



Volume 37 Number 6 November - December 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 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 6 November - December 2018



ปีที่ 37 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม 2561

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

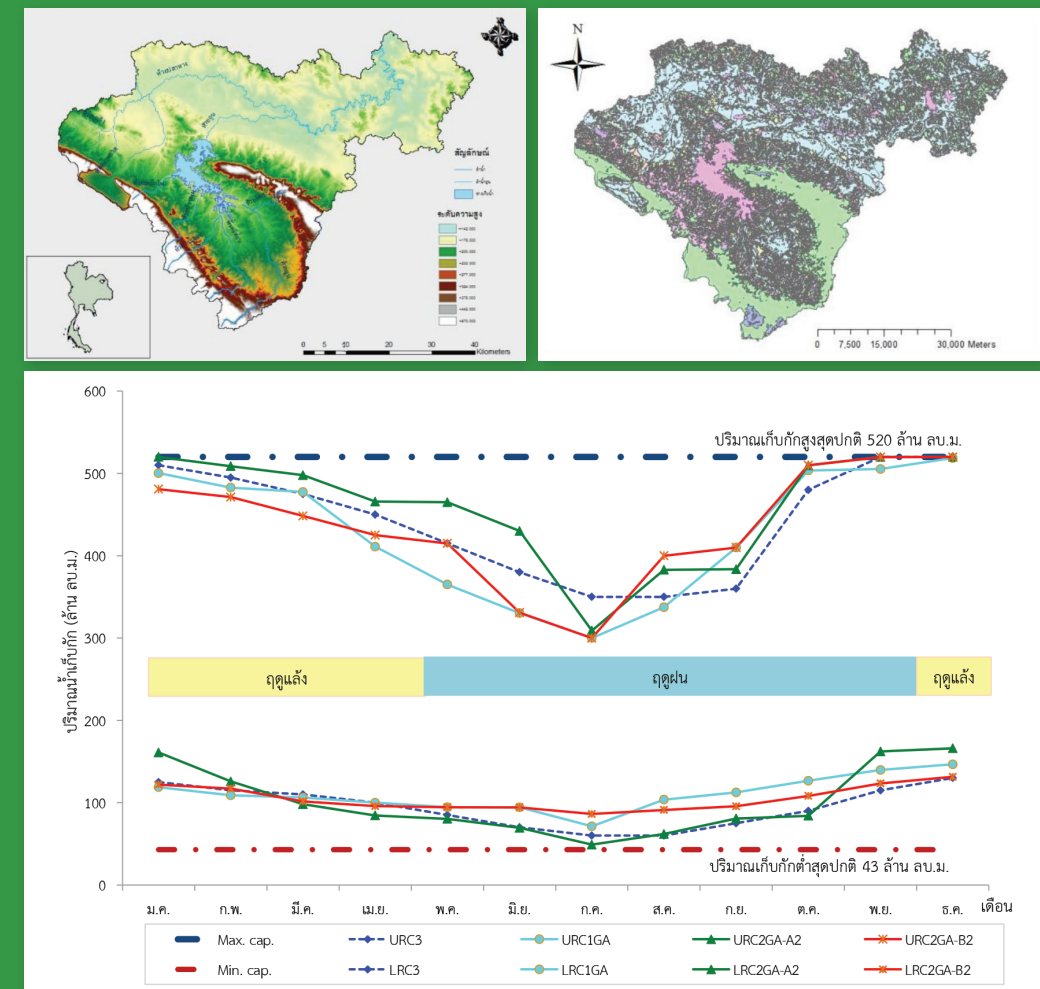
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

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 ศิริอมพรพรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละออศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานแป๊ะ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิพงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.บั้งอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รองศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วังศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดิเทพ รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พวงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

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

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

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

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

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

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกเริ่มสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นทุกขณะ โดยหากเราใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์มาคำนวณและตรวจวัด อาจทำให้เราได้ข้อมูลและข้อสรุปที่น่าสนใจเกิดขึ้นมากมาย ดังตัวอย่างจากงานวิจัยชิ้นหนึ่งที่ได้มีรายงานไว้ในวารสารฉบับนี้ ภายใต้หัวข้อที่เกี่ยวกับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต ภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยา เป็นต้น นอกจากนี้ในวารสารฉบับนี้ยังได้มีรายงานการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์และข้อมูลด้านวิทยาศาสตร์กายภาพ และด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพที่เป็นเรื่องใกล้ตัวอย่างลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดพลาสติกใส เป็นต้น และสำหรับผู้ที่สนใจที่จะส่งนิพนธ์ต้นฉบับเพื่อลงตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารนี้ เรามีความยินดีที่จะเรียนให้ท่านทราบว่า วารสารฯ นี้ได้รับการจัดอันดับในอยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 ตั้งแต่เมื่อวันที่ 15 กันยายน 2559 ที่ผ่านมา และจะมีผลในวงรอบนี้จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 นี้ โดยกองบรรณาธิการขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทางวิชาการแขนงต่างๆ ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของบทความวิจัยทุกบทความเป็นอย่างดี เพื่อให้วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามทุกฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่นี้ เป็นบันทึกและตัวกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและสร้างคุณค่าได้อย่างแท้จริง

รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิขำ

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : การพยากรณ์ปริมาณน้ำทำในภาคใต้ภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยา
และการปรับปรุงโครงสร้างคลุมอ่างเก็บน้ำน้ำอุ่นด้วยเทคนิคเงินตึกอัลกอริทึม

ภาพปก : เจษฎา ตงศิริ และคณะ. 2561, 775-788.

สารบัญ

Computer and Information Science

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหาคุณลักษณะเฉพาะพื้นที่และวิธีการเรียนรู้เชิงลึก
สำหรับการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหม 736

Comparative Study Between Local Descriptors and Deep Learning for Silk Pattern Image Retrieval

นัทวัฒน์ รักสะอาด, โอลาริก สุรินตะ
Nattawat Raksaard, Olarik Surinta

อายุการ์ด: ซอฟต์แวร์มอดูลเพื่อลดปัจจัยการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม 747

EyeGuard: A Software Module for Reducing Factors Causing Computer Vision Syndrome

วันฉัตร พุกขุนทด, จิติมนต์ อังสกุล, ธรา อังสกุล
Wanchat Pookhuntod, Jitimon Angskun, Thara Angskun

Physical Science

การพัฒนาเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝายชนบท จังหวัดขอนแก่น
ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม 759

Development of Operation Rule for the Chonnabot Barrage in Khon Kaen Province using Artificial Neural Network Model

อำนาจ วรรณมาโส, อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
Amnart Wannamaso, Anongrit Kangrang

ระบบคะแนนสำหรับคาบเวลาพฤติกรรมโค 770

Scoring System for Behavioral Time Periods of Cattle

อภิพันธ์ อูร์โสภณ, ธนดล รัตนวงศ์
Apinan Aurasopon, Tanadon Rattanawong

การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยา
และการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม 775

Prediction of Future Inflow under Hydrological Variation Characteristics and Improvement of Nam Oon Reservoir Rule Curve using Genetic Algorithms Technique

เจษฎา ตงศิริ, อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
Jessada Tongsiri, Anongrit Kangrang

การออกแบบและประเมินตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบหลายท่อสำหรับดักฝุ่นละอองขนาดเล็ก
จากโรงบ่มใบยาสูบ 789

Design and Evaluation of a Multiple-tube Electrostatic Collector for Particulate Matter Removal from Tobacco Monopoly Exhaust

วิสูตร อาสนวิจิตร, ฐิติวัฒน์ ปันพาง, พานิช อินตะ
Visut Asanavijit, Thitiwat Panpang, Panich Intra

สารบัญ

- การพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน
เพื่อคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย 804
- Developing a Transportation Model based on 4-Steps Sequential Decision Method
for Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in a University**
- เจษฎา โพธิ์จันทร์, วชิระ วิจิตรพงษ์ษา, ปรีดา พิทยาพันธ์, นัฐพร นวกิจรังสรรค์
Jessada Pochan, Wachira Wichitphongsa, Preda Pichayapan, Nattaporn Nawakitangsan
- Health Science**
- ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่
ในผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 815
- Factors Associated with the Intension to Receive Influenza Vaccination among
Elderly People with Chronic diseases: Warinchamrab District, Ubon Ratchathani Province**
- ปณิตา ครองยุทธ, จินดา คำแก้ว, ปฐวี สาระติ, วิรินรัตน์ สุขวี
Panita Krongyuth, Jinda Khumkaew, Patawee Sarati, Wirinrat Sukaree
- ความชุกของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติ
ของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กในจังหวัดอุบลราชธานี 823
- The Prevalence of Musculoskeletal Pain and Factors Related to Musculoskeletal Disorders
Among Small Drivers of Busses in Ubon Ratchathani Province.**
- บุษบา บุญทน, ลักษณีย์ บุญขาว
Butsaba Bunthon, Laksanee Boonkhao
- Biological Science**
- ลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ 834
- Characteristics and Some Qualities of Clear Plastic Bottled Drinking Water Sold in Surin Province**
- สุบัตินทิธ นิมิตรัน, พัชรารวรรณ สมบัติวงศ์, วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย
Subuntith Nimrat, Phatcharawan Sombutwong, Verapong Vuthiphandchai
- การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำของน้ำตกของอุทยานแห่งชาติภูเรือ 847
- Comparison of Water Quality of Waterfalls in Phu Ruea National Park**
- สุนันทา เนตะคำ, สุนันทา เลาววันยศิริ
Sunanta Natakam, Sunantha Laowansiri

