Hooti S, Zaghloul S, Sawaya W, Ahmed N, et al. Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods. *Food Control.* 2011;22(12):2028–35.
 12. Surma M, Sadowska-Rociek A, Cieřlik E. The application of d-SPE in the QuEChERS method for the determination of PAHs in food of animal origin with GC-MS detection. *Eur Food Res Technol.* 2014;238(6):1029–36.
 13. De Koning S, Janssen HG, Brinkman, UAT. Modern methods of sample preparation for GC analysis. *Chromatographia.* 2009;69:533–78.
 14. AOAC international. AOAC guidelines for single laboratory validation of chemical methods for dietary supplements and botanicals, AOACI document 2002 Jan; (1): [38 screen]. Available from: URL: https://www.aoac.org/aoac_prod_imis/AOAC_Docs/StandardsDevelopment/SLV_Guidelines_Dietary_Supplements.pdf Accessed Jan 31, 2017.
 15. Reinik M, Tamme T, Roasto M, Juhkam K, Tenno T, Kiis A. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in meat products and estimated PAH intake by children and the general population in Estonia. *Food Addit Contam.* 2007;24(4):429–37.
 16. จิตผกา สันทัดรบ, ทองสุข ปายะนันท์, กนกพร อธิสุข, การพัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์เบนโซไพรีนในเนื้อสัตว์ปิ้งย่าง. ว. กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ 2552;51:177–86.
 17. Faust R, Ridge O. Formal toxicity summary for naphthalene, Toxicity profiles, Biomedical and environmental information analysis section [Internet]. Tennessee: Health and safety research Division; 1993 - [cited 2017 Nov 24]. Available from: http://www.thehealthcareblog.com/the_health_care_blog/.
 18. Erhunmwunse N, Ainerua M, Ogboghodo I, Biose E. Effects of barbecuing on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish (*Pseudotolithus elongatus* and *Clarias gariepinus*). *J Nat Sci Res.* 2016;6:23–7.

การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับฟังก์ชันทดสอบแบบยูนิเทชัน

Performance Comparison and Analysis of Crossover Techniques in Genetic Algorithms for the Function of Unitation Problems

ดิลก พุ่มสุวรรณ¹, สุนิสา ริมเจริญ²

Dilok Pumsuwan¹, Sunisa Rimcharoen²

Received: 26 June 2017; Accepted: 21 December 2017

บทคัดย่อ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีแก้ปัญหาโดยเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ ขั้นตอนวิธีนี้จะสร้างตัวเลือกของคำตอบจำนวนมาก และนำตัวเลือกเหล่านั้นมาผสมกันเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น วิธีการไขว้เปลี่ยนเป็นหัวใจสำคัญของการผสมสร้างคำตอบใหม่ขึ้นมา งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวัดประสิทธิภาพของวิธีการไขว้เปลี่ยนรูปแบบต่าง ๆ สำหรับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยการไขว้เปลี่ยนที่นำมาเปรียบเทียบมีทั้งหมด 4 วิธี คือ การไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียว การไขว้เปลี่ยนแบบสองจุด การไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูป และการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวน ผู้วิจัยได้ทำการทดลองกับปัญหาในกลุ่มที่เป็นฟังก์ชันยูนิเทชัน เช่น ปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด ปัญหาบิตศูนย์มากที่สุด ปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม และปัญหากับดัก จากผลการทดลองพบว่า การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนสามารถหาคำตอบของปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้กระทั่งปัญหากับดัก ที่เป็นปัญหายากและมีการหลอก ประเด็นที่น่าสนใจที่ค้นพบจากการทดลองนี้ก็คือ ถึงแม้ว่าการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนจะมีประสิทธิภาพที่ดี แต่เมื่อนำไปใช้กับปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม พบว่าวิธีนี้ไม่ได้เป็นวิธีที่ดีที่สุด แต่ในขณะที่ยังการไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูปที่หาคำตอบได้ผลลัพธ์ต่ำกว่าในปัญหาอื่น กลับได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า บทความวิจัยนี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้การนับจำนวนครั้งในการทำการไขว้เปลี่ยนที่ทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมในการหาคำตอบของวิธีการไขว้เปลี่ยนได้

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม การไขว้เปลี่ยน ฟังก์ชันยูนิเทชัน การวิเคราะห์พฤติกรรม

Abstract

A genetic algorithm is an optimization algorithm that imitates the process of natural evolution. The algorithm generates a pool of candidate solutions and evolves them by mixing their chromosomes together. A crossover is a key element of generating new candidates. This research, therefore, measures the performance of four crossover techniques, namely the one-point crossover, two-point crossover, uniform crossover and ring crossover. The benchmark problems used in the experiments are the functions of unitation. We employ the one-max, zero-max, random-max and trap problems to test the four crossover techniques. The experiments show that the ring crossover can achieve an optimal solution even in the trap problem, which is hard and deceptive. One interesting issue we have discovered is that although the ring crossover has shown outstanding efficiency in solving the hard problem, it failed to solve the random-max problem. However, the uniform crossover that is fail to solve the harder ones can reach the optimal solution of the random-max problem. We also present a behavior analysis of the crossover techniques by counting the number of crossover successes in each generation that can explain why one can achieve the optimal solution while the others cannot.

Keywords: Genetic algorithm, Crossover, Functions of unitation, Behavior analysis

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยบูรพา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Master degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Informatics, Burapha university, Muang District, Chonburi 20131, Thailand.

บทนำ

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm : GA)¹ เป็นขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบของปัญหา จากการสุ่มคำตอบขึ้นมาและให้ค่าคะแนนแก่คำตอบเหล่านั้น จากนั้นก็ใช้การดำเนินการทางพันธุกรรม ทำการผสมคำตอบที่มีอยู่ให้เกิดเป็นคำตอบใหม่ที่มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการมากขึ้น ซึ่งขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีกระบวนการหลายขั้นตอนด้วยกัน หนึ่งในนั้นก็คือ การไขว้เปลี่ยน (Crossover)

การไขว้เปลี่ยนถือเป็นขั้นตอนหนึ่งที่เป็นปัจจัยสำคัญในการประสบความสำเร็จของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งการไขว้เปลี่ยนเป็นขั้นตอนที่นำโครโมโซมคำตอบมาผสมกันเพื่อสร้างคำตอบใหม่ให้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ต้องการมากขึ้น ซึ่งเทคนิคของการไขว้เปลี่ยนนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน การเลือกเทคนิคการไขว้เปลี่ยนเพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของขั้นตอนวิธี ซึ่งการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียว (One-point crossover) เป็นการไขว้เปลี่ยนที่เกิดขึ้นเป็นเทคนิคแรก ๆ และเป็นแนวคิดให้กับเทคนิคการไขว้เปลี่ยนหลายรูปแบบซึ่งเกิดขึ้นภายหลัง

ในงานวิจัยของ Kaya Y.² ได้นำเสนอเทคนิคการไขว้เปลี่ยนรูปแบบใหม่ที่เรียกว่าการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนซึ่งเป็นการไขว้เปลี่ยนที่มีรูปแบบต่างออกไปจากรูปแบบของการไขว้ที่มีอยู่ ในงานวิจัยดังกล่าวได้นำเทคนิคดังกล่าวไปทดสอบกับปัญหาแบบจำนวนจริง (Real code) และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับเทคนิคการไขว้เปลี่ยนรูปแบบอื่น ๆ ทำให้เห็นว่าเทคนิคการไขว้เปลี่ยนวงแหวนดีกว่าเทคนิคอื่นและด้อยกว่าอย่างไร ซึ่งการทดลองของการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนในงานวิจัยดังกล่าวได้นำเสนอ ได้ทดสอบกับปัญหาแบบจำนวนจริงเท่านั้นและยังไม่ได้ทำการทดสอบกับปัญหารูปแบบอื่น

ที่ผ่านมามีคนนำขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้ในงานหลากหลายด้าน แต่ในแง่ของการวิเคราะห์กระบวนการทำงานของตัวขั้นตอนวิธีเอง ยังมีงานที่ศึกษาเรื่องนี้ค่อนข้างจำกัดอยู่ในวงแคบ งานวิจัยนี้เป็นงานหนึ่งที่สนใจศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งที่ผ่านมาในงานวิจัยของ Deep K.³ ได้ทำการศึกษารูปแบบการไขว้เปลี่ยนเช่นเดียวกัน แต่งานของเขาศึกษาเฉพาะฟังก์ชันค่าเหมาะสมสุด (Optimization) ที่เป็นจำนวนจริง และในงานวิจัยของ Poon PW.⁴ ได้เปรียบเทียบเทคนิคการไขว้เปลี่ยนเพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมกับปัญหา การหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด เป็นหนึ่งในงานวิจัยที่ทำให้เห็นถึงความสำคัญและประโยชน์จากการเปรียบเทียบได้เป็นอย่างดี และในงานวิจัยของ Herrera F.⁵ ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพ

ในการไขว้เปลี่ยนโดยผสมผสานระหว่างเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีอยู่ และทดลองกับปัญหาในรูปแบบของจำนวนจริง และในงานวิจัยของ Pavai G.⁶ ได้ทำการสำรวจเทคนิคการไขว้เปลี่ยนและได้นำเสนอออกมาในรูปแบบของการจำแนกประเภท ทำให้สามารถเลือกใช้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่ตรงกับรูปแบบของปัญหาได้

ในบทความวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการไขว้เปลี่ยนของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกับกลุ่มปัญหา Functions of unitation⁷ ซึ่งคือ กลุ่มฟังก์ชันที่ทำการประเมินค่าความเหมาะสมจากรูปแบบของโครโมโซม โดยที่โครโมโซมคำตอบนั้นไม่ต้องทำการถอดรหัสออกมาเป็นค่าของโครโมโซม แต่จะคำนวณค่าความเหมาะสมจากตัวโครโมโซมโดยตรง โดยการดูจากบิตหรือรูปแบบของบิต บทความวิจัยนี้ได้นำปัญหาที่อยู่ภายใต้กลุ่มฟังก์ชันดังกล่าวมาทดลองทั้งหมด 4 ปัญหา ซึ่งเป็นปัญหาทดสอบมาตรฐาน (Benchmark problem) คือ ปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด ปัญหาบิตศูนย์มากที่สุด ปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม และปัญหากับดักโดยเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่นำมาทดสอบกับปัญหามีทั้งหมด 4 วิธี และทำการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพและพฤติกรรมการทำงานของเทคนิคแต่ละแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจและเลือกใช้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่เหมาะสมกับปัญหาได้ดียิ่งขึ้น

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม¹ เป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหา ที่อาศัยแนวคิดในการคัดเลือกและวิวัฒนาการทางธรรมชาติเพื่อให้ได้มาซึ่งสิ่งที่เหมาะสมที่สุด โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการสร้างประชากร ซึ่งคือรูปแบบของคำตอบที่เป็นไปได้ (Candidate solution) ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง จากนั้นทำการคัดเลือกประชากรคำตอบที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสม (Fitness value) และนำประชากรคำตอบที่เลือกมาได้ไปผ่านขั้นตอนของการผสมพันธุ์และการกลายพันธุ์ ทำให้ได้ออกมาเป็นประชากรคำตอบรุ่นใหม่ที่มีความหลากหลายและมีคุณภาพดีขึ้น โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีขั้นตอนการทำงานดัง Figure 1 และมีคำอธิบายการทำงานในแต่ละขั้นตอนดังนี้

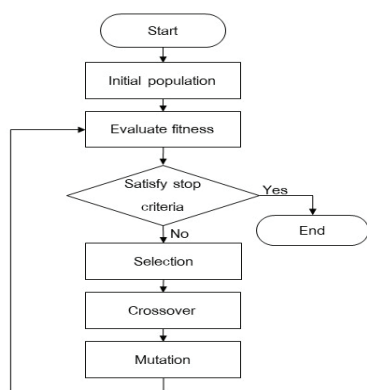


Figure 1 Procedure of a genetic algorithm

1. การสร้างประชากรต้นกำเนิด

เป็นขั้นตอนในการสร้างประชากรคำตอบกลุ่มแรก โดยประชากรคำตอบจะถูกสร้างจากการสุ่มคำตอบที่อยู่ในขอบเขตของปัญหาขึ้นมา และทำการเข้ารหัสคำตอบให้อยู่ในรูปแบบของสายอักขระที่ประกอบด้วย 0 และ 1

2. การประเมินค่าความเหมาะสม

เป็นการประเมินประชากรคำตอบแต่ละตัวว่ามีคุณภาพดีมากน้อยเพียงใด ซึ่งวิธีการประเมินนั้นก็จะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหาที่ต่างกันออกไป โดยการประเมินจะให้เป็นคะแนนความเหมาะสม

3. การคัดเลือกประชากรต้นกำเนิด

เป็นการคัดเลือกประชากรคำตอบเพื่อนำไปเป็นประชากรต้นกำเนิดในรอบการทำงานถัดไป (Generation) การคัดเลือกจะอาศัยค่าความเหมาะสมของประชากรคำตอบช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งประชากรที่มีค่าความเหมาะสมสูงก็จะมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่าประชากรตัวที่มีค่าความเหมาะสมต่ำ

4. การไขว้เปลี่ยน

เป็นขั้นตอนที่นำประชากรต้นกำเนิดที่ผ่านการคัดเลือกมาผสมเป็นคำตอบใหม่ตามหลักของสิ่งมีชีวิตที่มีการผสมพันธุ์แล้วได้ลูกหลานที่มีความคล้ายคลึงกับพ่อแม่ ดังนั้นคำตอบที่ได้จากการทำการไขว้เปลี่ยนจะมีส่วนประกอบของประชากรต้นกำเนิดอยู่เสมอ โดยได้รับส่วนประกอบบางส่วนมาจากพ่อและบางส่วนจากแม่

5. การกลายพันธุ์

เป็นขั้นตอนในการเปลี่ยนรูปแบบโครโมโซมของประชากรคำตอบ โดยขั้นตอนนี้อาศัยแนวความคิดการวิวัฒนาการตามธรรมชาติที่เกิดความผิดปกติหรือมีความแตกต่างออกไปจากบรรพบุรุษดั้งเดิม ทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตรูปแบบใหม่

6. เงื่อนไขการหยุดการดำเนินงาน

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมนั้นจะมีกระบวนการที่ทำซ้ำขั้นตอนในการคัดเลือก ขั้นตอนในการไขว้เปลี่ยนและขั้นตอนในการกลายพันธุ์เพื่อวิวัฒนาการประชากรคำตอบรุ่นใหม่ ดังนั้นขั้นตอนวิธีจะจบการทำงานเมื่อพบคำตอบที่ต้องการหรือจำนวนครั้งในการทำงานครบตามที่ได้กำหนดเอาไว้

ขั้นตอนในการกลายพันธุ์เพื่อวิวัฒนาการประชากรคำตอบรุ่นใหม่ ดังนั้นขั้นตอนวิธีจะจบการทำงานเมื่อพบคำตอบที่ต้องการหรือจำนวนครั้งในการทำงานครบตามที่ได้กำหนดเอาไว้

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการไขว้เปลี่ยนในรูปแบบต่าง ๆ ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งในการทดลองประกอบไปด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การสร้างประชากรต้นกำเนิด