สารบัญ

- การเสริมก้อนเชื้อเห็ดนางรมฮังการี (*Pleurotus ostreatus*) เหลือทิ้งในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อย
ได้แบบปรากฏของโภชนะ จุลินทรีย์ในซีกัม จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก สมรรถภาพการผลิต
คุณภาพไข่ และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง 856
**Effects of Spent Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Substrates (SOMS) Supplementation
in Laying Hens Diets on Apparent Nutrient Digestibility, Cecal Microbiota, Small Intestinal
Histomorphology, Productive Performance, Egg Quality and Fatty Acid Composition of Yolk**
มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, วรางคณา กิจพิพิธ, ชนะชัย วงษ์เพชร
ชยาทิติย์ กฤตโยภาส, พิทยุตม์ ลีอวณิชกิจ, อณัญญา ปานทอง
Manatsanun Nopparatmaitree, Warangkana Kitpipit, Chanachai Wongphetch,
Chayatid Kridtayopas, Pittayut Luewanidchakid, Anunya Panthong
- การตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* 871
และ *Corynespora cassiicola* สาเหตุโรคใบจุดในยางพาราในสภาพห้องปฏิบัติการ
**Response of carbendazim on *Colletotrichum gloeosporioides* and *Corynespora cassiicola*,
causal agents of leaf spot diseases in rubber trees *in vitro***
นิตากร สุวรรณ
Nisakorn Suwan
- ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) 881
ในช่วงฤดูแล้ง
**Effect of Organic Fertilizer on the Growth and Yield of Pangola (*Digitaria eriantha*)
during the Dry Season**
ธันวา ไวยบทย
Thunwa Wiyabot
- การเปลี่ยนแปลงจุลกายวิภาคเหงือกและผิวหนังของลูกปลานิลที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟต 889
**Histological Alterations in Gills and Skin of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)
Fry Exposed to Copper Sulfate**
ขวัญประเสริฐ พันธุ์ชัย, นฤมล แสงประดับ, ชุตินา หาญจวนิช
Kwanprasert Panchai, Narumon Sangpradub, Chutima Hanjavanit

การศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหาคุณลักษณะเฉพาะพื้นที่และวิธีการเรียนรู้เชิงลึกสำหรับการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหม

Comparative Study Between Local Descriptors and Deep Learning for Silk Pattern Image Retrieval

นัทวัฒน์ รักสะอาด¹, โอลาริก สุรินตะ²

Nattawat Raksaard¹, Olarik Surinta²

Received : 18 April 2018 ; Accepted : 11 June 2018

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ และโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) สำหรับการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหมไทย วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ถูกนำมาเพื่อเปรียบเทียบในการสร้างข้อมูลลักษณะพิเศษ ประกอบด้วย วิธี Histogram of Oriented Gradients และวิธี Scale-Invariant Feature Transform ดังนั้น ข้อมูลลักษณะพิเศษจะถูกส่งไปเพื่อคำนวณร่วมกับวิธี K-Nearest Neighbor (KNN) และวิธี Support Vector Machine นอกจากนี้ งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างของวิธี CNN ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet โดยโครงสร้างแบบ LeNet-5 ได้ปรับปรุงโครงสร้างด้วยการเพิ่มจำนวนของโหนดในชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์ และปรับปรุงโครงสร้างของ AlexNet ปรับปรุงโดยลดขนาดของโหนดในชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์ สุดท้ายแล้ว ประเมินประสิทธิภาพระหว่างวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ วิธี CNNs และวิธี CNNs ที่ได้ปรับปรุงโครงสร้างใหม่ จากการทดลองพบว่า วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่เมื่อนำไปคำนวณร่วมกับวิธี KNN มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี CNN

คำสำคัญ: วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ขั้นตอนวิธีการคำนวณเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด k ตำแหน่ง ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน การเรียนรู้เชิงลึก โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

Abstract

This paper aims to do a comparative study of local feature descriptor techniques and convolutional neural networks (CNN) for retrieving Thai silk pattern images. Two feature descriptor techniques, the histogram of oriented gradients and the scale-invariant feature transform, are compared to extract feature vectors from the silk pattern images. We combined the feature vectors extracted from feature descriptor techniques with k-nearest neighbors (KNN) and support vector machine. Then we modified CNN architectures: LeNet-5 and AlexNet. The LeNet-5 was modified by increasing the number of neurons in each layer of the fully connected layers. The AlexNet architecture was modified by reducing the neurons in each layer of the fully connected layers. Finally, we evaluated the local descriptor techniques, the existing CNN architectures and our modified CNN architectures on Thai silk pattern dataset. The results of the study showed that the local descriptor techniques combined with KNN algorithm significantly outperform the CNN methods.

Keywords: local descriptor technique, k-nearest neighbors algorithm, support vector machine, deep learning, convolutional neural networks

¹ นิสิตปริญญาโท, ห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนต์ ระบบอัจฉริยะ และการจำลองสถานการณ์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

² อาจารย์, ห้องปฏิบัติการมัลติเอเจนต์ ระบบอัจฉริยะ และการจำลองสถานการณ์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม 44150

¹ Master Student, Multi-agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL), Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: nattawat.rak@msu.ac.th

² Lecturer, Multi-agent Intelligent Simulation Laboratory (MISL), Department of Information Technology, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: olarik.s@msu.ac.th

บทนำ

การทอผ้าไหมสะท้อนให้เห็นถึงวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของคนสมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน โดยรูปแบบการทอผ้าไหมสะท้อนให้เห็นถึงลักษณะเด่นของลวดลายของแต่ละท้องถิ่น จึงทำให้ลายผ้าไหมที่ทอขึ้นมีเอกลักษณ์ และมีคุณค่า แต่เนื่องด้วยลายผ้าไหมที่ทอขึ้นมีมากมายหลายสิบชื่อ เช่น ลายสร้อยดอกหมาก ลายประตูทอง และลายนกยูง เป็นต้น อีกทั้งบางลวดลายยังมีความใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาเพื่อหาวิธีการการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหม เพื่อให้การค้นคืนรูปภาพมีความถูกต้องสูงที่สุด

การค้นคืนรูปภาพโดยใช้คอนเทนต์ (Content-Based Image Retrieval: CBIR) โดยทั่วไปแล้วสามารถคำนวณได้จากลักษณะเฉพาะของรูปภาพ เช่น สี รูปร่าง เส้นขอบ และพื้นผิว เป็นต้น¹ วิธีที่สามารถนำมาใช้ในการหาคุณลักษณะพิเศษ ได้แก่ Scale-Invariant Feature Transform (SIFT), Histograms of Oriented Gradients (HOG), Local Binary Pattern (LBP) และ Bag of Visual Words (BOW)²⁻⁵ เป็นต้น ซึ่งกล่าวได้ว่าเป็นวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษแบบเฉพาะพื้นที่ (Local Descriptor) เพื่อใช้เป็นตัวแทนของรูปภาพในระดับล่าง (Low-level Feature)⁶ ซึ่ง Local Descriptor สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยด้านอื่น เช่น การรู้จำใบหน้า (Face Recognition) และการค้นหาวัตถุ (Object Detection) เป็นต้น

การค้นคืนรูปภาพสามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าความคล้ายคลึง (Similarity Measure) ระหว่างคุณลักษณะพิเศษ (Feature Extraction) ของรูปภาพที่ต้องการค้นคืน (Query Image) และคุณลักษณะพิเศษของรูปภาพที่อยู่ในฐานข้อมูล รูปภาพที่มีค่าความคล้ายคลึงสูง (High Similarity Score) จะเป็นรูปภาพที่มีความคล้ายคลึงกับ Query Image มากที่สุด ในการแสดงผลลัพธ์ระบบ CBIR จะจัดเรียงลำดับ (Ranking) รูปภาพที่ค้นคืน (Retrieve Image) ตามค่าความคล้ายคลึง หรือเรียกว่า Top N โดยที่ N คือจำนวนของรูปภาพที่ค้นคืน⁷

ในปัจจุบัน การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม และสามารถนำไปใช้กับงานวิจัยได้หลายประเภท เช่น การจำแนกประเภท (Classification) และการจัดกลุ่ม (Clustering) เป็นต้น อีกทั้งยังมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการเรียนรู้เชิงลึก^{6, 7} กับงานวิจัยทางด้าน CBIR ซึ่งเรียกว่าเป็นวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษระดับสูง (High-level Feature) วิธีการเรียนรู้เชิงลึก ที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่ โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) ซึ่งสามารถกำหนดโครงสร้าง (Architecture) ได้ตามไม่จำกัด เช่น โครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet^{8, 9}

ที่ถูกออกแบบให้โครงสร้างมีจำนวน 5 และ 8 Layer ตามลำดับ เป็นต้น

งานวิจัยฉบับนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับวิธีการค้นคืนรูปภาพด้วยวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ร่วมกับวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร (Machine Learning) และวิธีการเรียนรู้เชิงลึก