ในขั้นตอนของการสร้างประชากรต้นกำเนิดจะต้องมีการกำหนดจำนวนประชากรคำตอบ และกำหนดวิธีการเข้ารหัสคำตอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การเข้ารหัสแบบไบนารีที่มี 0 กับ 1 เป็นส่วนประกอบของโครโมโซมคำตอบ โดยวิธีการเข้ารหัสนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าความยาวของโครโมโซมหรือขนาดของคำตอบในปัญหา (Problem size) จากนั้นทำการสร้างโครโมโซมคำตอบแบบไบนารีโดยการสุ่มค่า 0 หรือ 1 มาเป็นองค์ประกอบในโครโมโซมคำตอบที่มีความยาวตามที่กำหนดเอาไว้

2. การประเมินค่าความเหมาะสม

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองกับกลุ่มของปัญหา Function of unitation ที่เป็นปัญหาทดสอบมาตรฐานทั้งหมด 4 ปัญหาด้วยกัน ซึ่งมีทั้งปัญหาง่ายที่นิยมใช้สำหรับการทดสอบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเช่นปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด และปัญหาทดสอบที่มีความยากอย่างปัญหากับดักที่ทำให้ขั้นตอนวิธีต้องใช้ทรัพยากรในการหาคำตอบของปัญหาเป็นจำนวนมากและไม่พบคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งทั้ง 4 ปัญหาวิธีประเมินค่าความเหมาะสมดังนี้

ปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด (One-max problem)⁸ ปัญหานี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาพร้อมกับตัวขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งปัญหาจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาง่ายและมักจะเป็นปัญหาทดสอบเริ่มต้นในกลุ่มของปัญหา Function of unitation โดยค่าความเหมาะสมของประชากรจะคำนวณจากการนับจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 โดยปัญหานี้จะมีคำตอบที่ดีที่สุดคือทุกบิตของโครโมโซมคำตอบจะมีค่าเป็น 1 ตัวอย่างการคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซม 1011101 จะมีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 5 ซึ่งเป็นจำนวนของบิตที่มีค่าเป็น 1 ในโครโมโซมคำตอบ

ปัญหาบิตศูนย์มากที่สุด (Zero-max problem) ปัญหานี้จัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาที่ง่ายคล้ายกับปัญหาคำนวณบิตหนึ่งมากที่สุด ต่างกันตรงที่ปัญหานี้จะให้ค่าความเหมาะสมจากการนับจำนวนบิตในโครโมโซมที่เป็นบิต 0 แทน ดังนั้นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานี้ก็คือ ทุกบิตในโครโมโซมมีค่าเป็น 0

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเหมาะสม เช่น 100100 มีค่าความเหมาะสมเท่ากับ 4 เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกทดสอบกับทั้งปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุดและบิตศูนย์มากที่สุด เนื่องจากการทดสอบว่าขั้นตอนวิธีไม่ได้ล่าเอียงไปทาง 0 หรือ 1 แต่สามารถหาคำตอบได้ทั้งสองกรณี

ปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม (Random-max problem)⁹ ปัญหานี้จะสุ่มคำตอบที่ดีที่สุดขึ้นมาเป็นเป้าหมาย โดยโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาจะประกอบไปด้วยบิต 0 และ 1 และค่าความเหมาะสมก็จะคำนวณจากจำนวนบิตที่ตรงกับเป้าหมายที่กำหนดขึ้น ดังนั้นคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานี้ก็คือทุกบิตในโครโมโซม เหมือนกับคำตอบที่ถูกสร้างขึ้นมา ยกตัวอย่างเช่นคำตอบที่ดีที่สุดคือ 10110 และโครโมโซมคำตอบที่ขั้นตอนวิธีสร้างขึ้นมามีค่าคือ 00101 ค่าความเหมาะสมคือ 2 นั่นคือจำนวนของตำแหน่งที่มีความเหมือนกับคำตอบที่ดีที่สุด (ตำแหน่งที่ 2 กับ 3) เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกปัญหานี้มาใช้ในการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบการหาคำตอบของโครโมโซมที่ประกอบไปด้วยบิต 0 และ 1 ปัญหานี้ยากกว่าปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด และปัญหาบิตศูนย์มากที่สุด แต่ปัญหานี้ไม่ได้มีการหลอกเหมือนกับปัญหากับดักที่จะกล่าวถึงต่อไป

ปัญหากับดัก (Trap problem)¹⁰ เป็นปัญหาที่มีความยากเนื่องจากการคำนวณค่าความเหมาะสมที่มีการหลอก โดยการให้คะแนนความเหมาะสมจะให้คะแนนมากสำหรับโครโมโซมที่มีบิต 0 มาก แต่ที่จริงแล้วคำตอบที่ดีที่สุดคือโครโมโซมที่ทุกบิตเป็น 1 ทำให้ขั้นตอนวิธีผลิตประชากรคำตอบที่มีหน้าตาไม่ใกล้เคียงคำตอบที่ต้องการ การประเมินค่าความเหมาะสมของปัญหานี้จะคำนวณตามขนาดของกับดัก เช่น ถ้าขนาดของกับดักเป็น 3 จะคำนวณค่าของโครโมโซมที่ละ 3 บิต โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าของขนาดดังกล่าวไว้ที่ 3 และ 5 เมื่อแบ่งโครโมโซมคำตอบออกเป็นขนาดตามที่กำหนดไว้แล้ว ก็จะนำมาประเมินค่าความเหมาะสม ซึ่งโครโมโซมที่ถูกแบ่งออกมาจะมีการให้ค่าความเหมาะสมตาม Table 1 และ 2

Table 1 Fitness value of trap size 3

Fitness	Chromosome
3	111
2	000
1	001, 010, 100
0	110, 101, 011

Table 2 Fitness value of trap size 5

Fitness	Chromosome
5	11111
4	00000
3	00001, 00010, 00100, 01000, 10000
2	11000, 10100, 10010, 10001, 01100, 01010, 01001, 00110, 00101, 00011
1	11100, 11010, 11001, 10110, 10101, 10011, 01110, 01101, 01011, 00111
0	10111, 11011, 11101, 01111, 11110

จากข้อมูลใน Table 1 และ 2 การคำนวณค่าความเหมาะสมของโครโมโซมจะพิจารณาที่ละกลุ่มบิต แล้วนำค่าความเหมาะสมที่ได้มารวมกันก็จะได้เป็นค่าความเหมาะสมของโครโมโซมคำตอบนั้น เช่นปัญหากับดักขนาด 3 มีโครโมโซมคำตอบเป็น 110100111 ค่าความเหมาะสมจะได้เป็น $0+1+3 = 4$ เป็นต้น

3. การคัดเลือกประชากรต้นกำเนิด

งานวิจัยนี้ใช้วิธีในการคัดเลือกประชากรต้นกำเนิดที่เรียกว่า การคัดเลือกแบบการแข่งขัน (Tournament selection)¹¹ ซึ่งเป็นการหาโครโมโซมต้นกำเนิดโดยสุ่มการเลือกโครโมโซมของคำตอบจากประชากรคำตอบที่มีทั้งหมดขึ้นมาจำนวนหนึ่งตามขนาดที่กำหนดไว้ (Tournament size) แล้วเลือกโครโมโซมที่ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจากโครโมโซมที่สุ่มหยิบขึ้นมา

4. การไขว้เปลี่ยน

ในงานวิจัยนี้ได้นำวิธีการไขว้เปลี่ยนทั้งหมด 4 วิธี ซึ่งเป็นเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่สามารถใช้กับกลุ่มของ Function of unitation ได้ โดยเทคนิคมีทั้งแบบดั้งเดิมอย่างการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียวและเทคนิคที่เกิดขึ้นภายหลังอย่างเทคนิคการไขว้เปลี่ยนวงแหวน มาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 วิธีมีดังต่อไปนี้

การไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียว (One-point crossover)² เป็นการไขว้เปลี่ยนที่มีการสุ่มตำแหน่งภายในโครโมโซมขึ้นมาหนึ่งจุด และทำการแลกเปลี่ยนบิตของโครโมโซมที่อยู่หลังตำแหน่งที่ได้ทำการสุ่มขึ้นมา ดังแสดงใน Figure 2

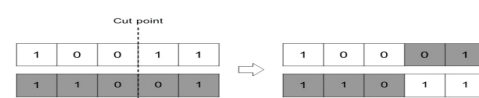


Figure 2 One-point crossover

การไขว้เปลี่ยนแบบสองจุด (Two-point crossover)² เป็นการไขว้เปลี่ยนที่มีการสุ่มตำแหน่งในโครโมโซมขึ้นมาสองตำแหน่ง และทำการแลกเปลี่ยนบิตของโครโมโซมที่อยู่ระหว่างตำแหน่งทั้งสองที่สุ่มขึ้นมา ดังแสดงใน Figure 3

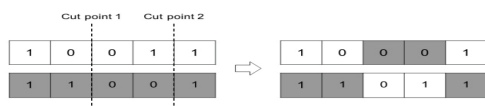


Figure 3 Two-point crossover

การไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูป (Uniform crossover)¹² เป็นการไขว้เปลี่ยนที่ในแต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะมีโอกาส 50% ในการที่จะได้บิตของพ่อหรือแม่มา ดังแสดงใน Figure 4



Figure 4 Uniform crossover

การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวน (Ring crossover)² เป็นการไขว้เปลี่ยนที่นำโครโมโซมมาประกบเข้าด้วยกันจนเกิดเป็นวงกลม จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งในวงกลมนั้นขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดตัดแบ่งระหว่างวงกลมนั้นออกเป็นสองส่วนที่เท่ากัน สองส่วนที่ถูกแบ่งออกมาก็คือโครโมโซมลูกหลานที่ได้จากการไขว้เปลี่ยน โดยโครโมโซมคำตอบตัวหนึ่งสร้างในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและอีกตัวหนึ่งจะสร้างในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังแสดงใน Figure 5

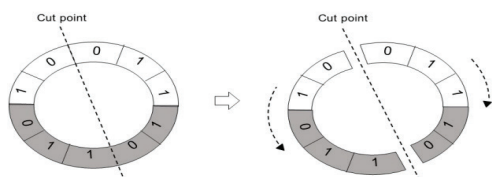


Figure 5 Ring crossover

5. การกลายพันธุ์

งานวิจัยนี้เลือกใช้การกลายพันธุ์แบบ 1 บิต (One-bitwise mutation) ซึ่งเป็นการเลือกกลายพันธุ์ตำแหน่งบิตเพียงหนึ่งตำแหน่งเท่านั้น โดยตำแหน่งที่ทำการกลายพันธุ์จะถูกเลือกจากการสุ่ม แล้วเปลี่ยนบิตจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0

6. เงื่อนไขการหยุดการดำเนินงาน

ในการทดลองของงานวิจัยนี้ ขั้นตอนวิธีจะหยุดการทำงานเมื่อสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาได้ หรือจำนวนรุ่นครบตามจำนวนสูงสุดที่ได้กำหนดไว้

ในการทดลองของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะต้องมีการกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ก่อนทำการทดลอง โดยทุกปัญหาทดสอบและทุกเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่นำมาทดลองจะถูกวัดประสิทธิภาพภายใต้พารามิเตอร์ที่เท่ากันทั้งหมด เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องกำหนดก่อนทำการทดลองแสดงดัง Table 3

Table 3 Parameter settings

Parameter	Value
Chromosome length	30, 45, 60
Population size	30
Tournament size	4
Crossover rate	0.8
Mutation rate	0.01
Maximum generation	500
Number of runs	100

จากค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดใน Table 3 ในการทดลองกับปัญหาต่าง ๆ จะมีการกำหนดความยาวของโครโมโซมคำตอบหรือขนาดของปัญหาเป็น 30, 45 และ 60 บิต โดยมีจำนวนของประชากรคำตอบ คือ 30 และกำหนดให้ค่า Crossover rate และ Mutation rate คือ 0.8 และ 0.01 ในแต่ละรุ่นได้ทำการกำหนดจำนวนรอบสูงสุดที่ใช้ในการวิวัฒนาการคำตอบ คือ 500 และจะทำการทดลองซ้ำ 100 รอบ เพื่อนำเอาผลลัพธ์หรือจำนวนครั้งที่ใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสมมาหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง เพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ของการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 แบบ บทความนี้ได้แสดงผลลัพธ์โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การวัดทรัพยากรที่ใช้ในการหาคำตอบโดยพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness evaluation) และ ค่าความเหมาะสมที่ได้ รวมทั้งการความเร็วในการเข้าสู่คำตอบโดยดูจากรุ่นของประชากรกับค่าความเหมาะสมที่ได้ในแต่ละรุ่น ซึ่งผลการทดลองแสดงใน Table 4

Table 4 Experimental results

Crossover Problem	One-point	Two-point	Uniform	Ring
One max (30 bits)	100%	100%	100%	100%
	4617.9	5193.9	1874.4	328.2
One max (45 bits)	79%	79%	95%	100%
	10199.1	10921.8	5568.6	422.7
One max (60 bits)	37%	36%	66%	100%
	13591.2	13804.2	11122.5	528.3
Zero max (30 bits)	100%	100%	100%	100%
	5037.0	5334.3	1953.3	316.2
Zero max (45 bits)	77%	76%	96%	100%
	11189.1	10515.3	5563.8	420.6
Zero max (60 bits)	40%	40%	69%	100%
	13692.0	13608.6	10649.1	540.9
Random max (30 bits)	100%	100%	100%	0%
	5400.0	4608.0	1808.7	15000.0
Random max (45 bits)	81%	79%	95%	0%
	10798.2	10450.2	5646.9	15000.0
Random max (60 bits)	36%	35%	72%	0%
	13952.7	13845.9	10256.7	15000.0
Trap (size 3) (30 bits)	1%	1%	2%	100%
	14853.0	14854.2	14716.5	427.2
Trap (size 3) (45 bits)	0%	0%	0%	100%
	15000.0	15000.0	15000.0	587.1
Trap (size 3) (60 bits)	0%	0%	0%	100%
	15000.0	15000.0	15000.0	783.9
Trap (size 5) (30 bits)	0%	0%	0%	61%
	15000.0	15000.0	15000.0	6315.0
Trap (size 5) (45 bits)	0%	0%	0%	51%
	15000.0	15000.0	15000.0	7889.1
Trap (size 5) (60 bits)	0%	0%	0%	47%
	15000.0	15000.0	15000.0	8644.2

จาก Table 4 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการหาคำตอบของปัญหา ด้วยเทคนิคการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 แบบภายใต้พารามิเตอร์ที่กำหนด ซึ่งค่าที่แสดงในตารางแต่ละบรรทัดเป็นผลการทดลองของแต่ละปัญหาทดสอบ โดยใช้วิธีการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 รูปแบบ ผลการทดลองแต่ละชุดแสดงผลลัพธ์เป็นร้อยละที่เทคนิคการไขว้เปลี่ยนสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

และแสดงจำนวนครั้งเฉลี่ยในการประเมินค่าความเหมาะสม ยกตัวอย่างในปัญหา One max ที่มีความยาวโครโมโซม 30 บิต โดยการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียวมีจำนวนครั้งที่เจอคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal) ถึง 100% นั้นหมายความว่าจากจำนวนครั้งในการทดลองทั้งหมดเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียวสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ทุกครั้ง และในการทดลอง

ทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งที่ใช้ประเมินค่าเหมาะสมอยู่ที่ 4617.9 ครั้ง (จำนวนครั้งยิ่งน้อยยิ่งดี เนื่องจากขั้นตอนวิธียิ่งพบคำตอบเร็ว) ผลลัพธ์ในตารางทั้งหมดทำให้เห็นว่าในปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุดและบิตศูนย์มากที่สุดในขนาด 30, 45 และ 60 บิต เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการหาคำตอบของสองปัญหานี้คือ การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนที่มีจำนวนครั้งในการเจอคำตอบถึง 100% ทั้งหมด และมีจำนวนครั้งในการประเมินค่าความเหมาะสมที่น้อยที่สุดจากเทคนิคการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 เทคนิค ส่วนในปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดคือ การไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูป ที่มีจำนวนครั้งในการเจอคำตอบที่ดีที่สุดสูงกว่าเทคนิคอื่นและมีจำนวนครั้งในการประเมินค่าความเหมาะสมน้อยที่สุด และในปัญหาคับดักที่ขนาดทับเท่ากับ 3 และ 5 เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดคือ การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวน ซึ่งในเทคนิคการไขว้เปลี่ยนอีก 3 แบบนั้นไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาคับดักที่มีขนาดทับเท่ากับ 5 ได้เลย แต่การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนสามารถเจอคำตอบของปัญหาได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งทำให้ในปัญหาคับดักการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนจึงเป็นเทคนิคที่ดีที่สุดจากเทคนิคการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 วิธี

วิเคราะห์และวิจารณ์

จากการทดลองทำให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อบอกถึงประสิทธิภาพของการไขว้เปลี่ยนในแต่ละรูปแบบ ทำให้รู้ถึงจุดเด่นและจุดด้อยต่าง ๆ ของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 วิธี จุดเด่นที่เห็นได้ชัดคือ ความสามารถในการหาคำตอบของปัญหาคับดักด้วยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนนั้น สามารถหาคำตอบได้โดยใช้ทรัพยากรน้อยกว่าการไขว้เปลี่ยนแบบอื่น ๆ ในจำนวนที่ต่างกันเป็นอย่างมากหรือกล่าวอีกแบบหนึ่งว่าสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าวิธีการไขว้เปลี่ยนอื่นนั่นเอง นอกจากนี้ปัญหาคับดักที่มีการให้คะแนนความเหมาะสมที่หลอกขั้นตอนวิธีให้หาคำตอบไปในทางที่ผิด การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนก็ยังสามารถหาคำตอบได้โดยใช้ทรัพยากรที่น้อยกว่าการไขว้เปลี่ยนแบบอื่น แต่การไขว้เปลี่ยน

แบบวงแหวนนั้นก็ยังมีจุดด้อยอยู่เช่นกัน ในปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่ม การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนใช้ทรัพยากรเป็นอย่างมาก ซึ่งมากกว่าทุกวิธีการไขว้เปลี่ยนที่ได้ทำการทดลองทั้งหมดและคำตอบที่ได้มาก็ยังไม่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดแต่ในทางกลับกันปัญหาบิตสูงสุดจากสุ่ม สามารถถูกแก้ไขได้ด้วยวิธีการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียว การไขว้เปลี่ยนแบบสองจุด และการไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูป ซึ่งวิธีการไขว้เปลี่ยนที่ดีที่สุดที่ใช้กับปัญหาบิตสูงสุดที่เกิดจากการสุ่มก็คือ การไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูปที่มีการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุดนั่นเอง

บทความวิจัยนี้ยังได้นำเสนอส่วนของการวิเคราะห์พฤติกรรมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ที่ใช้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนทั้ง 4 วิธีในปัญหาต่าง ๆ ที่มีความแตกต่างของประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ต่างกันออกไป โดยในงานวิจัยของ Zhenhua Li¹³ มีการนับจำนวนของความผิดพลาดในการไขว้เปลี่ยน โดยผู้วิจัยได้นับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่การไขว้เปลี่ยนทำให้ค่าความเหมาะสมน้อยลง (Fail: F) ในงานวิจัยดังกล่าวได้ใช้ประโยชน์จากการนับตำแหน่งในโครโมโซมที่เมื่อไขว้เปลี่ยนที่ตำแหน่งนั้นแล้วค่าความเหมาะสมแย่ลง ในการหลีกเลี่ยงการไขว้เปลี่ยนในตำแหน่งนั้น

ในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงได้นำแนวความคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมในการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนรูปแบบต่าง ๆ โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากที่ Zhenhua Li¹³ ได้นำเสนอไว้ โดยในงานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยได้สังเกตว่าในขั้นตอนการไขว้เปลี่ยนระหว่างสายโครโมโซมคำตอบ 1 ครั้งจะทำให้เกิดเหตุการณ์ทั้งหมด 6 แบบคือ (ค่าความเหมาะสมของโครโมโซมคำตอบมากขึ้นทั้งสองสาย: SS) (ค่าความเหมาะสมมากขึ้นหนึ่งสายและน้อยลงหนึ่งสาย: SF) (ค่าความเหมาะสมมากขึ้นหนึ่งสายและไม่เปลี่ยนแปลงหนึ่งสาย: SU) (ค่าความเหมาะสมน้อยลงทั้งสองสาย: FF) (ค่าความเหมาะสมน้อยลงหนึ่งสายและไม่มีการเปลี่ยนแปลงหนึ่งสาย: FU) และ (ค่าความเหมาะสมไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งสองสาย: UU) ผู้วิจัยได้นับจำนวนครั้งที่เกิดเหตุการณ์ทั้ง 6 เหตุการณ์ในทุก ๆ ปัญหาที่ขนาด 30 บิตภายใต้พารามิเตอร์ที่กำหนดไว้เบื้องต้นแล้วนำมาคิดเป็นร้อยละ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้แสดงใน Table 5

Table 5 Percent of crossover success, failure and unchange

Problem		One-max	Zero-max	Random-max	Trap (size 3)	Trap (size 5)
Crossover						
One Point	SS	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
	SF	48.27%	45.58%	49.77%	48.85%	47.80%
	SU	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	FF	0.00%	0.00%	0.00%	0.56%	0.17%
	FU	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%
	UU	51.73%	54.42%	50.23%	50.55%	52.02%
Two Point	SS	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
	SF	51.14%	49.84%	48.26%	51.27%	49.94%
	SU	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	FF	0.00%	0.00%	0.00%	0.57%	0.15%
	FU	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%
	UU	48.86%	50.16%	51.74%	48.12%	49.90%
Uniform	SS	0.00%	0.00%	0.00%	0.03%	0.01%
	SF	52.57%	52.76%	52.86%	49.59%	50.17%
	SU	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%
	FF	0.00%	0.00%	0.00%	1.21%	0.42%
	FU	0.00%	0.00%	0.00%	0.13%	0.06%
	UU	47.42%	47.24%	47.14%	49.03%	49.34%
Ring	SS	0.00%	0%	1.38%	1.04%	0.06%
	SF	61.80%	62.24%	15.98%	37.98%	58.45%
	SU	0.00%	0.00%	1.28%	0.62%	0.02%
	FF	0.00%	0.00%	64.19%	42.12%	3.75%
	FU	0.00%	0.00%	11.99%	6.13%	0.82%
	UU	38.20%	37.76%	5.18%	12.11%	36.90%

จาก Table 5 ทำให้เห็นพฤติกรรมของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแต่ละแบบที่ปรากฏในปัญหาต่าง ๆ ค่าเปอร์เซ็นต์ที่แสดงในตารางเป็นร้อยละของจำนวนครั้งที่เกิดการไขว้เปลี่ยนทั้ง 6 เหตุการณ์ ยกตัวอย่างในปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด โดยการไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียวเกิดเหตุการณ์ที่เมื่อทำการไขว้เปลี่ยนแล้วค่าความเหมาะสมของโครโมโซมคำตอบมากขึ้นทั้งสองสาย (SS) 0.00% นั้นหมายความว่าในจำนวนครั้งที่ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจาก 6 เหตุการณ์ การไขว้เปลี่ยนแบบจุดเดียวแทบจะไม่เกิดเหตุการณ์ที่ทำให้โครโมโซมคำตอบมีค่าความเหมาะสมที่มากขึ้นทั้งสองเส้น แต่เหตุการณ์ที่ทำให้โครโมโซมคำตอบมีค่าความเหมาะสมที่มากขึ้นและน้อยลงอย่างละหนึ่งสายเกิดขึ้นถึง 48.27% ส่วนที่ผู้วิจัยได้ทำการเน้นข้อความด้วย

สีพื้นสีเทาที่ต่างออกไป คือพฤติกรรมของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบของปัญหามากที่สุดจาก Table 4 ซึ่งพฤติกรรมของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่เกิดขึ้นทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์

และสรุปประเด็นสำคัญที่น่าสนใจออกมาได้ ดังนี้

ประเด็นที่ 1 ในปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุดและปัญหาบิตศูนย์มากที่สุด ซึ่งเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนนั้นมีประสิทธิภาพมากที่สุด เนื่องจากเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนนั้นมีจำนวนครั้งในเหตุการณ์ที่ไขว้เปลี่ยนแล้วทำให้ค่าความเหมาะสมมากขึ้นและน้อยลง (SF) มากกว่าการไขว้เปลี่ยนวิธีอื่นนั้นหมายความว่า มีการผลิตคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นและน้อยลงในเวลาเดียวกัน ซึ่งถึงแม้ว่าจะมี

โครโมโซมหนึ่งที่ย่ลง แต่ในขั้นตอนการคัดเลือกของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมก็จะเลือกเอาโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากไปเป็นโครโมโซมต้นแบบในรุ่นถัดไป นั่นหมายความว่า การมีค่าของเหตุการณ์ดังกล่าวที่มาก โอกาสในการที่เข้าใกล้คำตอบก็มากตามไปด้วย นอกจากนี้ในปัญหาบิตหนึ่งสูงสุดและบิตศูนย์สูงสุดที่ใช้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนนั้นมีจำนวนของเหตุการณ์ที่ค่าเหมาะสมไม่เปลี่ยนแปลงของทั้งสองโครโมโซม (UU) ที่น้อยกว่าเทคนิคอื่น นั่นหมายความว่า การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนลดจำนวนครั้งที่ทำงานโดยไม่เกิดการเข้าใกล้คำตอบออกไปซึ่งเป็นอีกหนึ่งเหตุผลที่ทำให้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าเทคนิคอื่น

ประเด็นที่ 2 จาก Table 4 จะเห็นได้ว่าในปัญหาบิตคำตอบที่เกิดจากการสุ่มนั้นเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่น้อยที่สุดคือ การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวน ซึ่งใน Table 5 ทำให้เห็นถึงพฤติกรรมของการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนกับปัญหาบิตคำตอบที่เกิดจากการสุ่มที่ต่างออกไปจากเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบอื่นอย่างมาก ซึ่งจำนวนของเหตุการณ์ที่ทำการไขว้เปลี่ยนแล้วทำให้เกิดค่าความเหมาะสมที่น้อยลงทั้งสองโครโมโซม (FF) นั้นมีจำนวนที่ค่อนข้างมาก นั่นหมายถึงการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนนั้นผลิตโครโมโซมที่ไม่เข้าใกล้คำตอบของปัญหาเลย ซึ่งเป็นเหตุให้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาได้เลยและใช้จำนวนครั้งในการประเมินค่าความเหมาะสมจนถึงจำนวนสูงสุดที่ได้กำหนดเอาไว้

ประเด็นที่ 3 ในปัญหากับดัก เทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดคือ เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวน โดยปัญหากับดักนี้จะมีการประเมินค่าความเหมาะสมที่แตกต่างจากปัญหาอื่นที่จะหลอกให้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมสร้างโครโมโซมที่มีหน้าตาเป็นบิต 0 เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหัวใจความสำเร็จของการพบคำตอบของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนไม่ได้ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ที่โครโมโซมทำการไขว้เปลี่ยนแล้วมีค่าความเหมาะสมที่ดีขึ้นและย่ลงในเวลาเดียวกัน (SF) เนื่องจากค่าความเหมาะสมที่มากขึ้นอาจเกิดจากโครโมโซมที่มีจำนวน 0 เพิ่มมากขึ้นด้วยส่งผลให้จำนวนครั้งของการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวไม่ได้เป็นปัจจัยในความสำเร็จของการหาคำตอบในปัญหากับดักนี้ แต่สิ่งที่น่าสนใจคือ จำนวนของเหตุการณ์ที่การไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนผลิตโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยลงทั้งสองโครโมโซม (FF) นั่นเป็นเหตุการณ์ที่อาจทำให้หน้าตาของโครโมโซมกลับมาเป็นบิตที่มีค่าเป็น 1 มากขึ้น

เพื่อสนับสนุนข้อสันนิษฐานในประเด็นที่ 3 ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์บางตัวเข้าไปเพื่อให้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนในปัญหากับดักขนาด 5 สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ถึง 100% ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเปลี่ยนเข้าไปในการทดลองเพิ่มเติมนี้ได้แก่ การเพิ่มจำนวนประชากรเป็น 150 และเพิ่มขนาด Tournament size เป็น 6 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ สามารถหาคำตอบได้ 100% และมีจำนวนครั้งในการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมเฉลี่ยอยู่ที่ 1515.0 ครั้ง และมีพฤติกรรมของเหตุการณ์ทั้ง 6 แบบคล้ายกับปัญหากับดักขนาด 3 โดยมีจำนวนของ SS: 0.32%, SF: 31.23%, SU: 0.08%, FF: 50.64%, FU: 7.26% และ UU: 10.47% ผลลัพธ์ที่ได้จากการเพิ่มพารามิเตอร์พบว่า เหตุการณ์ที่ค่าความเหมาะสมน้อยลงทั้งสองโครโมโซม (FF) มีจำนวนเพิ่มจากเดิมใน Table 5 จาก 3.75% เป็น 50.64% พฤติกรรมดังกล่าวที่เกิดขึ้นจึงสนับสนุนข้อสันนิษฐานที่ว่า เหตุการณ์ที่ทำการไขว้เปลี่ยนแล้วได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อยลงทั้งสองโครโมโซมในปัญหากับดัก เป็นปัจจัยที่ทำให้เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนสามารถหาคำตอบได้มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าเทคนิคการไขว้เปลี่ยนอีก 3 รูปแบบ

สรุปผลการทดลอง

จากผลการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเทคนิคการไขว้เปลี่ยนกับปัญหา ทำให้เห็นได้ว่า เทคนิคการไขว้เปลี่ยนแบบวงแหวนสามารถหาคำตอบของปัญหาบิตหนึ่งมากที่สุด บิตศูนย์มากที่สุดและปัญหากับดักได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและในปัญหาบิตคำตอบที่เกิดจากการสุ่มการไขว้เปลี่ยนแบบเอกรูปสามารถหาคำตอบได้ดีที่สุด ผลการทดลองดังกล่าวจะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจในการเลือกเทคนิคการไขว้เปลี่ยนที่จะนำมาใช้กับปัญหาเพื่อทำให้ประสิทธิภาพของการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีดีขึ้น อีกทั้งในงานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอวิธีนับความสำเร็จในการไขว้เปลี่ยน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษาพฤติกรรมสำหรับขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการแบบอื่นในงานวิจัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Goldberg DE. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, Addison-Wesley, Reading, Mass, 1989.
2. Kaya Y, Uyar M, Tekm R, A Novel Crossover Operator for Genetic Algorithms: Ring Crossover, presented at CoRR, 2011.