งานวิจัยของ Karaaba et al.¹⁰ ได้นำเสนอวิธีการระบุใบหน้า (Face Identification) ที่รูปภาพใบหน้าที่มีจำนวนจำกัด (Small Sample Sizes) โดยคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี Bag of Words (BOW) ร่วมกับวิธี Histogram of Oriented Gradients (HOG) ซึ่งเรียกว่า HOG-BOW เพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้ข้อมูลที่มีจำนวนจำกัด เนื่องจากชุดข้อมูล FERET (Face Recognition Technology) และ LFW (Labeled Faces in the Wild) มีจำนวนใบหน้าในแต่ละกลุ่มจำนวนจำกัด เช่น บางบุคคลมีตัวอย่างใบหน้าเพียง 3 รูปภาพ เป็นต้น และใช้วิธีการเรียนรู้ด้วย L2 Support Vector Machine (L2-SVM) เพื่อใช้สร้างโมเดลของใบหน้า ในงานวิจัยยังได้เปรียบเทียบวิธี HOG-BOW กับวิธีอื่น เช่น HOG, Scale Invariant Feature Transform (SIFT), Multi-Subregion based Correlation Filter Bank (MS-CFB), Discriminative Multi-Manifold Analysis (DMMA) จากการทดลองพบว่าวิธี HOG-BOW ให้อัตราการรู้จำใบหน้าสูงที่สุด โดยทดสอบกับข้อมูลชุด FERET มีอัตราการรู้จำใบหน้าที่ 92.62% และข้อมูลชุด LFW มีอัตราการรู้จำใบหน้าที่ 48.92%

งานวิจัยของ Ahonen et al.¹¹ นำเสนอการรู้จำใบหน้า (Face Recognition) โดยพิจารณาจาก รูปร่าง และพื้นผิว (Texture) โดยรูปภาพจะถูกแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อย (Small Region) ที่มีขนาดเท่ากัน จากนั้นส่วนย่อยนั้นจะถูกนำไปคำนวณด้วยวิธี Local Binary Pattern (LBP) และจะถูกใช้เพื่อเป็นตัวแทนของใบหน้า ซึ่งการรู้จำใช้วิธี Nearest Neighbor (NN) ใช้วิธี Chi Square ในการคำนวณ และนำไปทดสอบกับชุดข้อมูล FERET ซึ่งใช้ชุดข้อมูลย่อย ประกอบด้วยชุดข้อมูล fb และ fc จากการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อใช้วิธี LBP ร่วมกับ NN กับข้อมูลชุด fb มีความถูกต้อง 97% และชุดข้อมูล fc มีความถูกต้อง 79%

สำหรับการค้นคืนรูปภาพโดยใช้ คอนเทนต์ (Content-Based Image Retrieval: CBIR) งานวิจัย¹² ได้นำเสนอวิธีการใช้ค่าฮิสโตแกรมของค่าสี (Color Histogram) ที่มีขนาด 256 ซึ่งคือค่าสีแบบ RGB ที่แต่ละพิกเซลมีค่าความสว่าง (Intensity) ตั้งแต่ 0-255 มาทำการเปรียบเทียบ ดังนั้นรูปภาพที่ต้องการค้นคืน และรูปภาพจากฐานข้อมูล จะถูกนำมาเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความคล้ายคลึง (Similarity Function)

เป็นค่าที่ใช้เพื่อกำหนดความคล้ายคลึงระหว่างรูปภาพ โดยงานวิจัย¹³ ได้นำเสนอวิธีการพิจารณาน้ำหนักการกระจายของสีด้วยการกระจายตัวแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) โดยใช้แบบจำลองสี HSV เพื่อใช้สำหรับการค้นคืนรูปภาพ ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองได้มาจาก Corel Stock Photo Gallery และดาวน์โหลดจากอินเทอร์เน็ต จำนวนทั้งสิ้น 10,297 รูปภาพ ซึ่งฮิสโตแกรมสี (Color Histogram) และฮิสโตแกรมสีข้างเคียงถูกนำไปเปรียบเทียบความแตกต่างของสีโดยคำนวณจากการกระจาย น้ำหนักแบบเกาส์เซียน และนำไปคำนวณเพื่อหาค่าระยะห่างของฮิสโตแกรม (Distance Histogram) โดยใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยของการปรับปรุงตำแหน่งของการค้นคืนให้อยู่ในช่วงปกติ (Average Normalized Modified Retrieval Rank: ANMRR) เป็นเครื่องมือวัดประสิทธิภาพ โดยพิจารณาสีข้างเคียงจากสีหลักขนาด 7 สี ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.452

Hazra et al.¹⁴ นำเสนอวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษโดยใช้วิธี Wavelet Moment และ Gabor Filter เพื่อเข้ารหัสรูปภาพ โดยรูปภาพสีจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่อง (Channel) ตามค่าสีแบบ RGB โดยในแต่ละช่อง จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกที่มีขนาดเล็กเพื่อใช้สำหรับนำไปคำนวณ คุณลักษณะพิเศษที่จะถูกนำไปเรียนรู้ด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร ได้แก่วิธี K-Nearest Neighbor (KNN) และวิธี SVM เพื่อทำการค้นคืนรูปภาพที่มีความใกล้เคียง จากนั้นนำรูปภาพที่ค้นคืนได้มาคำนวณหาค่าความคล้ายคลึงระหว่างภาพที่ค้นคืน และรูปภาพที่นำไปเปรียบเทียบ (Query Image) ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือค่าสัมประสิทธิ์ของค่าความคล้ายคลึง โดยวิธี SVM มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี KNN โดยมีความถูกต้องมากกว่า 80%

Singh⁷ นำวิธี CNN ที่ใช้โครงสร้าง LeNet-5 มาใช้ในทางด้าน CBIR เพื่อจำแนกประเภทข้อมูลที่อยู่ในชุดข้อมูลย่อยของ SUN ซึ่งมีรูปภาพจำนวน 3,000 รูปภาพ ที่ประกอบด้วย 8 Class ได้แก่ น้ำ รถ ภูเขา พื้นดิน ต้นไม้ ตึก หิมะ และท้องฟ้า ในการทดลองได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 80% สำหรับข้อมูลชุดเรียนรู้ และ 20% สำหรับข้อมูลชุดทดสอบ ข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการทดลองถูกแปลงให้เป็นสีเทา และเปลี่ยนขนาดเป็น 28x28 พิกเซล จากการทดลองพบว่าวิธี CNN มีความผิดพลาด (Error Rate) ในการจำแนกประเภทข้อมูล 27.97% ซึ่งน้อยกว่าวิธี Bag of Words ที่มีความผิดพลาดสูงถึง 47.44%

งานวิจัยฉบับนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการค้นคืนรูปภาพด้วยวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ประกอบด้วยวิธี SIFT และ HOG ซึ่งเป็น Low-level Feature ร่วมกับวิธี SVM และการหาค่าระยะห่างแบบ Euclidean (Euclidean

Distance) และวิธีการเรียนรู้เชิงลึก แบบ CNN โดยใช้โครงสร้าง LeNet-5 และ AlexNet ซึ่งเป็นการหาคุณลักษณะพิเศษระดับสูง เพื่อทดสอบกับข้อมูลชุดผ้าไหมไทย (Thai Silk Pattern Dataset) ทั้งสิ้น 10 ลาย จำนวน 300 รูปภาพ ที่เก็บอยู่ในรูปแบบภาพสี (Color Image)

วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ (Local Descriptor Technique)

วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยวิธี Histogram of Oriented Gradients (HOG) และวิธี Scale-Invariant Features Transform (SIFT)

Histogram of Oriented Gradients (HOG)

วิธี HOG ถูกนำเสนอในงานวิจัย³ การคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธีนี้ รูปภาพจะถูกแปลงให้เป็นสีเทา และนำไป Convolution กับเคอร์เนล (kernel) เพื่อทำการหาภาพขอบ (Edge Detection)¹⁵ สามารถคำนวณกับ Kernel แบบง่าย เช่น¹⁷ จากนั้นจึงแบ่งรูปภาพออกเป็นพื้นที่ย่อย หรือเรียกว่าบล็อก เพื่อนำพื้นที่ย่อยไปคำนวณหา Gradient ในแนวแกน และ ดังสมการ (1) และ (2)

$$G_x = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad (1)$$

$$G_y = I(x, y + 1) - I(x, y - 1) \quad (2)$$

โดยที่

$I(x, y)$ คือค่าของพิกเซล ณ ตำแหน่ง ของรูปภาพ I จากนั้นจึงนำค่า G_x และ G_y ไปคำนวณหาค่า Gradient Orientation θ ดังสมการ (3)

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \frac{G_y}{G_x} \quad (3)$$

สุดท้าย Gradient Orientation ของแต่ละบล็อกจะถูกนำไป Weighted และจัดเก็บลงในฮิสโตแกรมตามขนาดของ Orientation Bin β

ดังนั้น หากกำหนดให้รูปภาพถูกแบ่งออกเป็น 3 x 3 บล็อก และกำหนดให้ β มีจำนวน 8 Bin คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี HOG จะมีคุณลักษณะพิเศษจำนวน 72 (3 x 3 x 8) คุณลักษณะ

Scale-Invariant Features Transform (SIFT)

วิธี SIFT ถูกนำเสนอโดย Lowe² เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบจุดสำคัญ (Keypoint) ที่คล้ายคลึงกันระหว่างรูปภาพสองรูป ได้แก่ รูปที่นำไปค้นหา (Query Image) และรูปภาพที่ต้องการค้นคืน (Retrieve Image) โดยนำรูปภาพทั้ง

สองไปหา Keypoint เพื่อนำมาเป็นลักษณะเด่นของแต่ละรูปภาพ จากนั้นคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษจากพื้นที่บริเวณรอบ Keypoint ขั้นตอนต่อไป นำคุณลักษณะพิเศษของแต่ละ Keypoint จาก Query Image ไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะพิเศษของ Keypoint จากรูปภาพที่ต้องการค้นคืน เพื่อหา Keypoint ที่มีความคล้ายคลึงกันมากที่สุด สุดท้ายแล้ว จะทำให้รู้ว่า Query Image ที่นำไปค้นคืนคล้ายคลึงกับบริเวณไหนของ Retrieve Image ที่สุด โดยคุณลักษณะพิเศษที่คำนวณได้ในแต่ละ Keypoint มีจำนวน 128 คุณลักษณะ เนื่องจากบริเวณพื้นที่รอบ Keypoint แต่ละจุด จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด 4 x 4 แต่ละบล็อกถูกกำหนดให้มี Orientation Bin จำนวน 8 Bin (4 x 4 x 8)¹⁶