3. Deep K, Thakur M. A new crossover operator for real coded genetic algorithms. *Applied mathematics and computation*, 2007, 188(1):895-911.
4. Poon PW, Carter JN. Genetic algorithm crossover operators for ordering applications. *Computers & Operations Research*, 1995, 22(1):135-147.
5. Herrera F, Lozano M, Sánchez AM. Hybrid crossover operators for real-coded genetic algorithms: an experimental study. *Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 2005, 9(4):280-298.
6. Pavai G, Geetha TV. A Survey on Crossover Operators. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2016, 49(4): 72.
7. Kuo T. GA-hard or GA-easy: a criticism to epistasis analysis. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems*, USA. 1997. p. 21-28.
8. Du Y, Ma Q, Furutani H. Hitting time analysis of OneMax problem in genetic algorithm. *J Robot, Netw Artif Life*, 2015, 2(2):131-134.
9. Watchanupaporn O, Suwannik W. Conditional probability mutation in LZWGA. In: *Proceedings of the International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems*. ACM, 2010. p. 67-72.
10. Deb K, Goldberg DE. Analyzing deception in trap functions. *Foundations of genetic algorithms*, 1993, 2:93-108.
11. Miller BL, Goldberg DE. Genetic algorithms, tournament selection, and the effects of noise. *Complex systems*, 1995, 9(3):193-212.
12. Harik GR, Lobo FG, Goldberg DE. The compact genetic algorithm. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 1999, 3(4):287-297.
13. Li Z, Goodman ED. Learning building block structure from crossover failure. In: *Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation*. ACM, 2007. p. 1280-1287.

การประยุกต์ใช้วิธีสับค่าและวิธีปรับแก้ในขั้นตอนวิธีสืบค้นสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

Application of Swap and Adjustment Method in Search Algorithm for Computer Simulated Experiments

วิศรุต ขวัญคุ้ม^{1*}, จิรารัตน์ เอี่ยมสะอาด², ธนภัทร เอี่ยมตาล³

Wisrut Kwankhoom^{1*}, Jirarat leamsaard², Thanapat lamtan³

Received: 24 October 2017; Accepted: 14 February 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้กลไกการสืบค้นด้วยวิธีการสับค่า (Swap method: SM) และวิธีการปรับแก้ (Adjustment method: AM) ในขั้นตอนวิธีชัฟเฟิลฟรอกลีปิง (Shuffled frog leaping algorithm: SFL) สำหรับค้นหาแผนการทดลองที่เหมาะสมจากนั้นนำผลเฉลยที่ได้มาเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีพาร์ติเคิลสวาร์มออปติไมเซชัน (Particle swarm optimization :PSO) ซึ่งนำเสนอมาแล้วใน [1] จากผลการทดลองพบว่าแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีสืบค้นพาร์ติเคิลสวาร์มออปติไมเซชัน (PSO) และวิธีสืบค้นชัฟเฟิลฟรอกลีปิง (SFL) ที่ใช้กลไกในการปรับตำแหน่งของผลเฉลยเพื่อหาคำตอบด้วยวิธีการปรับแก้ (AM) สามารถค้นหาแผนการทดลองได้ดีกว่าในทุกปัญหาเมื่อเทียบกับวิธีการสับค่า (SM) แต่วิธีการปรับแก้จะใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการสับค่า อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธี PSO และ SFL พบว่ามีค่าผลเฉลยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่เมื่อพิจารณาเวลาในการประมวลผลพบว่าขั้นตอนวิธี SFL ใช้เวลานานกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธี PSO ในทุกปัญหาที่ทดสอบ

คำสำคัญ: การจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ขั้นตอนวิธีสืบค้น วิธีการสับค่า วิธีการปรับแก้

Abstract

This paper applies Swap Method (SM) and Adjustment Method (AM) used in the process of the Shuffled Frog Leaping algorithm (SFL) for searching the optimal design. The results are compared with those from Particle Swarm Optimization (PSO) which was proposed in [1]. The experimental result shows that the optimal design from PSO and SFL using AM is superior to SM in terms of quality of solution for all problems, although the AM requires more computational time than the SM. However, in comparing the performance of two algorithms based on mean value, we can see that PSO and SFL are not significantly different, but the computational time of SFL is higher than PSO for all problems.

Keywords: Computer simulation experiment, Search algorithm, Swap method, Adjustment method

¹ อาจารย์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี 13180

² อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก 65000

³ นักวิเคราะห์อาวุโส ฝ่ายบริหารคลัสเตอร์และโปรแกรมวิจัย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) จ.ปทุมธานี 12120

¹ Lectuere, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathumthani, 13180, Thailand.

² Lectuere, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok, 65000, Thailand.

³ Senior Analyst, Cluster and Program Management Office (CPMO), National Science and Technology Development Agency, Pathumthani, 12120, Thailand.

* Corresponding author; Wisrut Kwankhoom, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathumthani, 13180, Thailand. Email: wisrut@vru.ac.th

บทนำ

การทำการทดลองได้มีการประยุกต์ใช้เทคนิคที่เรียกว่า การวางแผนการทดลอง (Design of experiment) เข้ามาเพื่อช่วยในการดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องแม่นยำและเป็นไปตามหลักการวางแผนการทดลอง โดยทั่วไปการวางแผนการทดลอง จะประกอบด้วย การกำหนดค่าของตัวแปรอิสระและทำการทดลองจนได้มาซึ่งข้อมูลของค่าตัวแปรตาม ซึ่งอาจได้จากการทดลองจริงหรือการทดลองทางกายภาพหรือการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer simulated experiment: CSE) ก็ได้ ในกรณีที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับระบบที่มีความซับซ้อนที่ไม่สามารถทำการทดลองทางกายภาพได้ ซึ่งอาจเนื่องมาจากข้อจำกัดต่างๆ ดังนั้นการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยคำนวณหรือการจำลองการทดลองขึ้นนั้นสามารถแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ ซึ่งเรียกว่า การจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์

กระบวนการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักซึ่งเห็นได้จาก Figure 1 ดังนี้

1) Experimental design คือ การวางแผนการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย การเลือกค่าของปัจจัยที่เกี่ยวข้องระดับต่างๆ (Treatment combination) ของตัวแปรอิสระ

2) Simulation routine หรือ กล่องดำ (Black box) คือ กระบวนการทำงานที่เราไม่สามารถมองเห็นและคาดการณ์ได้ว่าเกิดอะไรขึ้นภายในซึ่งกระบวนการในกล่องดำนี้อาจอยู่ในรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อนหรือรหัสที่มีราคาแพง เพื่อให้ได้ผลลัพธ์หรือค่าของตัวแปรออก ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะแปรผันตามระดับค่าต่างๆ ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องหรือตัวแปรอิสระที่ถูกป้อนเข้าไป

3) Approximation model คือ การสร้างโมเดลเพื่อการประมาณ เกิดจากการนำแผนการทดลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการในกล่องดำ มาสร้างรูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้โดยไม่ต้องทำการทดลองใหม่

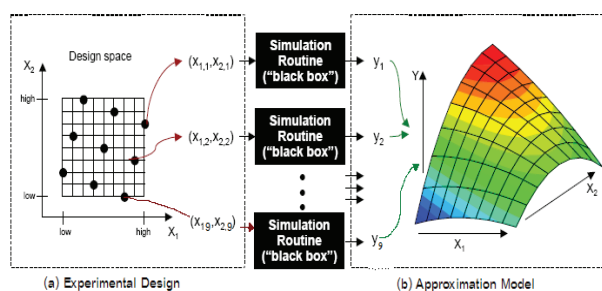


Figure 1 The main components of computer simulation.²

จากองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วนที่กล่าวมานั้นจะเห็นว่าการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการได้มาซึ่งแบบจำลองที่ถูกต้องและสามารถใช้เป็นต้นแบบของระบบ (Prototype) ได้ ดังนั้นทฤษฎีและเทคนิคต่างๆ เพื่อการออกแบบ CSE จึงได้ถูกนำเสนอโดยนักวิจัยไว้หลายท่าน โดยหลักการวางแผนการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์นั้นจะแตกต่างจากการวางแผนการทดลองทางกายภาพที่เน้นการจัดกลุ่มหรือเรียกว่า Blocking และการทำซ้ำ (Replication) รวมไปถึงการสุ่ม (Randomization) ดังแสดงในภาพที่ 2(a) แต่การออกแบบการทดลองสำหรับ CSE นั้นจะแตกต่างกันออกไปเนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จาก CSE จะมีลักษณะเป็นรูปแบบที่แน่นอน (Deterministic) กล่าวคือ เมื่อใส่ค่าตัวแปรอิสระเหมือนกันทุกๆ ครั้งก็จะได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันเสมอ จึงไม่จำเป็นต้องมีการทำซ้ำเหมือนการทดลองทางกายภาพ ดังนั้นจึงส่งผลให้การวางแผนการทดลองสำหรับ CSE เน้นการออกแบบการทดลองแบบเติมเต็มปริภูมิ (Space filling design) ที่เน้นการกระจายจุดให้ครอบคลุมปริภูมิการทดลองให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังแสดงใน Figure 2(b)

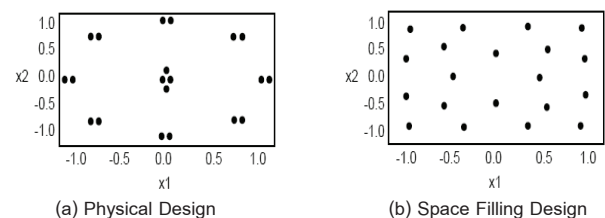


Figure 2 Example of physical design and space filling design²

สำหรับการสร้างแผนการทดลองแบบเติมเต็มปริภูมินั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้นตอนวิธีสืบค้น (Search algorithm) เข้ามาช่วยค้นหาการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากเกณฑ์ในการเลือกค่าที่เหมาะสม

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีขั้นตอนวิธีสืบค้นที่ได้นำมาใช้กับการวางแผนการทดลองสำหรับปัญหา CSE บ้างแล้ว ได้แก่ Jin, Chen และ Sudjianto³ ได้เสนออัลกอริทึมใหม่เพื่อใช้หาแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุด โดยทำสองส่วนคือ เพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการสืบค้นที่ชื่อว่า Enhanced Stochastic Evolutionary (ESE) และเกณฑ์การเลือกค่าที่เหมาะสมแบบต่างๆ เช่น criteria และ Centered L_2 discrepancy criteria Thamma และคณะ⁴ ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการสืบค้น Simulated Annealing (SA) ให้ประสิทธิภาพของ SA ดียิ่งขึ้น ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแต่ใช้ระยะเวลาสืบค้นน้อยลง Rungrattan-

aubol, J. and Na-udom, A.⁵ ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการสืบค้น 2 ชนิด คือ Simulated annealing (SA) และ Genetic Algorithm (GA) ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า SA มีประสิทธิภาพดีกว่า GA ภายใต้งานเดียวกัน นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเอนฮานซ์สโตนัสโตคาสติกอีโวลูชันนารีและโมดิฟายเอนฮานซ์เม็นซ์สโตนัสโตคาสติกอีโวลูชันนารี (Enhanced stochastic evolutionary: ESE and Modified enhancement stochastic evolutionary: MESE) จากการวิจัยพบว่า MESE สามารถค้นหาแผนการทดลองแบบ LHD ได้ดีกว่า ESE⁶

โดยแต่ละวิธีจะมีกลยุทธ์ในการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้ได้แผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้กลไกการสืบค้นด้วยวิธีการสับค่า (Swap method: SM) และวิธีการปรับแก้ (Adjustment method: AM) ในขั้นตอนวิธีชัฟเฟิลฟรอกลิปปิง (Shuffled frog leaping algorithm: SFL) ที่ประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรที่ได้นำเสนอมาแล้วใน⁷ ซึ่งจากการค้นคว้ายังไม่พบงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่นำมาประยุกต์ใช้กับการค้นหาแผนการทดลองที่เหมาะสมมาก่อน จากนั้นจึงนำผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนวิธี SFL มาเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีพาร์ติเคิลสวาร์มออปติไมเซชัน (Particle swarm optimization :PSO) ซึ่งได้ถูกนำเสนอมาแล้วในงานวิจัย¹

วิธีการศึกษา

1. การออกแบบลาตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin hyper-cube design: LHD)

แผนการทดลองแบบลาตินลาตินไฮเปอร์คิวบ์หรือ LHD เป็นคลาสการออกแบบที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในการออกแบบแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับ CSE LHD เป็นเมทริกซ์ (X) ที่มีมิติ $n \times d$ โดยที่ n คือจำนวนรัน และ d คือ จำนวนตัวแปรอิสระ ซึ่งแต่ละสัณฐานของแผนการทดลองจะประกอบด้วยวิธีการเรียงสับเปลี่ยนแบบสุ่มของสมาชิกตั้งแต่ $\{1,2,...,n\}$ และเนื่องจากแผนการทดลองแบบ LHD สามารถสร้างได้โดยแนวคิดของการสุ่มแบบแบ่งชั้นภูมิ (Stratified sampling) ทำให้มั่นใจว่าในทุกๆ ส่วนย่อยของปริภูมิการทดลองมีการแบ่งตัวแปรอิสระในระดับที่เท่าๆ กัน และมีโอกาสถูกเลือกทุกระดับและค่าของแต่ละระดับจะไม่มีผลกระทบเกี่ยวกับแผนการทดลองแบบ LHD สามารถเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$X_{ij} = \frac{\pi_{ij} - U_{ij}}{n} \quad (1)$$

โดยที่ π_{ij} เป็นส่วนของเมทริกซ์ $n \times d$ ที่ประกอบด้วยสัณฐาน π_j ($j=1,2,...,d$) โดยแต่ละสัณฐาน π_j ($j=1,2,...,d$) จะสุ่มเรียงสับเปลี่ยนสมาชิก $1,2,...,n$ โดยอิสระต่อกันและ U_{ij} เมทริกซ์ $n \times d$ ที่มีสมาชิกจาก $n \times d$ i.i.d. uniform $U[0,1]$ และเป็นอิสระกับ π_{ij} จะได้แผนการทดลองในช่วงค่าจริงเป็นดังตัวอย่างดังนี้

จากสมการ (1) สามารถสร้างแผนการทดลองแบบ LHD ขนาด 5×2 ได้ดังนี้ โดยกำหนดค่า π_{ij} และ U_{ij} ดังนี้

$$\frac{1}{5} \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 3 & 5 \\ 2 & 4 \\ 4 & 1 \\ 5 & 2 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0.1225 & 0.2355 \\ 0.4322 & 0.9953 \\ 0.4649 & 0.3461 \\ 0.0280 & 0.6134 \\ 0.9934 & 0.0246 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.1755 & 0.5529 \\ 0.5136 & 0.8009 \\ 0.3070 & 0.7308 \\ 0.7944 & 0.0773 \\ 0.8013 & 0.3508 \end{bmatrix}$$

ดังนั้นแต่ละจุดทดลองของแผนการทดลองแบบ LHD จะมีการกระจาย Figure 3

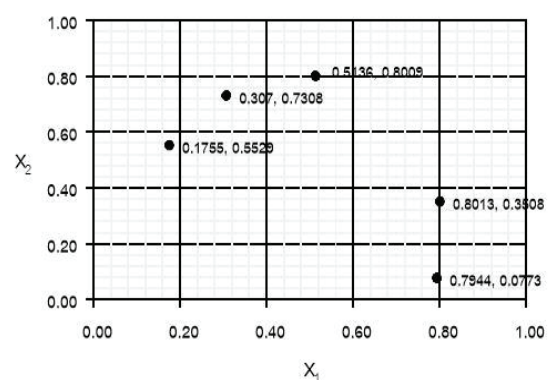


Figure 3 Sample of the experiment LHD size 5×2

ในทางปฏิบัติสามารถกำหนดช่วงของแผนการทดลองแบบ LHD ที่คำนวณได้ให้ค่าเป็นช่วงระยะห่างที่เท่ากันระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งจาก Figure 3 จะได้เมทริกซ์ของแผนการทดลองเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} 0.00 & 0.50 \\ 0.50 & 1.00 \\ 0.25 & 0.75 \\ 0.75 & 0.00 \\ 1.00 & 0.25 \end{bmatrix}$$