ในการคำนวณหาคุณลักษณะพิเศษด้วยวิธี SIFT รูปภาพจะถูกแปลงให้เป็นภาพสีเทา และนำไป Convolution โดยใช้ Gaussian Kernel ดังสมการ (4)

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) * I(x, y) \quad (4)$$

โดยที่

$G(x, y, \sigma)$ คือ Gaussian Kernel

$I(x, y)$ คือค่าของพิกเซล ณ ตำแหน่ง x, y ของรูปภาพ I

σ คือความกว้างของ Gaussian Kernel

จากนั้นคำนวณหาค่า Gradient Orientation θ ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง ดังสมการ (5) และสมการ (6)

$$G_x = I(x + 1, y, \sigma) - I(x-1, y, \sigma) \quad (5)$$

$$G_y = I(x, y + 1, \sigma) - I(x, y-1, \sigma) \quad (6)$$

จากนั้น ค่า G_x และ G_y ถูกนำไปคำนวณหาค่า Gradient Orientation $\theta(x, y)$ เพื่อนำค่า θ ไปจัดเก็บลงในฮิสโตแกรมโดยกำหนดให้ $\beta = 8$

ขั้นตอนสุดท้าย นำคุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี HOG และ SIFT ไปเรียนรู้และจำแนกประเภทด้วยวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร โดยใช้วิธี SVM¹⁷ ที่ใช้ RBF Kernel และ KNN¹⁸ ที่กำหนดให้ K=1 และใช้วิธี Euclidean เพื่อหาค่าระยะห่าง

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

งานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอการเรียนรู้เชิงลึกที่ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน โดยเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet (4, 8-9)

โครงสร้างแบบ LeNet-5 (LeNet-5 Architecture)

โครงสร้างแบบ LeNet-5 นำเสนอโดย LeCun et al.²⁰ โดยเพิ่มชั้นการคำนวณแบบคอนโวลูชัน (Convolutional) เข้าไปในโครงข่าย ส่งผลให้โครงข่ายสามารถสกัดลักษณะเด่นจากรูปภาพ และจำแนกประเภทได้ในคราวเดียวกัน โครงข่าย CNN ประกอบด้วย 3 ชั้นหลัก ดังต่อไปนี้

ชั้นคอนโวลูชัน (Convolutional Layer)

ลักษณะเด่นของโครงข่ายแบบ CNN ก็คือการทำงานของ Convolutional Layer ที่คำนวณเพื่อหาชั้นของผลลัพธ์ซึ่งเรียกว่า Feature Map ด้วยการนำพื้นที่ส่วนย่อยรูปภาพ (Sub-region) ไปคำนวณแบบ dot product กับเคอร์เนล (Kernel) โดย Kernel ที่นำมาคำนวณจะต้องมีขนาดเล็กกว่ารูปภาพ การคำนวณของ Convolutional Layer แสดงดัง Figure 1

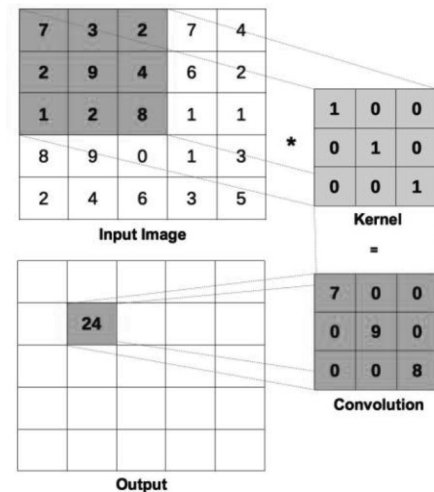


Figure 1 Convolution method with the dot product calculation between kernel and sub-region of the image.

ชั้นพูลลิ่ง (Pooling Layer)

Pooling Layer เป็นชั้นที่เชื่อมจาก Convolutional Layer โดยมีเป้าหมายคือทำให้ขนาดของ Feature Map ลดลง ในการคำนวณสามารถใช้ค่าต่ำสุด (Min Pooling) ค่าสูงสุด (Max Pooling) ผลรวม (Sum Pooling) และค่าเฉลี่ย (Average Pooling)²² ในการคำนวณ Feature Map จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกขนาด ซึ่งหากใช้วิธี Max Pooling ในการคำนวณ ค่าที่ได้ก็คือค่าสูงสุด (Max Value) ของแต่ละบล็อก

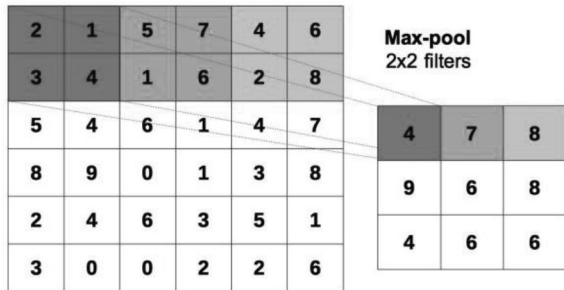


Figure 2 The illustration of max pooling with 2x2 filter and stride 2.

Figure 2 แสดงวิธีการคำนวณ Max Pooling จาก Feature Map ที่มีขนาด 6 x 6 บล็อก ในการคำนวณกำหนดให้ Pool มีขนาด 2 x 2 บล็อก ข้อมูลที่อยู่ในบล็อกที่ $F(m_i, n_i)$ ประกอบด้วย $\begin{Bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 4 \end{Bmatrix}$ ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำ Max Pooling คือ 4 จากนั้นจึงเลื่อน Pool ไปยังบล็อกถัดไป $F(m_i, n_{i+1})$ และทำไปจนกระทั่งบล็อกสุดท้าย

ชั้นเชื่อมโยงสมบูรณ์ (Fully-Connected Layer)

Fully-Connected Layer ก็คือ Hidden Layer และ Output Layer ของโครงข่ายประสาทเทียม ดังนั้น Fully-Connected Layer จึงทำหน้าที่ในการเรียนรู้ (Training) และการจำแนกประเภทของวัตถุ โดยผลลัพธ์ที่ได้ก็คือจำนวนของ Class ที่ต้องการจำแนก

โครงข่ายแบบ CNN สามารถที่จะเพิ่ม Convolutional Layer และ Pooling Layer ได้อย่างไม่จำกัด จากงานวิจัย โครงสร้างแบบ LeNet-5 ถูกกำหนดให้มีโครงสร้างดังต่อไปนี้

- Convolutional Layer 1 (Conv1) จำนวน 6 Feature Map, Filter ขนาด 5x5 และ Stride=1
- Avg-Pooling Layer 2 (Max-Pool2) จำนวน 6 Layer, Pool ขนาด 2x2 และ Stride=2
- Convolutional Layer 3 (Conv3) จำนวน 16 Feature Map, Filter ขนาด 5x5 และ Stride=1
- Avg-Pooling Layer 4 (Max-Pool4) จำนวน 16 Layer, Pool ขนาด 2x2 และ Stride=2
- Fully-Connected (FC) ที่ชั้น FC5 มีจำนวน 120 โหนด (Node) ชั้น FC6 มีจำนวน 84 Node และชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) จำนวน 10 Node

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ปรับปรุงโครงสร้างแบบ LeNet-5 โดยโครงสร้างใหม่ แสดงดังต่อไปนี้

- Conv1 จำนวน 128 Feature Map, Filter ขนาด 3x3 และ Stride=1
- Max-Pool2 จำนวน 128 Layer, Pool ขนาด

3x3 และ Stride=2

- Conv3 จำนวน 28 Feature Map, Filter ขนาด

3x3 และ Stride=1

- Max-Pool4 จำนวน 28 Layer, Pool ขนาด 2x2

และ Stride=2

- Fully-Connected (FC) ที่ชั้น FC5 มีจำนวน 3,136 Node ชั้น FC6 มีจำนวน 500 Node และผลลัพธ์ (Output Layer) จำนวน 10 Node

โครงสร้างแบบ LeNet-5⁹ แสดงดัง Figure 3a) และโครงสร้าง LeNet-5 ที่ถูกปรับปรุงและใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ แสดงดัง Figure 3b)

โครงสร้างแบบ AlexNet (AlexNet Architecture)

โครงสร้างแบบ AlexNet ถูกนำเสนอในงานวิจัย⁹ โดยโครงสร้างมีจำนวน Layer ทั้งหมด 8 Layer ประกอบไปด้วย Convolutional Layer จำนวน 5 Layer และ Fully-Connected Layer จำนวน 3 Layer รายละเอียดของโครงสร้างแบบ AlexNet แสดงดังต่อไปนี้

- Conv1 จำนวน 96 Feature Map, Filter ขนาด 11x11x3 และ Stride=4
- Max-Pool1 จำนวน 96 Layer, Pool ขนาด 2x2 และ Stride=2
- Conv2 จำนวน 256 Feature Map, Filter ขนาด 5x5x48 และ Stride=2
- Max-Pool2 จำนวน 256 Layer, Pool ขนาด 2x2 และ Stride=2
- Conv3 จำนวน 384 Feature Map, Filter ขนาด 3x3x256 และ Stride=2
- Conv4 จำนวน 384 Feature Map, Filter ขนาด 3x3x192 และ Stride=2
- Conv5 จำนวน 256 Feature Map, Filter ขนาด 3x3x192 และ Stride=2
- Max-Pool3 จำนวน 28 Layer, Pool ขนาด 2x2 และ Stride=2
- Fully-Connected (FC) ที่ชั้น FC1 มีจำนวน 4,096 Node ชั้น FC2 มีจำนวน 4,096 Node และ FC3 หรือชั้นผลลัพธ์ (Output Layer) จำนวน 10 Node