การค้นหาแผนการทดลองแบบ LHD ที่เหมาะสมนั้นมีความซับซ้อนและใช้เวลานาน ถ้าแผนการทดลองประกอบด้วยตัวแปรอิสระ d ตัว และจำนวนจุดทดลอง n จุด จะทำให้มีแผนการทดลองแบบ LHD ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวน $(n!)^d$ แบบ ซึ่งเป็นจำนวนขนาดใหญ่ เช่น เมทริกซ์ข้างต้นที่เป็นการทดลองที่มีตัวแปรนำเข้า 2 ตัวและจำนวนจุดทดลอง 5 จุดจะมีแผนการทดลองทั้งหมด 14,400 แบบ และจำนวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อ n และ d มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้การสร้างแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับ CSE จัดเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) และได้มีการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีสืบค้นเข้ามาใช้กับปัญหาเหล่านี้

2. พาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน (Particle swarm optimization: PSO)

พาร์ติเคิลสวอร์มออปติไมเซชันถูกแนะนำเป็นครั้งแรกโดย⁸ ซึ่งเป็นขั้นตอนวิธีเลียนแบบการดำรงชีวิตของนกที่อยู่รวมกันเป็นฝูงที่มีการทำงานเป็นแบบอิงประชากร (Population based) โดยประชากรในกลุ่มสามารถปรับตัวได้ด้วยตนเอง PSO นั้นประกอบด้วยตัวดำเนินการหลัก 2 ตัวคือ ความเร็ว (Velocity) และตำแหน่ง (Position) ซึ่งฝูงนกหรือกลุ่มอนุภาคจะทำการหาตำแหน่งที่ดีที่สุดโดยดูด้วยตัวของพวกเขาผ่านกระบวนการวนซ้ำ ดังนั้นจะได้คำตอบที่ค่อนข้างเร็วแต่อาจจะมีข้อผิดพลาดได้ ในกรณีที่คำตอบที่ได้เป็นผลเฉลยเฉพาะที่ (Local optimum) ซึ่งไม่ใช่จุดที่ดีที่สุดของคำตอบทั้งหมด การควบคุมค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ไม่สามารถทำได้โดยง่าย และค่าความเร็วใหม่ (New velocity) ในการวนซ้ำในแต่ละครั้งจะถูกคำนวณจากพื้นฐานของค่าความเร็วปัจจุบัน (Current velocity) โดยการวัดระยะห่างระหว่างนกกับตำแหน่งที่ดีที่สุดก่อนหน้านี้ (Previous best position) และระยะห่างระหว่างนกกับตำแหน่งที่ดีที่สุด (Global best position) โดยค่าความเร็วใหม่จะถูกใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งใหม่ของนกในพื้นที่ในการค้นหา (Search space) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะถูกทำซ้ำไปเรื่อยๆ หลายครั้งจนกว่าจะตรงกับเงื่อนไขการหยุด ซึ่งการทำงานของ PSO ถูกอธิบายไว้เป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างจำนวนประชากรนกหรือจำนวนอนุภาค (Particle: P) ด้วยการสุ่มค่า ซึ่งนกแต่ละตัวแทนผลเฉลยของปัญหาที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าความเหมาะสมของนกแต่ละตัวผ่านฟังก์ชันเป้าหมาย (Fitness function)

ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบนกแต่ละตัวในรอบเดียวกันแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า การคัดสรรเฉพาะที่

ขั้นตอนที่ 4 เข้าขั้นตอนกลไกการสืบค้นหรือการค้นหาเฉพาะที่โดยการปรับปรุงค่าตำแหน่ง (Update position) โดยนำตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดในรอบเดียวกัน ไปเปรียบเทียบคำตอบในรอบอื่นๆ เพื่อหาคำตอบที่เป็น X_g (Best so far) จากนั้นทำการปรับปรุงค่าอัตราความเร็ว (Update velocity) โดยคำนวณหาค่า (velocity: V) จากสมการ (2) จากนั้นนำค่า V_i ที่ได้ไปปรับค่า Position ด้วยสมการ (3)

$$V_i = \omega \times V_i + C_1 \text{Rand}() \times (P_i - X_i) + C_2 \text{Rand}() \times (X_g - X_i) \quad (2)$$

$$\text{New position of } \tilde{X}_i = \text{Current position of } X_i + V_i \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 4 จนพบเงื่อนไขการหยุด

3. ขั้นตอนวิธีชัฟเฟิลฟรอกลีปิง (Shuffled frog leaping algorithm: SFL)

ขั้นตอนวิธี SFL ถูกนำเสนอโดย⁹ มีแนวคิดมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมทางธรรมชาติของกบในการค้นหาอาหาร โดยกระบวนการในการหาผลเฉลยด้วยขั้นตอนวิธี SFL มีหลักการทำงานคล้ายคลึงกับ PSO และมีการอาศัยขั้นตอนการคัดสรรเฉพาะที่ในแต่ละกลุ่มของประชากรกบก่อนที่จะนำประชากรกบของทุกกลุ่มมาจัดเรียงกัน ซึ่งการค้นหาในลักษณะดังกล่าวนี้จะช่วยลดการเกิดผลเฉลยเฉพาะที่ได้สำหรับขั้นตอนการทำงานของ SFL มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างประชากรกบ (Frogs: F) ด้วยการสุ่มค่า ซึ่งกบแต่ละตัวเป็นตัวแทนของผลเฉลยของปัญหาที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 2 นำกบทั้งหมดแทนลงในฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมของกบแต่ละตัว จากนั้นทำการเรียงลำดับกบตามค่าความเหมาะสมที่ได้จากน้อยไปมากในกรณีของปัญหาการหาค่าน้อยสุด (หรือเรียงจากมากไปน้อยในกรณีของปัญหาการหาค่ามากที่สุด)

ขั้นตอนที่ 3 แบ่งกบออกเป็น m กลุ่มย่อยโดยเรียกกลุ่มย่อยที่ได้นี้ว่ามีเพล็กซ์ (Memeplex) จากนั้นนำกบมาใส่ในแต่ละมีมีเพล็กซ์โดยให้กบตัวแรกใส่ในตำแหน่งแรกของมีมีเพล็กซ์ที่ 1 ให้กบตัวที่ 2 ใส่ในตำแหน่งแรกของมีมีเพล็กซ์ที่ 2 ทำในลักษณะนี้ไปจนถึงกบตัวที่ m ซึ่งจะใส่ในตำแหน่งแรกของมีมีเพล็กซ์ที่ m ซึ่งเป็นมีมีเพล็กซ์สุดท้าย จากนั้นให้

กบตัวที่ $m+1$ ใส่ในตำแหน่งที่ 2 ของมีมีเพิล็กซ์ที่ 1 ให้กับตัวที่ $m+2$ ใส่ในตำแหน่งที่ 2 ของมีมีเพิล็กซ์ที่ 2 ทำในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนกบทุกตัว

ขั้นตอนที่ 4 ให้ X_b^i และ X_w^i แทนกบที่มีค่าความเหมาะสมมากที่สุดและน้อยสุดตามลำดับในมีมีเพิล็กซ์ที่ i และให้ X_g แทนกบที่มีค่าความเหมาะสมที่มากสุดในบรรดากบทุกตัว นั่นคือ $X_g = X_b^1$

ขั้นตอนที่ 5 เข้าขั้นตอนกลไกการสืบค้นโดยการปรับตำแหน่งของกบซึ่งคำนวณได้จากสมการ (4) จากนั้นนำค่า D_i ที่ได้ปรับค่า position ด้วยสมการ (5)

$$D_i = \text{Rand}() \times (X_b^i - X_w^i) \quad (4)$$

$$\text{New position of } \tilde{X}_w = \text{Current position of } X_w + D_i \quad (5)$$

ขั้นตอนที่ 6 นำกบในทุกมีมีเพิล็กซ์มาจัดเรียงกันใหม่ตามค่าความเหมาะสมดังในขั้นตอนที่ 2 แล้วทำการวนซ้ำตามขั้นตอนที่ 3 ถึงขั้นตอนที่ 6 จนพบเงื่อนไขการหยุด

4. กลไกการสืบค้น (Search mechanism)

เนื่องจากขั้นตอนวิธีของ PSO และ SFL แบบมาตรฐานมักพบปัญหาในเรื่องของการกระจุกตัวของผลเฉลย จึงมีโอกาสทำให้ผลเฉลยที่ได้นั้นเป็นความเหมาะสมเฉพาะที่ (Local optimum) ดังนั้นเพื่อลดโอกาสการเกิดปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำวิธีการ SM และวิธีการ AM มาประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธี PSO และ SFL โดยมีรายละเอียดของวิธีการเป็นดังนี้

4.1 วิธีการสับค่า (Swap method: SM)

กำหนดให้ผลเฉลยซึ่งเขียนอยู่ในรูปของ

$A = \{a_k\}_{k=1}^N$ เป็นลำดับจำกัดแล้ว การดำเนินการสับค่า (Swap operation) เขียนแทนด้วย $A \oplus SO(i, j)$ คือการนำสมาชิก a_i และ a_j ของ A มาสลับที่กัน หาก $B = \{b_l\}_{l=1}^N$ เป็นลำดับจำกัดอีกลำดับหนึ่งโดยที่ $a_k = b_l$ สำหรับบางค่า $k, l = 1, \dots, N$ จึงสามารถใช้วิธีการสับค่าเพื่อแปลงลำดับ B มาเป็นลำดับ A ได้ดังแสดงไว้ในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง

กำหนดให้ $X_b^i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ และ $X_w^i = \{2, 1, 5, 3, 4\}$ ซึ่งจะได้ว่า $X_b^i = X_w^i \oplus SO(1, 2) \oplus SO(3, 5) \oplus SO(3, 4)$

จากตัวอย่างข้างต้นพบว่าการแปลงจาก X_w^i มาเป็น X_b^i ต้องอาศัยการดำเนินการสับค่าทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทั่วไป หากกำหนดให้ $\#S$ แทนจำนวนของการดำเนินการสับค่าทั้งหมดในการแปลงจาก X_w^i มาเป็น X_b^i และให้ r เป็นตัวเลขสุ่มชนิด

จำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง $\#S$ แล้ว ผลเฉลยใหม่สามารถสร้างได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$X_{w, new}^i = X_w^i \oplus \underbrace{SO(i_1, i_2) \oplus \dots \oplus SO(i_{2r-1}, i_{2r})}_{r \text{ terms}}$$

ดังนั้น จากตัวอย่างข้างต้น หาก $r = 2$ จะได้ว่า

$$X_{w, new}^i = X_w^i \oplus SO(1, 2) \oplus SO(3, 5) = \{1, 2, 4, 3, 5\}$$

4.2 วิธีการปรับแก้ (Adjustment method: AM)

ให้ $A = \{a_k\}_{k=1}^N$ เป็นลำดับจำกัดแล้ว การดำเนินการปรับแก้ (Adjustment operation) เขียนแทนด้วย $A \oplus AO(i, j)$ คือการนำสมาชิก a_i ที่ตำแหน่ง i มาวางที่ตำแหน่ง j และเลื่อนสมาชิก a_j ไปที่ตำแหน่ง $j+1$ หาก $B = \{b_l\}_{l=1}^N$ เป็นลำดับจำกัดอีกลำดับหนึ่งโดยที่ $a_k = b_l$ สำหรับบางค่า $k, l = 1, \dots, N$ จึงสามารถใช้วิธีการปรับแก้เพื่อแปลงลำดับ B มาเป็นลำดับ A ได้ดังแสดงไว้ในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง

กำหนดให้ $X_b^i = \{1, 2, 3, 4, 5\}$ และ $X_w^i = \{2, 1, 5, 3, 4\}$ ซึ่งจะได้ว่า $X_b^i = X_w^i \oplus AO(1, 2) \oplus AO(4, 3) \oplus AO(5, 4)$

จากตัวอย่างข้างต้นพบว่าการแปลงจาก X_w^i มาเป็น X_b^i ต้องอาศัยการดำเนินการปรับแก้ทั้งหมด 3 ครั้ง โดยทั่วไป หากกำหนดให้ $\#A$ แทนจำนวนของการดำเนินการปรับแก้ทั้งหมดในการแปลงจาก X_w^i มาเป็น X_b^i และให้ r เป็นตัวเลขสุ่มชนิดจำนวนเต็มที่มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง $\#A$ แล้วผลเฉลยใหม่สามารถสร้างได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$X_{w, new}^i = X_w^i \oplus \underbrace{AO(i_1, i_2) \oplus \dots \oplus AO(i_{2r-1}, i_{2r})}_{r \text{ terms}}$$

ดังนั้น จากตัวอย่างข้างต้น หาก $r = 1$ จะได้ว่า

$$X_{w, new}^i = X_w^i \oplus AO(2, 1) = \{1, 2, 5, 3, 4\}$$

5. เกณฑ์การเลือกค่าเหมาะสม (Optimality criteria)

งานวิจัยนี้ผู้เขียนเลือกใช้หลักการของเกณฑ์การเลือกค่าที่เหมาะสมแบบ ϕ_p เนื่องจากเป็นเกณฑ์ที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ในการสร้างแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งเกณฑ์ ϕ_p ถูกนำเสนอโดย¹⁰ ซึ่งปรับปรุงจากเกณฑ์ Maximin distance criterion สำหรับแผนการทดลอง X ระยะทางระหว่างจุดทดลองบนปริภูมิการทดลองแบบยูคลิด (Euclidean distance)

สามารถหาโดยใช้สมการ

$$d(X_j, X_k) = \left[\sum_{i=1}^d (X_{ji} - X_{ki})^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

เมื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดทุกคู่ในแผนการทดลองซึ่งเขียนอยู่ในรูปของเมทริกซ์จัตุรัส D ให้ทำการเรียงระยะทางระหว่างจุดทั้งหมดจากน้อยไปมาก ($d_1, d_2, \dots, d_m$) และสร้างดัชนี (Index) ($j_1, j_2, \dots, j_m$) โดย j คือ จำนวนของคู่จุดที่แบ่งตามระยะทาง d_j โดยสามารถสรุปได้ดังสมการ

$$\phi_p = \left[\sum_{i=1}^m j_i d_i^{-p} \right]^{1/p} \quad (7)$$

โดย p จะเป็นเลขจำนวนเต็มบวกซึ่งต้องมีค่ามากพอ ซึ่งงานวิจัยก่อนหน้า [10] ค่าที่เหมาะสมสำหรับค่า p ในงาน CSE นั้น มีค่าเท่ากับ 5 ซึ่งสามารถพัฒนาวิธีการคำนวณให้ง่ายขึ้นโดยไม่นำค่าของ j_j มาเกี่ยวข้องและจะได้ผลลัพธ์ดังสมการ

$$\phi_p = \left[\sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m \frac{1}{(d_{ij})^p} \right]^{1/p} \quad (8)$$