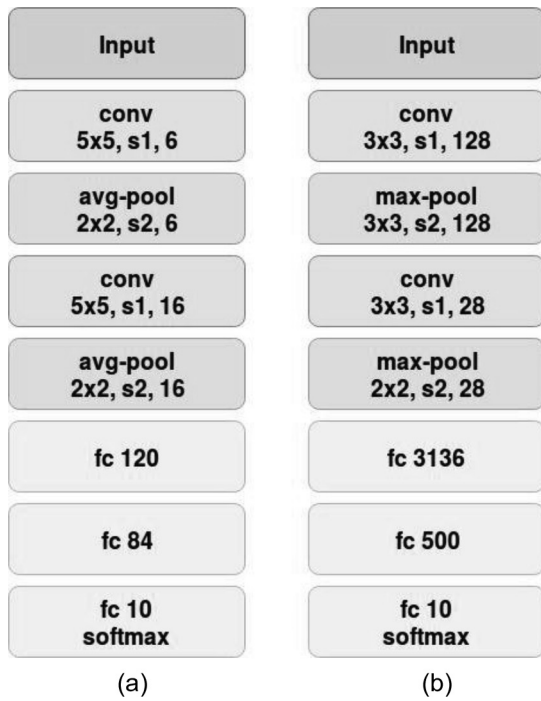


Figure 3 Architectures of the convolutional neural network (CNN). a) The original LeNet-5 architecture (9) and b) the LeNet-5 architecture used in our experiments.

โครงสร้างแบบ AlexNet⁸ แสดงดัง Figure 4a) และในงานวิจัยฉบับนี้ได้ปรับปรุงโครงสร้างแบบ AlexNet ในส่วนของ Fully-Connected Layer โดยลดจำนวนของ Node ลงเพื่อลดเวลาในการประมวลผล อีกทั้งยังทำให้ประสิทธิภาพของโครงสร้างแบบ AlexNet เพิ่มขึ้น โครงสร้างใหม่แสดงดัง Figure 4b)

ชุดข้อมูลลายผ้าไหมไทยและผลการทดลอง (Thai Silk Pattern Dataset and Experimental Results)

ในส่วนนี้อธิบายถึงชุดข้อมูลลายผ้าไหมที่ใช้ในการทดลอง วิธีการเลือกข้อมูลชุดเรียนรู้ และผลลัพธ์ และการอภิปรายผลที่ได้จากการทดลอง

ชุดข้อมูลลายผ้าไหมไทย (Thai Silk Pattern Dataset)

รูปภาพลายผ้าไหม ที่ใช้ในงานวิจัยเก็บรวบรวมมาจากศูนย์จำหน่ายสินค้า OTOP บ้านหนองเขื่อนช้าง จำนวนทั้งสิ้น 10 ลาย ชื่อของลายผ้าไหมที่แสดงใน Figure 5 ประกอบด้วย ลายกระจับजू ลายนกยูง ลายกระจับหนาม ลายกุญแจใจ ลายน้ำฟ้าคาดทอง ลายนาคน้อย ลายตะขอ ลายสร้อยดอกหมาก ลายสร้อยดอกหมากเล็ก และลายไข่มดแดง ตามลำดับ

ชุดข้อมูลลายผ้าไหมมีจำนวน 300 รูปภาพ เก็บรวบรวมลายละ 30 รูปภาพ โดยทุกรูปจัดเก็บเป็นภาพสีแบบ RGB (RGB Color Space) จากนั้น รูปภาพลายผ้าไหมทุกรูปถูกเลือกเฉพาะส่วน (Crop) ที่เป็นลายผ้าไหมเท่านั้น และเปลี่ยนรูปภาพให้มีขนาด (Normalized) 450x650 พิกเซล ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Test Set) ได้มาจากการสุ่มเลือก (Random Crop) จากรูปภาพลายผ้าไหม โดยรูปภาพลายผ้าไหมหนึ่งรูปจะถูกสุ่มเลือกจำนวน 3 ครั้ง ดังนั้น รูปภาพใน Test Set จะมีจำนวนทั้งสิ้น (10 ลายx 30 รูปภาพ x 3 ครั้ง) 900 รูปภาพต่อการ Crop หนึ่งครั้ง



Figure 4 The architecture of AlexNet. a) The AlexNet architecture presented in (8) and b) the AlexNet architecture used in our experiments.

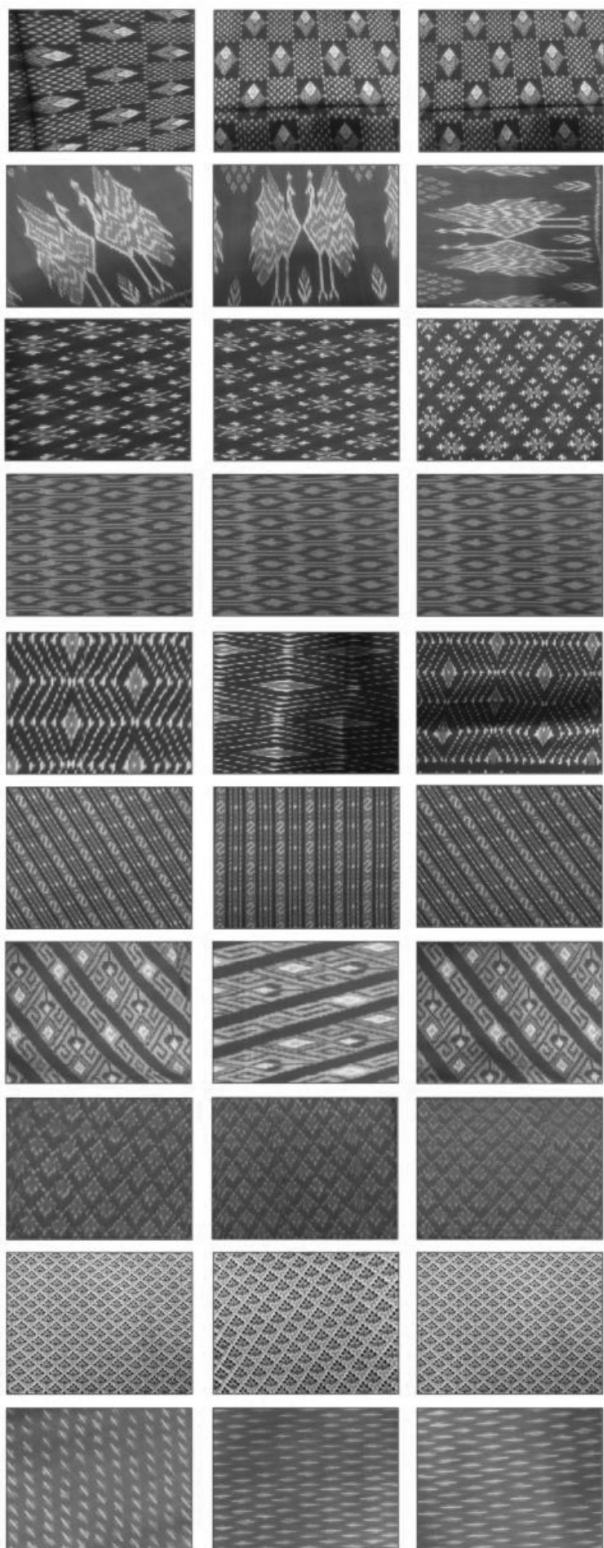


Figure 5 Sample images from the Thai silk pattern dataset. Note that, the images on each row represent one class.

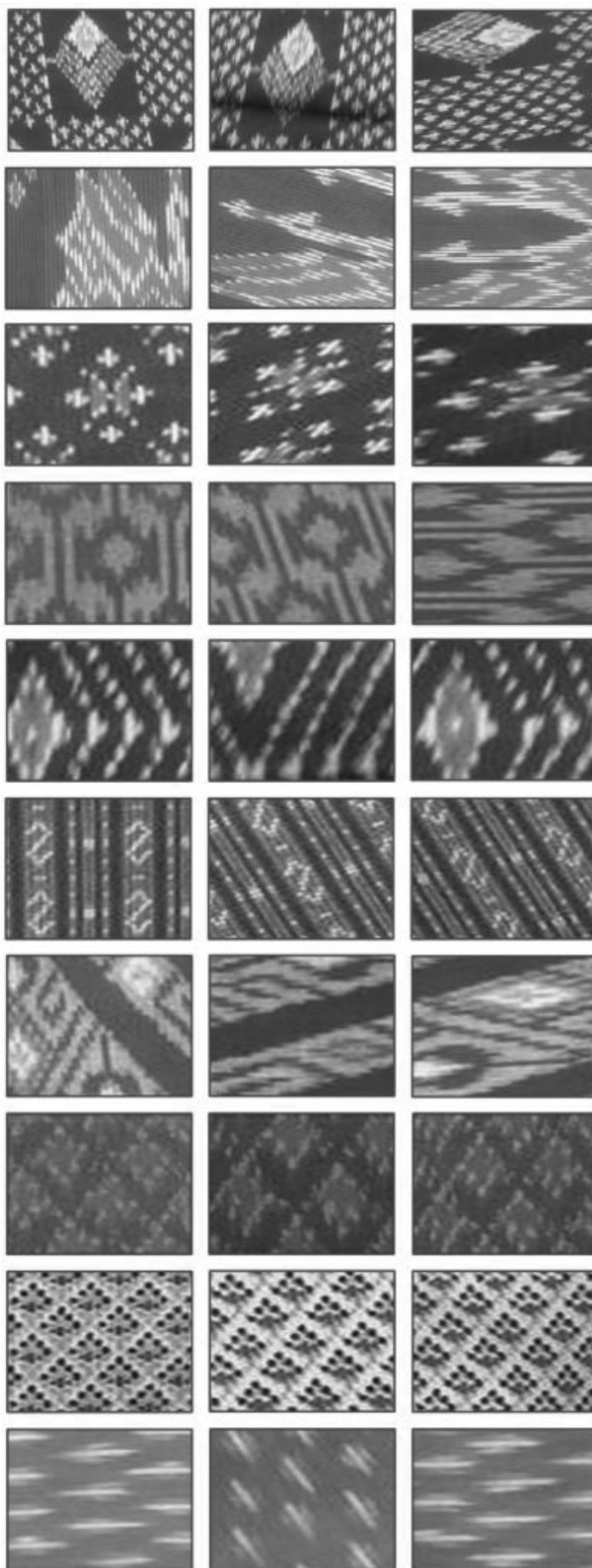


Figure 6 Test images random cropping from the whole image. In these sample images, size of the test image is 30 percent smaller than the original image.