โดยแผนการทดลองแบบ LHD ที่ให้ค่า ϕ_p ที่น้อยหมายถึงแผนการทดลองที่ดีกว่าหรือเหมาะสมกว่า โดยสามารถพิจารณาได้จากสูตรที่ (6) จะเห็นว่าหากค่า d ที่คำนวณได้มีค่ามาก จะส่งผลให้ค่า ϕ_p ตามสูตรที่ (7) หรือ (8) มีค่าต่ำลง ซึ่งแสดงว่าจุดทดลองมีการกระจายที่ห่างกันทำให้มีคุณสมบัติการเติมเต็มปริภูมิตามที่เรากำลังต้องการ โดยในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนจะใช้สูตร (8) ในการคำนวณค่า ϕ_p ในกระบวนการสืบค้น PSO และ SFL

ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ PSO โดยกำหนดจำนวน P เท่ากับ 50 ตัว และกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ SFL โดยกำหนดจำนวน F เท่ากับ 50 ตัว จำนวน m เท่ากับ 5 กลุ่ม จำนวนวนซ้ำในแต่ละ m เท่ากับ 5 รอบ โดยขั้นตอนวิธีทั้งสองมีเงื่อนไขการหยุดคือวนซ้ำไม่เกิน 100 ครั้ง หรือแผนการทดลองที่ดีที่สุด (Global best) ที่ได้ไม่ดีใน 10 รอบติดต่อกัน และทดสอบขั้นตอนวิธี PSO และ SFL กับแผนการทดลองที่มีขนาดแตกต่างกันดังต่อไปนี้ โดยขนาดมิติปัญหาของการทดสอบกำหนดโดยใช้หลักการของการสร้าง

โมเดลประมาณค่าตามแบบพหุนามกำลังสอง (Second order polynomial) ทำให้กำหนดมิติของแผนการทดลองเป็นดังตารางที่ 1 โดยกำหนดให้ d คือ จำนวนตัวแปรเข้าในการทดลอง และ n คือ จำนวนรัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$n = 2d + 4 \left(\frac{d}{2} \right) + 1 \quad (9)$$

Table 1 Number of experimental sets

d	2	4	6	8	10
n	9	33	73	129	201

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี PSO และ SFL โดยเปรียบเทียบระหว่างกลไกการสืบค้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยทั้ง 2 วิธีการ ซึ่งพิจารณาค่า ϕ_p และค่าทางสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลคือค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: SD) โดยจะทำงานซ้ำแต่ละกรณีใน Table 2 จำนวน 10 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองที่ได้ถูกแสดงไว้ใน Table 2

Table 2 Value of ϕ_p

LHD	Algorithm	ϕ_p		
		Mean	SD	Avg. Time (sec.)
9x2	PSO (SM)	4.4557	0.1291	4.82
	PSO (AM)	4.4132	0.1225	5.82
	SFL (SM)	4.4587	0.1265	4.95
	SFL (AM)	4.4265	0.1248	5.97
33x4	PSO (SM)	6.0662	0.0965	254.51
	PSO (AM)	5.9443	0.0881	289.73
	SFL (SM)	6.0154	0.0896	272.63
	SFL (AM)	5.9358	0.0926	298.74
73x6	PSO (SM)	6.2558	0.0709	2629.88
	PSO (AM)	6.2015	0.0561	3225.56
	SFL (SM)	6.2436	0.0612	3035.25
	SFL (AM)	6.2098	0.0685	3325.78
129x8	PSO (SM)	6.3571	0.0191	15077.01
	PSO (AM)	6.3230	0.0347	22716.99
	SFL (SM)	6.3782	0.0485	20389.23
	SFL (AM)	6.3301	0.0358	25852.36
201x10	PSO (SM)	6.5137	0.0102	30564.90
	PSO (AM)	6.4936	0.0055	38540.40
	SFL (SM)	6.4735	0.0235	40580.85
	SFL (AM)	6.4606	0.0296	42358.68

ผลการทดลองจากตารางที่ 2 พบว่าการใช้วิธีการ AM ในการเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบสามารถสร้างแผนการทดลองที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าวิธีการ SM ทั้งในกรณีของ PSO และ SFL เนื่องจากให้ค่า ϕ_p เฉลี่ยต่ำที่สุดสำหรับทุกมิติปัญหาที่ศึกษา แต่เมื่อพิจารณาเวลาเฉลี่ยในการประมวลผลพบว่าวิธีการ AM ใช้เวลานานกว่าเมื่อเทียบกับ SM ดังแสดงใน Figure 4

เมื่อเปรียบเทียบผลเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนวิธี PSO และ SFL พบว่าผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่เมื่อพิจารณาเวลาในการประมวลผลพบว่าขั้นตอนวิธี SFL ใช้เวลานานกว่าของทุกปัญหาเนื่องจากในขั้นตอนของ SFL ต้องมีการแบ่งประชากรออกเป็น m กลุ่มย่อยและทำการวนซ้ำในแต่ละกลุ่มจนครบทุกกลุ่มจึงส่งผลให้ใช้เวลาในการประมวลผลนานกว่าเมื่อเทียบกับขั้นตอนวิธี PSO

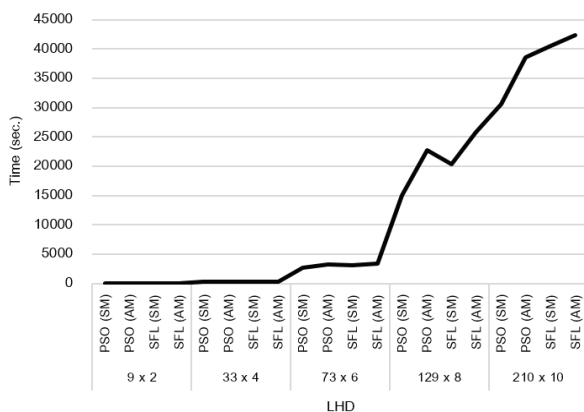


Figure 4 Runtime performance

วิจารณ์และสรุปผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำวิธีสืบค่าและวิธีปรับแก้มาประยุกต์ใช้กับขั้นตอนวิธีพาร์ทิเคิลสวอร์มออปติไมเซชัน (PSO) และขั้นตอนวิธีซฟเฟิลฟอร์กลีปปิง (SFL) เพื่อสร้างแผนการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์ (CSE) โดยขั้นตอนวิธีดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผนการทดลองที่เหมาะสมบนคลาส LHD ได้ดี ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากผลการทดลองพบว่าแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีสืบค้น PSO และ SFL ที่ใช้กลไกในการปรับตำแหน่งของผลเฉลยเพื่อหาคำตอบด้วยวิธีการ AM สามารถค้นหาแผนการทดลองได้ดีกว่าในทุกปัญหาเมื่อเทียบกับวิธีการ SM แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องของเวลาในการประมวลผลพบว่าวิธีการ AM ใช้เวลานานกว่าเมื่อเทียบกับ SM

2. เมื่อพิจารณาผลเฉลี่ยที่ได้จากขั้นตอนวิธี PSO และ SFL พบว่าค่าเฉลี่ยของผลเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่เมื่อพิจารณาเวลาในการประมวลผลพบว่าขั้นตอนวิธี SFL ใช้เวลานานกว่าในทุกปัญหาเมื่อเทียบกับ PSO

เอกสารอ้างอิง

1. วิศรุต ขวัญคุ้ม, จรัสศรี รุ่งรัตนอุบล, อนามัย นาอุดม. การปรับปรุงอัลกอริทึมพาร์ทิเคิลสวอร์มออปติไมเซชันสำหรับการจำลองการทดลองด้วยคอมพิวเตอร์. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยนเรศวร.พิษณุโลก; 2555. หน้า 6-10
2. Simpson TW, Lin DK, Chen W. Sampling strategies for computer experiments: Design and analysis, International Journal of Reliability and Applications 2001; 2(3), 209-240
3. Jin R, Chen W, Sudjianto A. An efficient algorithm for constructing optimal design of computer experiment, Journal of Statistical Planning and Inference 2005; 134, 268-287
4. Thamma T. Modification on search algorithm for computer simulated experiment, Thesis M.S. in Computer Science. 2006. Naresuan University
5. Rungrattanaubol J, Na-udom A. Comparison of evolutionary search algorithms in computer simulated experiments. Proceeding of National Computer Science and Engineering Conference; 2007 November 19-21; Bangkok: Thailand; 2007. P.102-106
6. Na-udom A, Rungrattanaubol J. Heuristics search algorithms for constructing optimal latin hypercube designs. Switzerland: Springer; 2016
7. ธนภัทร เอี่ยมตาล, ธนิต มาลากร. การเปรียบเทียบวิธีการค้นหาเฉพาะที่ในขั้นตอนวิธีสืบเปลี่ยนการกระโดดของกบสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร, วิศวกรรมสารมหาวิทยาลัยนเรศวร 2556; 8(2), 40-45
8. Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks; 1995 November 27 – December 1; Perth: Australia; 1995. P. 1942–1948
9. Eusuff M, Lansey K, Pasha F. Shuffled frog-leaping algorithm: a memetic meta-heuristic for discrete optimization, Engineering Optimization 2006; 38(2),

129-154

10. Morris MD, Mitchell TJ. Exploratory designs for computational experiment, *Journal of Statistical Planning and Inference* 1995; 43, 381-402.

การเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัยโดยใช้วิธีวัดความคล้ายคลึงของคำและแบบจำลองเวกเตอร์สเปซ

An Alternative Approach to Course Description Comparison for University Credit Transfer Using Word Similarity Measurement and Vector Space Model

ณัฐฐิ์ ดิษเจริญ^{1*}, สราธิป เตชะวิวัฒน์บุญ¹

Nadh Ditcharoen^{1*}, Sarathip Techawiwatthanaboon¹

Received: 22 January 2018; Accepted: 5 April 2018

บทคัดย่อ

การเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาที่ได้เรียนผ่านตามเกณฑ์มาแล้วอาจส่งผลให้นักศึกษาสามารถจบการศึกษาได้เร็วขึ้น ซึ่งในกระบวนการเทียบโอนหน่วยกิตจะพิจารณาความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาพร้อมกับชื่อวิชา งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาพร้อมกับชื่อวิชา เพื่อการเทียบโอนหน่วยกิต ของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัย ด้วยวิธีวัดความคล้ายคลึงของข้อความที่แทนด้วยเวกเตอร์ โดยประยุกต์ใช้วิธีวัดระยะทางเชิงมุมร่วมกับความถี่ของเทอม กระบวนการทำงาน ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การตัดคำไทยภาษาไทย 2) การกำจัดคำหยุด 3) การวิเคราะห์คำเชิงความหมาย 4) การหาค่าน้ำหนักของคำ และ 5) การวัดความคล้ายคลึงของรายวิชา ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองเป็นข้อมูลคำอธิบายรายวิชาที่เขียนด้วยภาษาไทย จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จำนวน 33 รายวิชา การประเมินประสิทธิภาพทำโดยการเปรียบเทียบผลการเทียบโอนหน่วยกิตที่แนะนำจากระบบกับผลจากการพิจารณาของหลักสูตร ผลการวิจัย พบว่า วิธีการเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตที่พัฒนาขึ้น ได้ค่าความถูกต้อง เท่ากับ 82.61% ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 100% ค่าความระลึก เท่ากับ 80.95 และค่าความถ่วงดุล เท่ากับ 89.47% ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตได้

คำสำคัญ: การวัดความคล้ายคลึงของคำ คำอธิบายรายวิชา การเทียบโอนหน่วยกิต

Abstract

Credit transferring of eligible previous studied courses may lead to earlier graduation of students. In the credit transfer process, the similarities of course descriptions and course names are evaluated. The objective of this research was to present an alternative approach to course description and course name comparison for university credit transfer using a vector-based text similarity measurement in which cosine distance and term frequency were applied. The comparison process consisted of five steps including 1) Thai word segmentation, 2) stop word elimination, 3) lexical semantic analysis, 4) term weighting, and 5) course similarity measurement. 33 course descriptions written in Thai collected from the Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, were used in the experiments. The approach was evaluated by comparing results suggested from the system with those from program director judgement of the Program Director. The experimental results showed that the accuracy, precision, recall, and F-measure of our proposed approach were 82.61%, 100%, 80.95%, and 89.47%, respectively, which is able to be applied in course description similarity measurement for credit transfer process.

Keywords: Word Similarity Measurement, Course Description, Credit Transfer

¹ อาจารย์, ² นักศึกษาปริญญาโท, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาควิชาคณิตศาสตร์ สถิติและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ตำบลเมืองศรีไค อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

¹ Lecturer, ² Master's degree student, Major of Information Technology, Department of Mathematics, Statistics and Computer Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Muangsrikai Sub District, Warin Chamrap, Ubon Ratchathani 34190, Thailand.

* Corresponding author: Nadh Ditcharoen, E-mail: nadh.d@ubu.ac.th

บทนำ

มหาวิทยาลัยของไทยเปิดโอกาสให้นิสิตนักศึกษาสามารถเทียบโอนหน่วยกิตและผลการเรียนของรายวิชาที่ได้ศึกษามาแล้วในหลายลักษณะ เช่น การเทียบโอนภายในมหาวิทยาลัยเดียวกันหรือการเทียบโอนระหว่างมหาวิทยาลัย ที่มีการพัฒนาหลักสูตรตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาของประเทศไทย (Thailand Qualifications Framework: TQF) และอาจนำไปสู่แนวทางในการเทียบโอนสำหรับการศึกษาระดับประเทศอาเซียน (ASEAN) ที่มีการพัฒนาหลักสูตรตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับชาติ (National Qualifications Framework: NQF) ซึ่งการเทียบโอนดังกล่าว จะทำให้นักศึกษาไม่เสียเวลาเรียนวิชาเดิมซ้ำอีก การเทียบโอนผลการเรียนของแต่ละมหาวิทยาลัยมีหลักเกณฑ์พิจารณาที่ใกล้เคียงกันตามระเบียบที่สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษากำหนด ทั้งนี้อาจมีแนวปฏิบัติที่แตกต่างกันบ้างในบางมหาวิทยาลัย แต่โดยทั่วไปหากพิจารณาจากชื่อรายวิชาที่เหมือนกันแล้ว ยังต้องพิจารณารายละเอียดของคำอธิบายรายวิชาที่หากจะเทียบโอนหน่วยกิตได้จำเป็นต้องมีเนื้อหาคล้ายคลึงกันถึงสามในสี่ขึ้นไป ในกระบวนการขอเทียบโอนหน่วยกิต นักศึกษาจะต้องยื่นคำร้องขอไปยังหลักสูตรที่เข้าศึกษา ผ่านเจ้าหน้าที่งานวิชาการ เสนอผ่านหัวหน้างานเพื่อให้คณะกรรมการบริหารหลักสูตรพิจารณาเทียบเคียงคำอธิบายรายวิชา ซึ่งบางครั้งจำเป็นต้องอาศัยการตัดสินใจจากอาจารย์ผู้สอนประจำรายวิชานั้นๆ ในการพิจารณาเพิ่มเติมอีกด้วย จากกระบวนการดังกล่าวจะพบว่าต้องใช้เวลา และความเชี่ยวชาญจากบุคคลในการพิจารณาความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชา ซึ่งอาจเกิดข้อผิดพลาดและเกิดความล่าช้าได้

จากการศึกษางานวิจัยทางด้านการวัดความคล้ายคลึงกันของเอกสาร ข้อความหรือประโยค (Text Similarity) พบว่า มีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเสนอวิธีที่แม่นยำในการตรวจวัดความคล้ายคลึงกันของข้อความ ดังเช่นระบบตรวจสอบการคัดลอกข้อความโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของเอกสารด้วยวิธีการสไลด์ดิงวินโดวส์ (Sliding Windows)¹ ที่มีผลการประเมินการใช้งานระบบอยู่ในระดับดี การประยุกต์ใช้เอ็นแกรม (N-Gram) ในการหาความคล้ายคลึงของรายวิชาที่เขียนด้วยภาษาอาหรับ² ซึ่งพบว่า เมื่อ N เท่ากับ 3 จะให้ผลการวิจัยที่ดีที่สุด การใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในการเทียบโอนรายวิชาภาษาไทย³ ที่ให้ผลการวิจัยสอดคล้องกับการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ และยังมีการนำแบบจำลองเวกเตอร์สเปซ (Vector Space Model) มาใช้ในการเทียบโอนรายวิชาภาษาไทยด้วย⁴ ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวได้ค่าความคล้ายคลึงของเอกสารที่ดี เวกเตอร์สเปซได้นำมา

ประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายดังเช่นในการพัฒนาโมเดลจัดลำดับความคล้ายคลึงของเอกสารกับคำค้นของผู้ใช้สำหรับระบบสืบค้นข้อมูลด้านการท่องเที่ยว⁵ อย่างไรก็ตามในการนำเวกเตอร์สเปซมาประยุกต์ใช้ต้องทำร่วมกับวิธีวัดระยะทางของเวกเตอร์ ซึ่งยังมีวิธีวัดระยะทางเพื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของข้อความอีกหลากหลายวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อวัดความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาภาษาไทย และอาจเพิ่มความแม่นยำในการวัดความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาได้^{6,7} นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ฐานข้อมูล WordNet⁸ เพื่อจัดการคำที่มีความหมายใกล้เคียงกันทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการวัดความคล้ายคลึงของคำได้

จากผลการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าผลการวัดความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาที่เขียนด้วยภาษาไทยยังมีความถูกต้องไม่มากนัก งานวิจัยนี้จึงได้ปรับปรุงกระบวนการเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาด้วยวิธีวัดความคล้ายคลึงของคำที่มีการพิจารณาความหมายของคำที่คล้ายคลึงกันร่วมกับแบบจำลองเวกเตอร์สเปซ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัยโดยใช้วิธีวัดความคล้ายคลึงของคำและแบบจำลองเวกเตอร์สเปซ

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การทำเหมืองข้อความ (Text Mining)

การทำเหมืองข้อความ เป็นเทคนิคเพื่อค้นหารูปแบบ (Pattern) หรือความสัมพันธ์ที่ซ่อนอยู่ในชุดข้อความจำนวนมาก โดยใช้ขั้นตอนวิธีจากวิชาสถิติ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing) และการรู้จำแบบ (Pattern Recognition) ซึ่งอาจแบ่งได้ 3 ประเภท¹⁰ ได้แก่ การสรุปเอกสารข้อความ (Document Summarization) การแบ่งประเภทเอกสาร (Document Classification) และการแบ่งกลุ่มเอกสารข้อความ (Document Clustering) ที่รวมไปถึงการวัดความคล้ายคลึงและความแตกต่างของเอกสารและข้อความ ซึ่งกระบวนการประมวลผลข้อความเพื่อการทำเหมืองข้อความประกอบด้วย การตัดคำ (Word Segmentation) การกำจัดคำหยุด (Stop Word Elimination) การหารากศัพท์ (Stemming) การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) เป็นต้น

2. TLex: โปรแกรมตัดคำสำหรับข้อความภาษาไทย

โดยทั่วไปเทคนิคในการพัฒนาโปรแกรมตัดคำแบ่งได้ 3 แนวทาง คือ การใช้กฎ การใช้พจนานุกรม และการใช้เทคนิคการเรียนรู้ที่ได้รับความนิยมที่สุดในปัจจุบัน ที่เล็กส์ (TLex: Thai Lexeme Analyzer)¹¹ คือโปรแกรมตัดคำที่พัฒนาโดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง โดยอาศัยหลักการของ Conditional Random Field (CRF) ในการเรียนรู้ มีคลังข้อมูลขนาด 5 ล้านคำในการฝึกฝนโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมนี้พัฒนาโดยศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ (NECT-EC) สามารถใช้งานได้ฟรี ผ่าน www.sansarn.com/tlex/

3. เวิร์ดเน็ตภาษาไทย (Thai WordNet)

เวิร์ดเน็ตภาษาไทย คือ ฐานข้อมูลเกี่ยวกับคำศัพท์ที่เป็นภาษาไทยขนาดใหญ่¹² ประกอบด้วยคำนาม คำกริยา คำคุณศัพท์ และคำกริยาวิเศษ เป็นกลุ่มคำภาษาไทยที่เป็นกลุ่มของคำพ้องความหมาย (synonyms) เรียกว่าซินเซต (synset) และความสัมพันธ์ทางความหมายระหว่างกลุ่มคำไวพจน์ต่างๆ โดยส่วนประกอบดังกล่าวจะถูกจัดให้อยู่ในหมวดของคำที่มีความหมายคล้ายคลึงกัน ฐานข้อมูลเชิงความหมายทั้งหมด 86,081 คำ

4. การสกัดคุณลักษณะของเอกสารด้วย TF-IDF

การสกัดคุณลักษณะของเอกสารเพื่อหาลักษณะตัวแทนของเอกสารนั้นๆ โดยพิจารณาจากความถี่คำที่ปรากฏในเอกสาร (Term Frequency: tf) และการหาน้ำหนักของคำ (Term Weight) ที่ปรากฏในเอกสารด้วยค่า TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency: tdf)⁶ ซึ่งเป็นการคำนวณค่าน้ำหนักเพื่อหาความสำคัญของคำนั้นๆ ในกลุ่มของเอกสาร ที่คำนวณได้จากสมการ (1)

$$Weight = tf * idf \quad (1)$$

ซึ่ง idf ได้มาจากการคำนวณด้วยสมการ (2)

$$idf(t, D) = \log \frac{N}{|\{d \in D : t \in d\}|} \quad (2)$$

โดยที่ N คือ จำนวนเอกสารทั้งหมด

$|\{d \in D : t \in d\}|$ คือ จำนวนเอกสาร (d) ที่มี term t ปรากฏอยู่

5. การวัดระยะทางเชิงมุม

การวัดระยะทางเชิงมุม (Cosine Distance)¹³ เป็นวิธีการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของเอกสารสองเอกสาร โดยแต่ละเอกสารจะถูกแทนด้วยเวกเตอร์ขนาดเอ็น (N-Dimensional Vector) ซึ่งเก็บค่าน้ำหนักคำแต่ละคำในเอกสารนั้น การเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของเอกสารจะเปรียบเทียบ

เทียบโดยดูจากมุมโคไซน์ของมุมระหว่าง 2 เวกเตอร์ของเอกสาร หากเอกสารทั้งสองเอกสารคล้ายคลึงกันมาก เวกเตอร์ของเอกสารทั้ง 2 จะทับกันเกือบสนิท มุมจึงมีค่าน้อย ค่าโคไซน์ที่ได้จะมีค่ามาก ตัวอย่างในการวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่างเวกเตอร์ X และเวกเตอร์ Y แสดงดังสมการ (3)

$$Cosine = Cos(X, Y) = \frac{X \cdot Y}{\|X\| \|Y\|} \quad (3)$$

ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงการคำนวณความคล้ายระหว่างเอกสารที่เขียนอยู่ในรูปเวกเตอร์ X และเวกเตอร์ Y โดยที่ตัวเลขคือความความถี่หรือน้ำหนักของคำในเอกสาร และ SQRT แทนการหารากที่สอง

$$X = (1, 1, 0, 0, 3, 0)$$

$$Y = (0.796, 1.097, 0.349, 0, 0.194, 0)$$

$$X \cdot Y = (1 \times 0.796) + (1 \times 1.097) + (0 \times 0.349) + (0 \times 0) + (3 \times 0.194) + (0 \times 0)$$

$$= 0.796 + 1.097 + 0 + 0 + 0.582 + 0$$

$$= 2.475$$

$$|X| = \text{SQRT}(1^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 + 3^2 + 0^2)$$

$$= \text{SQRT}(11) = 3.316$$

$$|Y| = \text{SQRT}(0.796^2 + 1.097^2 + 0.349^2 + 0^2 + 0.194^2 + 0^2)$$

$$= \text{SQRT}(1.996462) = 1.41$$

$$\text{Cos}(X, Y) = 2.475 / (3.316 \times 1.41) = 0.5293$$

ดังนั้น X และ Y มีความคล้ายคลึง 52.93%

6. การวัดประสิทธิภาพของระบบด้วย Confusion Matrix

Confusion Matrix¹⁴ คือการประเมินผลลัพธ์การทำนาย หรือผลลัพธ์จากโปรแกรมหรือระบบเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จริงซึ่งเกิดจากการตัดสินใจของบุคคลหรือผู้เชี่ยวชาญ โดยคำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy: A) ค่าความแม่นยำ (Precision: P) ค่าความระลึก (Recall: R) และค่าความถ่วงดุล (F-Measure) จากสมการ (4) – (7) ต่อไปนี้

$$A = (TP+TN)/(TP+FN+FP+TN) \quad (4)$$

$$P = TP/(TP+FP) \quad (5)$$

$$R = TP/(TP+FN) \quad (6)$$

$$F\text{-Measure} = 2PR/(P+R) \quad (7)$$

โดยที่ TP (True Positive) คือจำนวนข้อมูลที่ระบบและบุคคลเห็นตรงกันว่าถูกต้อง TN (True Negative) คือจำนวนที่ทั้งระบบและบุคคลเห็นตรงกันว่าไม่ถูกต้อง ส่วน FP (False Positive) และ FN (False Negative) คือ จำนวนที่ระบบและบุคคลมีความเห็นขัดแย้งกัน

วิธีเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิต

ในการเปรียบเทียบวิธีวัดความคล้ายคลึงของข้อความคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิต ผู้วิจัยออกแบบการทำงานเป็นขั้นตอนอย่างง่าย ดังใน (Figure 1) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

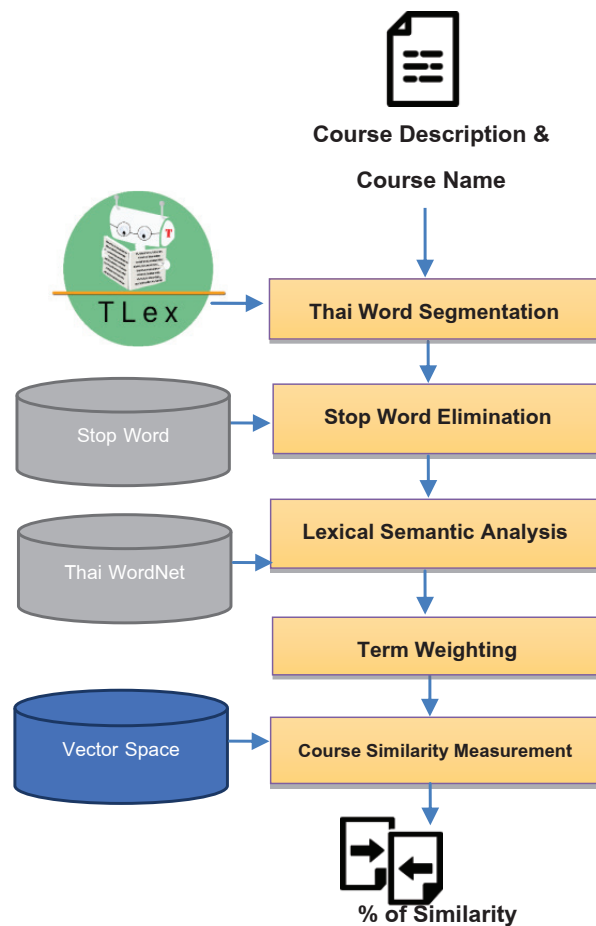


Figure 1 Proposed Method

1. ข้อมูลคำอธิบายรายวิชา

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลการเทียบโอนรายวิชาของหลักสูตรในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี โดยเลือกรายวิชาที่มีนักศึกษายื่นคำร้องขอเทียบโอนหน่วยกิตในช่วงปีการศึกษา 2559 และมีผลการเทียบโอนที่พิจารณาเห็นชอบแล้วโดยประธานหลักสูตร ซึ่งมีทั้งรายวิชาที่เทียบโอนได้และเทียบโอนไม่ได้ คัดเลือกแบบเจาะจงเฉพาะกลุ่มวิชาในสาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ทดสอบ จำนวน 33 รายวิชา บันทึกข้อมูลลงไฟล์ Microsoft Excel ตัวอย่างข้อมูลดัง Table 1 รายวิชาทั้ง 33 รายวิชาใช้ทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของวิธีการเปรียบเทียบโดยใช้เป็นทั้งรายวิชาที่นำมาเทียบและรายวิชาที่ถูกเทียบ

2. การตัดคำภาษาไทย (Thai Word Segmentation)

เนื่องจากประโยคในภาษาไทยไม่มีขอบเขตของคำ ขั้นตอนแรกในการประมวลผลคือการตัดประโยคภาษาไทยออกเป็นคำ หรือเทอม (term) งานวิจัยนี้เลือกใช้โปรแกรม TLex ในการตัดคำภาษาไทยที่ใช้งานผ่าน API ของโปรแกรม TLex ตัวอย่างผลการตัดคำภาษาไทยของคำอธิบายรายวิชาดัง Figure 2

Table 1 Examples of course description (in Thai)

Course	Course Description (in Thai)
1104102 คณิตศาสตร์ เต็มหน่วย	คณิตศาสตร์พื้นฐานเกี่ยวกับเซต ลำดับ จำนวนเต็ม เมทริกซ์และโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ เช่น กิ่งกลุ่ม และกลุ่มตรรกศาสตร์และการพิสูจน์ การนับ ความสัมพันธ์เวียนเกิด ความสัมพันธ์และไดกราฟ ฟังก์ชันพีชคณิตบูลีนจำกัด ต้นไม้และกราฟ
1104153 วิทยาการคอมพิวเตอร์ เบื้องต้น	ภาพรวมของระบบคอมพิวเตอร์ ประวัติความเป็นมาของคอมพิวเตอร์ องค์ประกอบของคอมพิวเตอร์ ระบบปฏิบัติการ ภาษาโปรแกรม ระบบเลขจำนวน และการแทนค่าข้อมูลในคอมพิวเตอร์ อัลกอริทึมและการแก้ปัญหาโจทย์ทางคอมพิวเตอร์ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ กฎหมายและจริยธรรมทางคอมพิวเตอร์

3. การกำจัดคำหยุด (Stop-word Elimination)

คำหยุด (Stop word)¹⁵ เป็นคำที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอกสาร หรือคำที่ปรากฏบ่อยครั้งในเอกสารแต่ไม่ได้บ่งบอกคุณลักษณะของเอกสารนั้น เป็นคำขยายให้แก่คำอื่น เช่น คำเชื่อม คำสันธาน คำบุพบท หรือคำที่มักจะถูกใช้บ่อยๆ เช่น “การ” “ความ” “ที่” “จะ” “ใช้” “ได้” เป็นต้น คำเหล่านี้จะถูกตัดทิ้งโดยที่ไม่ทำให้ความหมายของเอกสารเปลี่ยนไป Figure 2 (กล่องที่สาม) แสดงการกำจัดคำหยุดของคำอธิบายรายวิชาที่ผ่านการตัดคำแล้ว