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง (Experimental Results)

งานวิจัยฉบับนี้ ใช้วิธี K-Fold Cross Validation เพื่อแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย ข้อมูลชุดเรียนรู้ (Training Set) และข้อมูลชุดทดสอบ (Test Set) โดยกำหนดให้ $k = 5$

การทดลองกำหนดให้มี Test Set จำนวน 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 กำหนดให้การ Crop รูปภาพมีขนาดเป็น 30% (Crop-30) และข้อมูลชุดที่ 2 กำหนดให้ Crop รูปภาพขนาด 40% (Crop-40) ดังนั้น รูปภาพที่ได้จากการ Crop ขนาด 30% จะมีขนาดของภาพเป็น 135x180 พิกเซล และการ Crop ขนาด 40% จะมีขนาดของภาพเป็น 180x240 พิกเซล Figure 6 แสดงตัวอย่างของรูปภาพที่ได้จากการ Crop ขนาด 30%

วิธีที่ใช้ในการทดสอบการค้นคืนลายผ้าไหมแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ 1) วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบ Convolutional Neural Network (CNN) โดยใช้โครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet และ 2) วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ประกอบด้วยวิธี SIFT และ HOG ร่วมกับวิธี SVM และการหาค่าระยะห่างแบบ Euclidean

การทดลองด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก รูปภาพที่ใช้การการเรียนรู้และการทดสอบจะถูกเปลี่ยนให้มีขนาด 128x128 พิกเซล โดยกำหนดพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้ Learning rate กำหนดเป็น 0.001 จำนวนรอบ (Iteration) ที่ใช้ในการเรียนรู้ จำนวน 200 รอบ จำนวนข้อมูลต่อครั้งที่ใช้ในการเรียนรู้ (Batch Size) จำนวน 32

สำหรับการทดลองด้วยวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ รูปภาพที่ใช้ในการเรียนรู้จะมีขนาด 450x650 พิกเซล และรูปภาพที่ใช้ในการทดสอบมีสองขนาดคือ 135x180 และ 180x240 พิกเซลสำหรับการ Crop ขนาด 30 และ 40% ตามลำดับ

ในการทดสอบประสิทธิภาพด้วยวิธี HOG พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย ขนาดของบล็อกที่กำหนดให้มีขนาด 1x1 บล็อก และกำหนดให้ Orientation bin มีจำนวน 128 Bin ดังนั้น คุณลักษณะพิเศษที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธี HOG จึงมีจำนวน 128 คุณลักษณะต่อรูปภาพ 1 รูป

สำหรับวิธี SIFT พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย จำนวนของ Keypoint ต่อรูปภาพ 1 รูป ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีจำนวนรูปภาพละ 1 Keypoint ในการคำนวณ 1 Keypoint จะคำนวณคุณลักษณะพิเศษได้ 128 คุณลักษณะ

สำหรับการทดลองด้วยวิธี SVM กำหนดให้ใช้ Kernel แบบ RBF และใช้วิธี Grid Search เพื่อค้นหาพารามิเตอร์ C และ gamma โดยค้นหาตั้งแต่ช่วง $\{2^{-3}, 2^{-2}, \dots, 2^3, 2^4\}$ จากนั้นเลือก C และ gamma ที่ให้ผลในการทดสอบสูงที่สุด

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหมด้วยวิธีที่แตกต่างกัน 6 วิธี แสดงดัง Figure 7

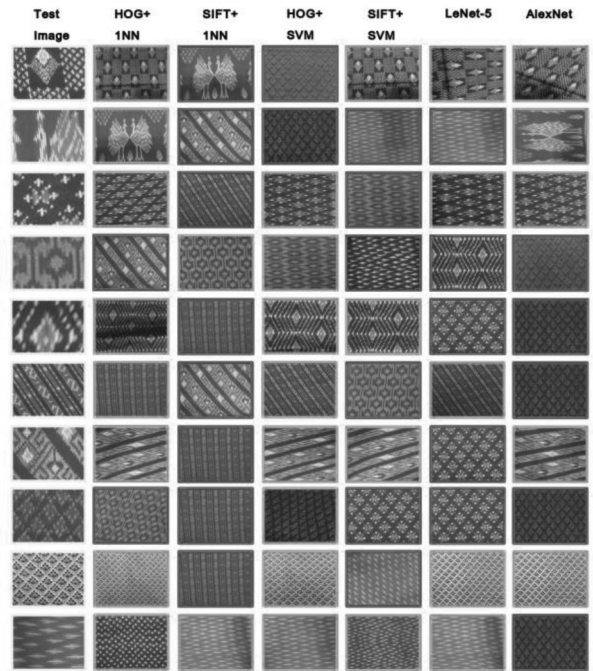


Figure 7 Example of retrieve images. Each row shows the retrieved results for each technique given a test image (first column).

Table 1 แสดงให้เห็นถึงอัตราความถูกต้องในการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหมด้วยการเรียนรู้เชิงลึกโดยใช้วิธี CNN และกำหนดโครงสร้างแบบ LeNet-5 ในงานวิจัยได้ทดสอบโครงสร้างแบบ LeNet-5 ที่อ้างอิงตามงานวิจัย (9) (โครงสร้างแสดงดัง Figure 3a) และโครงสร้างที่แสดงใน Figure 3b โดยโครงสร้างทั้งสองมีความแตกต่างกัน ดังนี้ 1) จำนวนของ Convolution Kernel 2) จำนวนของ Feature Map 3) วิธีการทำ Pooling และ 4) จำนวน Node ในชั้น Fully-Connected

Table 1 Accuracy results (accuracy and standard deviation) using different LeNet-5 parameters for the Thai silk pattern dataset.

Methods	Test Accuracy	
	Crop-30	Crop-40
Ori-Avg-pool (Top-1) (9)	50.19±2.90	61.94±2.29
Ori-Max-pool (Top-1) (9)	49.07±4.62	55.06±3.40
Our-Avg-pool (Top-1)	63.18±1.41	71.44±2.08
Our-Max-pool (Top-1)	64.06±2.25	76.98±2.29

จากการทดลองพบว่า โครงสร้างแบบ LeNet-5 ที่ผู้วิจัยได้ออกแบบ (Our-Max-pool) มีอัตราการค้นคืนรูปภาพสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบ LeNet-5 ที่นำเสนอใน⁹ โดยมีอัตราการค้นคืน 64.06% และ 76.98% ในข้อมูล Crop-30 และ Crop-40 ตามลำดับ ซึ่งมีอัตราการค้นคืนสูงกว่าที่นำเสนอใน⁹ มากกว่า 10% โดยผลการค้นคืนแสดงเฉพาะ Top-1 เท่านั้น

ในส่วนของการทดลองโครงสร้างแบบ AlexNet ผู้วิจัยได้ทดสอบด้วยการลดจำนวนของ Node ในชั้น Fully-Connected²¹ จากจำนวน 4,096 โหนด เป็น 1,024 โหนด 512 โหนด และ 256 โหนด ตามลำดับ

ผลการทดลองใน Table 2 แสดงให้เห็นว่าการลดขนาดของโหนดส่งผลให้อัตราการค้นคืนภาพสูงขึ้น และเมื่อทดสอบกับชุดข้อมูลลายผ้าไหมไทยพบว่าจำนวนโหนด 512 โหนด มีผลการทดลองสูงที่สุดที่ 44.70% และ 55.58% ในชุดข้อมูล Crop-30 และ Crop-40 ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet พบว่าโครงสร้างแบบ LeNet-5 มีอัตราการค้นคืนสูงกว่าโครงสร้างแบบ AlexNet

Table 2 Test Accuracy comparison among different numbers of nodes in the AlexNet architecture on the Thai silk pattern dataset.

Number of nodes	Test Accuracy	
	Crop-30	Crop-40
256	41.52±1.46	47.54±1.54
512	44.70±0.94	55.58±1.04
1024	34.71±2.07	40.44±1.12
4096	27.42±0.84	32.65±1.62

Table 3 Performances of the 6 different techniques on the Thai silk pattern dataset.

Methods	Test Accuracy	
	Crop-30	Crop-40
HOG+1NN	92.05±0.31	89.73±0.79
SIFT+1NN	23.03±0.46	57.99±0.33
HOG+SVM	74.92±1.94	82.68±4.67
SIFT+SVM	42.8±6.98	40.24±1.08
Our-LeNet-5 (Top-1)	64.06±2.25	76.98±2.29
AlexNet-512 (Top-1)	44.70±0.94	55.58±1.04

Table 3 แสดงให้เห็นถึงอัตราการค้นคืนรูปภาพด้วยลายผ้าไหมด้วยวิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ที่ประกอบด้วยวิธี HOG+1NN, SIFT+1NN, HOG+SVM และ SIFT+SVM และเปรียบเทียบอัตราการค้นคืนกับวิธี CNN โดยใช้โครงสร้างแบบ Our-LeNet-5 (Top-1) และ AlexNet-512 (Top1)

จากการทดลองพบว่าวิธี HOG+1NN มีอัตราการค้นคืนสูงที่สุดในชุดข้อมูล Crop-30 และ Crop-40 โดยมีอัตราการค้นคืน 92.05% และ 89.73% ตามลำดับ ในทางกลับกันวิธี SIFT+1NN และ SIFT+SVM มีอัตราการค้นคืนต่ำที่สุด 23.03% สำหรับชุดข้อมูล Crop-30 และ 57.09% สำหรับชุดข้อมูล Crop-40

สรุปผล

วิธีการที่ใช้ในการค้นคืนรูปภาพลายผ้าไหมที่นำเสนอในงานวิจัยฉบับนี้มีทั้งสิ้น 2 วิธี 1) วิธีการหาคุณลักษณะพิเศษเฉพาะพื้นที่ ประกอบด้วยวิธี Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) และ Histogram of Oriented Gradients (HOG) ร่วมกับวิธีการเรียนรู้เครื่องจักร ด้วยวิธี Support Vector Machine (SVM) และการหาค่าระยะห่างแบบ Euclidean และ 2) วิธีการเรียนรู้เชิงลึกแบบ Convolutional Neural Network (CNN) โดยใช้โครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet

โดยทั้งสองวิธีข้างต้นถูกนำไปทดสอบกับชุดข้อมูลลายผ้าไหมไทย (Thai Silk Pattern Dataset)

จากการทดลองกับชุดข้อมูลลายผ้าไหมไทย โดยมี Test Set ทั้งสิ้น 2 ชุด ประกอบด้วย Crop-30 และ Crop-40 ปรากฏว่าวิธี HOG+1NN มีอัตราการค้นคืนสูงกว่าวิธีอื่นทั้งหมด โดยมีอัตราการค้นคืนในข้อมูล Crop-30 และ Crop-40 ที่ 92.05% และ 89.73% ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบวิธี CNN โดยใช้โครงสร้างแบบ LeNet-5 และ AlexNet ปรากฏว่า LeNet-5 มีอัตราการค้นคืนมากกว่า 20% โดยประมาณ ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนของรูปภาพลายผ้าไหมที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนจำกัด

งานวิจัยฉบับต่อไป การเพิ่มจำนวนของ Training Set หรือที่เรียกว่า Data Augmentation และวิธีการ Transfer Learning²⁰⁻²² อาจส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของวิธี CNN เพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Bhute A.N. Meshram B.B. Content Based Image Indexing and Retrieval. International Journal of Graphics & Image Processing 2013; 3(4):235-246.
- Lowe D.G. Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. International Journal of Computer Vision 2004; 60(2): 91-110.
- Dalal N, Triggs B. Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2005, pp. 886–893.
- Heusch G, Rodriguez Y, Marcel S. Local Binary Patterns as an Image Preprocessing For Face Authentication. International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2006. pp. 6-14.
- Shekhar R, Jawahar C.V. Word Image Retrieval using Bag of Visual Words. 10th International Workshop on Document Analysis Systems (DAS), 2012. pp. 297-301.
- Wan J, Wang D, Hoi S, Wu P, Zhu J, Zhang Y, Li J. Deep Learning for Content-based Image Retrieval: A Comprehensive Study. the 22nd International Conference on Multimedia, 2014. pp. 157-166.
- Singh A.V. Content-based Image Retrieval using Deep Learning. Rochester Institute of Technology, 2015.
- Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G.E. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 2012. pp. 1097-1105.
- LeCun Y, Bottou L, Bengio Y, Haffner P. Gradient-based Learning Applied to Document Recognition. Proceedings of the Institute of Electrical and Electronic Engineers; 1998:86(11), pp. 2278-2324.
- Karaaba M.F, Surinta O, Schomaker L.R.B, Wiering M.A. Robust Face Identification with Small Sample Sizes using Bag of Words and Histogram of Oriented Gradients. the 11th Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP), 2016. p. 582-589.
- Ahonen T, Hadid A, Pietikäinen, M. Face Recognition with Local Binary Patterns. European Conference on Computer Vision (ECCV), Berlin, Heidelberg; 2004. p. 469-481.
- อนุมาศ แสงสว่าง. การสืบค้นรูปภาพจากการเปรียบเทียบค่าฮิสโตแกรมโดยใช้เวกเตอร์โมเดล. การประชุมวิชาการระดับชาติ เภยจมิตรวิชาการ ครั้งที่ 2, 2011, pp. 1–9.
- ประภาพร กุลลิมรัตน์ชัย. การค้นคืนภาพโดยพิจารณาหน้าหนังสือการกระจายของสีด้วยการกระจายตัวแบบเกาส์เขียนสำหรับฮิสโตแกรมสีในแบบจำลองสี HSV. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์น เอเชียนฉบับ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, vol. 6, no. 2, pp. 101–9, 2012.
- Hazra T.K, Chowdhury S.R, Chakraborty A.K. Encrypted Image Retrieval System: A Machine Learning Approach. the 7th Annual Conference on Information Technology, Electronics and Mobile Communication, 2016. pp. 1-6.
- Surinta O, Karaaba M.F, Schomaker L.R, Wiering M.A. Recognition of Handwritten Characters using Local Gradient Feature Descriptors. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2015; 45: 405-414.
- Surinta O, Karaaba, M.F, Mishra T.K, L.R, Wiering M.A. Recognizing Handwritten Characters with Local Descriptors and Bags of Visual Words. Engineering Applications of Neural Networks (EANN), 2015. p. 255-264.
- Vapnik V. Statistical Learning Theory. Wiley, New York, 1998.
- Kumar M, Jindal M, Sharma R. K-Nearest Neighbor Based Offline Handwritten Gurmukhi Character Recognition. International Conference on Image Information Processing, 2011. pp. 1–4
- Le Cun Y, Matan O, Boser B, Denker J.S, Henderson D, Howard R.E, Baird H.S. Handwritten Zip Code

- Recognition with Multilayer Networks. The 10th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), 1990; 2:35-40.
20. Pawara P, Okafor E, Surinta O, Schomaker L.R, Wiering M.A. Comparing Local Descriptors and Bags of Visual Words to Deep Convolutional Neural Networks for Plant Recognition. the 6th International Conference on Pattern Recognition Applications and Model (ICPRAM), 2017.pp. 479-486.
 21. Pawara P, Okafor E, Schomaker L.R, Wiering M.A. Data Augmentation for Plant Classification. International Conference on Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS), 2017. pp. 615-626.
 22. Okafor E, Pawara P, Karaaba F, Surinta O, Codreanu V, Schomaker L.R, Wiering M.A. Comparative Study Between Deep Learning and Bag of Visual Words for Wild-Animal Recognition. Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI), 2016. pp. 1-8.

อายุการ์ด: ซอฟต์แวร์มอดูลเพื่อลดปัจจัยการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม

EyeGuard: A Software Module for Reducing Factors Causing Computer Vision Syndrome

วันฉัตร พุกนท¹, จิติมนต์ อังสกุล², ธรา อังสกุล³

Wanchat Pookhantod¹, Jitimon Angskun², Thara Angskun³

Received : 27 February 2018 ; Accepted : 6 July 2018

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพบผู้มีอาการคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมหรืออาการเจ็บป่วยทางสายตาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอซอฟต์แวร์มอดูลชื่ออายุการ์ดเพื่อลดปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการพัฒนามอดูลในงานวิจัยนี้ได้แก่ การกระพริบตา ระยะห่างระหว่างตาผู้ใช้กับหน้าจอ เวลาในการเพ่งมองจออุปกรณ์ และองศาในการเพ่งมองจอ อายุการ์ดใช้หลักการปฏิสัมพันธ์ของมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ และมีเอพีไอ เพื่อให้ นักพัฒนาท่านอื่นสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ ผลการทดลองพบว่า ในการตรวจจับระยะ 40 , 60, 80 เซนติเมตร มีค่าเอ็มเออีเท่ากับ 2.36, 1.58, 1.09 ตามลำดับ และค่าอาร์เอ็มเออีเท่ากับ 2.80, 2.01, 1.38 ตามลำดับ การตรวจจับมุมมอง 3, 6, 9, 12, 15 องศา มีค่าเอ็มเออีเท่ากับ 0.081, 0.094, 0.091, 0.090, 0.138 ตามลำดับ และค่าอาร์เอ็มเออีเท่ากับ 0.121, 0.113, 0.129, 0.127, 0.162 ตามลำดับ การตรวจจับการกระพริบตามีค่าเอ็มเออี 2.95 และค่าอาร์เอ็มเออีเท่ากับ 4.01 ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอายุการ์ดมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: คอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม ซอฟต์แวร์มอดูล อุปกรณ์สารสนเทศ

Abstract

Currently, there are many people who have computer vision syndrome or visual ailments which are caused by looking at information devices for too long. Therefore, this research proposes a software module called EyeGuard to reduce the factors that cause the occurrence of computer vision syndrome. The factors that are considered in developing the module in this research are number of blinking eyes when users focus on information devices, the distance between the user's eyes and the screen, and the looking angle. EyeGuard employs the principle of human computer interaction without adding burden to the user. In addition, EyeGuard also provides an API (Application Programming Interface) for other developers. The results indicate that distances of 40, 60 and 80 centimeters have MAE of 2.36, 1.58, 1.09 and RMSE of 2.80, 2.0, 1.83, respectively. The looking angles of 3, 6, 9, 12, 15 degrees have MAE of 0.081, 0.094, 0.091, 0.090, 0.138 and RMSE of 0.121, 0.113, 0.129, 0.127 and 0.162, respectively. The number of blinking has MAE of 2.95 and RMSE of 4.01. These results indicate that EyeGuard has potential for use in practice.