Course Description of 1104102

คณิตศาสตร์พื้นฐานเกี่ยวกับเซต ลำดับ จำนวนเต็ม เมทริกซ์และโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ เช่น กิ่งกลุ่มและกลุ่มตรรกศาสตร์และการพิสูจน์ การนับ ความสัมพันธ์เวียนเกิด ความสัมพันธ์และไดกราฟ ฟังก์ชัน พีชคณิตบูลีนจำกัด ต้นไม้และกราฟ

Word Segmentation
โดยใช้โปรแกรม TLex

คณิตศาสตร์, พื้นฐาน, เกี่ยวกับ, กับ, เซต, ลำดับ, จำนวน, เต็ม, เมทริกซ์, และ, โครงสร้าง, ทาง, คณิตศาสตร์, เช่น, กิ่ง, กลุ่ม, และ, กลุ่ม, ตรรกศาสตร์, และ, พิสูจน์, การ, นับ, ความ,สัมพันธ์, เวียน, เกิด, ความ,สัมพันธ์, และ, ได, กราฟ, ฟังก์ชัน, พีชคณิตบูลีน, จำกัด, ต้น, ไม้, และ, กราฟ

Stop-word Elimination

คณิตศาสตร์, พื้นฐาน, เกี่ยวกับ, กับ, เซต, ลำดับ, จำนวน, เต็ม, เมทริกซ์, และ, โครงสร้าง, ทาง,คณิตศาสตร์, เช่น, กิ่ง, กลุ่ม, และ, กลุ่ม, ตรรกศาสตร์, และ, พิสูจน์, การ, นับ, ความ,สัมพันธ์, เวียน, เกิด, ความ,สัมพันธ์, และ, ได, กราฟ, ฟังก์ชัน, พีชคณิตบูลีน, จำกัด, ต้น, ไม้, และ, กราฟ

Lexical Semantics Analysis

คณิตศาสตร์, พื้นฐาน, เกี่ยวกับ, เซต, ลำดับ, จำนวน, เต็ม, เมทริกซ์, โครงสร้าง, ทาง, คณิตศาสตร์, กิ่ง, กลุ่ม, กลุ่ม, ตรรกศาสตร์, พิสูจน์, นับ, ความ,สัมพันธ์, เวียน, เกิด, ความ,สัมพันธ์, ได, กราฟ,ฟังก์ชัน, พีชคณิตบูลีน, จำกัด, ต้น, ไม้, กราฟ

Figure 2 Examples of Thai Word Segmentation, Stop-word Elimination and Lexical Semantics Analysis

4. การวิเคราะห์คำเชิงความหมาย (Lexical Semantic Analysis)

เนื่องจากในคำอธิบายรายวิชาของแต่ละหลักสูตร โดยเฉพาะหลักสูตรที่มีลักษณะใกล้เคียงกันหรือเป็นหลักสูตรสัมพันธ์กัน คำอธิบายรายวิชาหลายวิชาใช้คำที่แตกต่างกันแต่ความหมายเหมือนกัน เช่น คำว่า “เหมืองข้อมูล” “ดาต้า ไมน์นิ่ง” หรือ “คณิตศาสตร์” “คณิต” “เลข” “แม่ท” คำเหล่านี้สื่อความหมายเหมือนกัน จึงควรถูกพิจารณานับความถี่ของคำในคำอธิบายรายวิชารวมกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชา ในขั้นตอนนี้จึงประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลเวิร์ดเน็ตภาษาไทยมาใช้ในการวิเคราะห์คำเชิงความหมาย ดังตัวอย่างใน Figure 2

5. การหาค่าน้ำหนักของคำ (Term Weighting)

ในการหาค่าน้ำหนักของคำหรือเทอม (term) เพื่อสกัดคุณลักษณะของเอกสารของงานวิจัยนี้ ใช้ความถี่ของคำที่ปรากฏในเอกสาร (TF) โดยเมื่อได้ทำการวิเคราะห์คำที่มีความหมายเดียวกันแล้ว คำอธิบายรายวิชาทั้งหมดจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์ แสดงดังตัวอย่างใน Table 2

Table 2 Examples of the TF vectors generated from course descriptions

Course	กราฟ	กลุ่ม	เกี่ยว	ควบคุม	ความ	ค่า
1104102(1)	1	1	0	0	3	0
1104102	2	2	1	0	2	0
1104155	0	0	0	0	0	0
1104156	1	0	0	0	0	0
1104157	0	0	0	1	1	0

6. การวัดความคล้ายคลึงของรายวิชา (Course Similarity Measurement)

การวัดความคล้ายคลึงของข้อความจะใช้วิธีวัดระยะทางเชิงมุม (Cosine) จากเวกเตอร์ X เทียบกับเวกเตอร์ Y ที่ได้จากขั้นตอนการหาค่าน้ำหนักของคำดังแสดงตัวอย่างในหัวข้อ 3.5 ซึ่งการวัดความคล้ายคลึงนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ความคล้ายคลึงของเวกเตอร์ของคำอธิบายรายวิชา (ร้อยละความคล้ายคลึง-D) และความคล้ายคลึงของเวกเตอร์ของชื่อวิชา (ร้อยละความคล้ายคลึง-S) ดังนี้

ร้อยละความคล้ายคลึง-D :

X คำอธิบายรายวิชา 1 vs Y คำอธิบายรายวิชา 2

ร้อยละความคล้ายคลึง-S :

X ชื่อวิชา 1 vs Y ชื่อวิชา 2

ซึ่งค่าความคล้ายคลึงของรายวิชาคำนวณจากค่าเฉลี่ยของร้อยละความคล้ายคลึง-D และ ร้อยละความคล้ายคลึง-S ดังผลลัพธ์ใน Table 3 คอลัมน์ค่าเฉลี่ย โดยที่ CD (Course Description) หมายถึง คำอธิบายรายวิชา CT (Course Title) หมายถึง ชื่อรายวิชา Rs (Comparison Results from System) คือผลการเทียบโอนที่ได้จากระบบแนะนำ และ Rc (Comparison Results from Curriculum) คือผลการเทียบโอนจริงที่ได้ผ่านความเห็นชอบจากหลักสูตร ผลการเทียบโอน (ในคอลัมน์ Rs/Rc) ที่มีค่า yes หมายถึงรายวิชาสามารถเทียบโอนได้ ค่า yes ของ Rs พิจารณาจากค่า Avg ≥ 70 ส่วนค่า yes ของ Rc คือผลการเทียบโอนจริงที่ผ่านความเห็นชอบจากหลักสูตร และ no หมายถึงไม่สามารถเทียบโอนได้

Table 3 Results of credit transfer

Course ID 1	Course ID 2	Similarity (%)		Avg	Rs/Rc
		CD	CT		
1104157	1106201	78.39	100.0	89.20	yes/yes
1104283	1106213	54.52	70.71	62.62	no/no
1104156	1106203	55.67	70.71	63.19	no/yes
1104493	1104493	100.0	100.0	100.0	yes/yes
1106402	1106330	66.75	91.29	79.02	yes/yes
1106213	1104271	67.63	77.46	72.55	yes/yes
1106161	1106203	100.0	100.0	100.0	yes/yes
1106170	1106102	51.96	100.0	75.98	yes/yes
1104155	1106102	23.34	100.0	61.67	no/yes
1104102	1104102	66.95	57.74	62.35	no/yes
1104153	1106101	74.43	70.71	72.57	yes/yes
1104251	1106202	75.49	100.0	87.75	yes/yes
1104456	1106503	70.56	89.44	80.00	yes/yes
1104482	1106602	56.80	100.0	78.40	yes/yes
1106100	1106101	81.56	100.0	90.78	yes/yes
1106230	1106211	53.14	100.0	76.57	yes/yes
1106231	1106403	96.61	100.0	98.31	yes/yes
1106261	1106202	84.86	100.0	92.43	yes/yes
1106342	1106301	84.24	100.0	92.12	yes/yes

ผลการวิจัยและทดสอบประสิทธิภาพ

ผู้วิจัยพัฒนาระบบเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของคำอธิบายรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิต ในรูปแบบเว็บแอป-พลิเคชันด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) และฐานข้อมูลมายเอสคิวแอล (MySQL) ผลการทดลองคำนวณค่าความคล้ายคลึงของการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาจำนวน 33 วิชาที่ขอเทียบโอนในคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี สุ่มเลือกแบบเจาะจงมาจำนวน 23 คู่รายวิชา ได้ผลการวิจัยดัง Table 3 โดยคอลัมน์สุดท้ายแสดงผลการเปรียบเทียบที่ได้จากระบบกับผลที่ได้จริงจากหลักสูตรการทดสอบประสิทธิภาพพิจารณาจากผลการเทียบโอนหน่วยกิตที่แนะนำจากระบบเปรียบเทียบกับผลการเทียบโอนจริงที่ได้จากหลักสูตร โดยใช้ Confusion Matrix¹⁴ (ดัง Table 4) คำนวณหาค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถ่วงดุล (F-Measure) ดังนี้

Table 4 System evaluation by confusion matrix

Comparison Results from Curriculum	Comparison Results from System	
	yes	no
yes	17 (TP)	4 (FN)
no	0 (FP)	2 (TN)

จาก Table 4 ผลการคำนวณค่าความถูกต้อง มีค่าเท่ากับ 82.61% ค่าความแม่นยำ เท่ากับ 100% ค่าความระลึก เท่ากับ 80.95 และค่าความถ่วงดุล เท่ากับ 89.47%

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีการเปรียบเทียบคำอธิบายรายวิชาที่เขียนด้วยภาษาไทยที่ประกอบด้วย การตัดคำภาษาไทย การกำจัดคำหยุด การวิเคราะห์คำเชิงความหมาย การคำนวณน้ำหนักของคำเพื่อสกัดคุณลักษณะของข้อความแปลงให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ของความถี่ของคำ และการคำนวณความคล้ายคลึงของเวกเตอร์ด้วยสมการวัดระยะความคล้ายเชิงมุม ผลการทดสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีเมื่อเปรียบเทียบความคล้ายคลึงเฉพาะคำอธิบายรายวิชาอย่างเดียว พบว่า ยังให้ค่าความถูกต้องในการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของรายวิชาไม่ตึกนัก จึงได้เพิ่มการวิเคราะห์ความคล้ายคลึงกันของชื่อวิชาเข้าร่วมด้วย ซึ่งพบว่า ทำให้ค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 25 นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการตัดคำไทยมีผลกระทบสำคัญต่อกระบวนการวิเคราะห์ความหมายของคำเพื่อใช้ในการหาน้ำหนักของคำในคำอธิบายรายวิชาด้วย หากผลลัพธ์ของการตัดคำมีประสิทธิภาพสูงก็จะส่งผลให้การวัดความคล้ายคลึงกันของรายวิชาเพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. สุทิน อหิงสะโร และ ผุสดี บุญรอด. ระบบตรวจสอบการคัดลอกข้อความโดยใช้วิธีการเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของข้อความ. ใน: การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8; 9-10 พฤษภาคม 2555; โรงแรมดุสิตธานีพัทยา, ชลบุรี; 2555. หน้า 820-826.
2. Al-Ramahi M.A. & Mustafa S.H. N-Gram-Based Techniques for Arabic Text Document Matching; Case Study: Courses Accreditation. ABHATH AL-YARMOUK: "Basic Sci. & Eng." 2012;21:85-105.
3. สุพัฒขยา ปัญโญ และ ทศนัย ชุ่มวัฒนะ. เทคนิคการเทียบโอนผลการเรียนจากคำอธิบายรายวิชาภาษาไทยโดยใช้

- เทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล กรณีศึกษามหาวิทยาลัยรังสิต. ใน: การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 12; 7-8 กรกฎาคม 2559; Centara Hotel & Convention Center Khon Kean, ขอนแก่น; 2559. หน้า 678-683.
4. บารมี โอษฐ์กุล และ ธวัชชัย งามสันติวงศ์. ระบบเทียบโอนรายวิชาโดยใช้แบบจำลองเวกเตอร์สเปซ. ใน: การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2; 4-5 กันยายน 2555; อาคารสัมมนา 1-2 มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี; 2555. หน้า 1-8.
 5. ญัตพล ธรรมศรี และ จีระศักดิ์ นำประดิษฐ์. ระบบสืบค้นข้อมูลด้านการท่องเที่ยวบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยใช้เวกเตอร์สเปซโมเดล. ใน: การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8; 9-10 พฤษภาคม 2555; โรงแรมดุสิตธานีพัทยา, ชลบุรี; 2555. หน้า 42-48.
 6. Viriyavisuthisakul S., Sanguansat P., Charnkeitkong P. & Haruechaiyasak C. A comparison of similarity measures for online social media Thai text classification. In: 12th International Conference on Electrical Engineering / Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin; 2015. pp. 1-6. doi: 10.1109/ECTI-Con.2015.7207106.
 7. สราธิป เตชาวิวัฒนบุญ และ ญัตฐ์ ดิษเจริญ. การเปรียบเทียบวิธีวัดความคล้ายคลึงของข้อความบนฐานเวกเตอร์เพื่อการเทียบโอนหน่วยกิตของรายวิชาระดับมหาวิทยาลัย. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ 2017 ACTIS & NCOBA ครั้งที่ 12; 19-21 กรกฎาคม 2560; มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพฯ; 2560. หน้า 148-154.
 8. Princeton University. WordNet: A Lexical Database for English. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560]. เข้าถึงได้จาก <https://wordnet.princeton.edu>.
 9. Vuttichai V. Documents Comparison Using WordNet. In: The 9th International Conference on Information Technology and Applications (ICITA2014); 1-4 July, 2014; Sydney, Australia.
 10. ธณินทร์ สุขสิริวัฒน์ สมชัย เชียงพงศ์พันธุ์ และ วันทนีย์ ประจวบศุภกิจ. การจัดหมวดหมู่บทคัดย่อภาษาอังกฤษด้วยเทคนิคการเรียนรู้ด้วยเครื่อง. ใน: การประชุมทางวิชาการระดับชาติด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 12; 7-8 กรกฎาคม 2559; Centara Hotel & Convention Center Khon Kean, ขอนแก่น; 2559. หน้า 13-18.
 11. ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. โปรแกรมตัดคำภาษาไทย. [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560]. เข้าถึงได้จาก www.sansarn.com/tlex.
 12. Thai Computational Linguistics Laboratory. What's WordNet? [เว็บไซต์]. [เข้าถึงเมื่อ 22 มิถุนายน 2560]. เข้าถึงได้จาก www.asianwordnet.org.
 13. สุพงศ์ เอื้อวัฒนามงคล. การทำเหมืองข้อมูล. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์; 2559.
 14. อรุณฯ พันโท และ มนต์ชัย เทียนทอง. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจำแนกรูปแบบการเรียนรู้ VARK ด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 2557;4:1-11.
 15. วาฐกา ทวนนิมิต และ อวรรณ เชื้อศรี. ระบบคัดกรองและสรุปผลข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้ใช้ในสื่อสังคมออนไลน์. [ปริญญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2556.

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 และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาผลงานในวารสารใด 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 อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (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 และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย 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 และไม่ควรใช้คำย่อ

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 สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษากับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

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

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).

ชมพูพูน ข่องจิต. 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

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 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

พิจารณา เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 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 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธรชัย, กิตติ บุญเลิศนันต์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสุขของพริก. 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. 26th 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).

พรณี 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. List the information in 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.

Submission of manuscripts

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakham University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.
The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

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.....

ออกใบเสร็จในนาม.....

- ☐ สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- ☐ สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ส่งผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาทำxonยางมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ **science.msu@hotmail.com** หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150