Keywords: computer vision syndrome, software, module, information device

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ สำนักวิชาเทคโนโลยีสังคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

¹ Graduate Student, ² Assistant Professor, ³ Assistant Professor., School of Information Technology, Institute of Social Technology, Suranaree University of Technology, 111, University Ave., Tumbon Suranaree, Muang Nakhon Ratchasima District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand, 1Email: exandwhy666@yahoo.com

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศ อาทิ คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต ได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ การใช้งานอุปกรณ์สารสนเทศเหล่านี้ ทำให้เกิดผลกระทบตามมาหลายด้าน รวมถึงด้านสุขภาพทางตาของผู้ใช้งาน เพราะอุปกรณ์สารสนเทศมีจอแสดงผลเพื่อติดต่อกับมนุษย์ ทำให้ดวงตาเป็นศูนย์กลางในการติดต่อสื่อสารหลักของมนุษย์กับอุปกรณ์ จากพฤติกรรมการใช้งานอุปกรณ์สารสนเทศของผู้ใช้ในปัจจุบัน มีการใช้งานอุปกรณ์เฉลี่ยวันละ 16 ชั่วโมง¹ ทำให้ส่งผลเสียต่อสุขภาพของดวงตาเป็นอย่างมาก โดยร้อยละ 90 ของผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นเวลานานจะมีอาการ ปวดตา ปวดหัว รู้สึกไม่สบายตา เห็นภาพซ้อน เห็นภาพเบลอ² อาการเหล่านี้เรียกรวมว่าอาการคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม³ ในปีพุทธศักราช 2550 มีรายงานพบผู้มีอาการคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม 60 ล้านคน และมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุก ๆ วัน โดยในแต่ละปีจะมีจำนวนผู้มีอาการเพิ่มขึ้นเป็นล้าน ๆ คน⁴ Akinbinu ได้กล่าวว่าปัจจุบันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมได้กลายเป็นเรื่องธรรมดาสำหรับผู้ใช้คอมพิวเตอร์⁵ โรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมไม่ได้ส่งผลกระทบต่อด้านสุขภาพเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจและการเงิน ในปีพุทธศักราช 2545 Rosenfield คาดการณ์ว่านายจ้างในประเทศสหรัฐอเมริกาต้องจ่ายค่ารักษาพยาบาลให้แก่ลูกจ้างที่มีอาการคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมประมาณ 2,000 ล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี²

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความคิดจะพัฒนามอดูลซอฟต์แวร์อายุการวัด ที่ช่วยลดปัจจัยที่ไม่เหมาะสมกับการใช้ดวงตากับอุปกรณ์สารสนเทศ เพื่อป้องกันการเกิดอาการในกลุ่มโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยใช้หลักการของการป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมขั้นพื้นฐานมาพัฒนาเป็นซอฟต์แวร์มอดูล มอดูลอายุการวัดไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม ทำให้นักพัฒนาท่านอื่นสามารถนำมอดูลอายุการวัดไปพัฒนาต่อยอดได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วิทยาการคอมพิวเตอร์ เพื่อป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยมุ่งเน้นการลดปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค Jennifer⁶ นำเสนอวิธีการตรวจจับการกระพริบตาเพื่อป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมโดยใช้กล้องเว็บแคมที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ระบบจะบังคับให้ผู้ใช้ทำการกระพริบ 1 ครั้ง ใน 4 วินาที ซึ่งจะนับเฟรมจากกล้องหากผู้ใช้ไม่ทำการกระพริบตาในช่วงที่ระบบกำหนด จะมีการแจ้งเตือนให้ผู้ใช้งานทราบ ซึ่งมีการตรวจจับการกระพริบเหมือนมอดูลอายุการวัดแตกต่างกันในส่วนของการ

แจ้งเตือน อายุการวัดจะแจ้งเตือนตามจำนวนครั้งต่อวันที่ Han⁷ นำเสนอการตรวจจับการกระพริบตาบนสมาร์ตโฟนเพื่อป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยใช้อัลกอริทึมที่มีขนาดเบาและเร็ว สามารถจับการกระพริบตาได้แม้อุปกรณ์มีการเคลื่อนไหว เช่นกันมอดูลอายุการวัดสามารถตรวจจับการกระพริบตากับอุปกรณ์ที่มีการเคลื่อนไหวได้โดยใช้การคำนวณค่าโอเออาร์ Ho⁸ นำเสนอแอปพลิเคชันที่ป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมบนสมาร์ตโฟน โดยจะใช้การตรวจจับระยะห่างของผู้ใช้กับหน้าจอสมาร์ตโฟน ระบบจะใช้กล้องหน้าของสมาร์ตโฟนเป็นตัวตรวจจับระยะห่างของผู้ใช้ ในงานวิจัยนี้ยังมีการเชื่อมโยงกับการแจ้งเตือนที่ไม่คุกคามหรือเป็นมิตรกับผู้ใช้ ตามหลักการปฏิสัมพันธ์คอมพิวเตอร์กับมนุษย์ (HCI : Human Computer Interaction) มอดูลอายุการวัดสามารถจับระยะใบหน้าของผู้ใช้ได้เช่นกัน แต่ยังไม่มีการทดลองเรื่องการแจ้งเตือน Toda⁹ นำเสนอระบบตรวจจับระยะห่างของผู้ใช้กับหน้าจอ และองศาของคอในการใช้คอมพิวเตอร์ โดยระบบจะใช้การเชื่อมต่อกับกล้องสองตัวคือกล้องหน้าคอมพิวเตอร์เพื่อจับระยะห่าง กล้องด้านข้างจับองศาของคอ และแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อมีการจัดสรีระที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน มอดูลอายุการวัดสามารถตัวจับระยะห่างจากกล้องเช่นกันแต่ไม่มีโหมดการตรวจจับการเอียงของคอ เพราะเน้นการทำงานจากกล้องเพียงตัวเดียว Wasnik¹⁰ นำเสนอระบบตรวจจับระยะ มุมองศา และการเต้นของชีพจร เพื่อป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยจะมีตัวรับรู้ (sensor) ติดไว้กับตัวผู้ใช้ การตรวจจับระยะจะใช้อัลตราโซนิก (Ultrasonic) เป็นเซนเซอร์ตรวจจับระยะห่าง การตรวจจับชีพจรเพื่อดูความตึงเครียดใช้พัลส์เซนเซอร์ (Pulse Sensor) ติดไว้กับผู้ใช้ การตรวจจับมุมมองการใช้ แอคเซโรมิเตอร์ (Accelerometer) โดยทั้งหมดจะเชื่อมกับไมโครคอนโทรลเลอร์อัลดูอิโน (Arduino) เมื่อมีการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ระบบจะทำการแจ้งเตือนผ่านสมาร์ตโฟน เช่นกันอายุการวัดสามารถตรวจจับระยะห่างและมุมมองจากกล้องเพียงตัวเดียว โดยไม่จำเป็นต้องติดอุปกรณ์เสริมลงบนร่างกายของผู้ใช้ ซึ่งจะไปรบกวนผู้ใช้งาน Julius¹¹ พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อป้องกันการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมโดยมุ่งเน้นไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์สำนักงาน ระบบใช้แนวทางของกฎ 20-20-20 จะบังคับให้ผู้ใช้หยุดพักทุก 2 ชั่วโมงเป็นเวลา 5 นาที ด้วยการลือคหน้าจอ แต่มอดูลอายุการวัดจะตรวจจับเวลาเฉพาะเวลาที่ผู้ใช้เพ่งมองจอเท่านั้น อย่างไรก็ตามอายุการวัดจะไม่บังคับให้ผู้ใช้หยุดการใช้งานอุปกรณ์ แต่ทำการแจ้งเตือนแก่ผู้ใช้ เพื่อให้ผู้ใช้หยุดการทำงานด้วยความสมัครใจ โดยคุณลักษณะของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสามารถเปรียบเทียบับงานวิจัยนี้ได้ดัง Table 1

Table 1 Related work comparison

Author	Factors				Device		HCI
	blink	distance	angle	time	computer	smartphone	Not disturb
Jennifer (2017) ⁶	✓				✓		
Han (2012) ⁷	✓					✓	✓
Ho (2015) ⁸		✓				✓	✓
Toda (2015) ⁹		✓	✓				✓
Wasnik (2016) ¹⁰		✓	✓		✓		
Julius (2014) ¹¹				✓	✓		✓
EyeGuard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

คุณลักษณะที่นำมาเปรียบเทียบได้แก่ด้านปัจจัยประกอบด้วย การกระพริบตา ระยะห่างระหว่างจออุปกรณ์กับดวงตาผู้ใช้ มุมองศาที่ผู้ใช้มองจออุปกรณ์ และเวลาที่ผู้ใช้มองจออุปกรณ์ คุณลักษณะด้านอุปกรณ์ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ประเภทสมาร์ทโฟน คุณลักษณะด้านการปฏิสัมพันธ์ของมนุษย์กับคอมพิวเตอร์ ในแง่ของการรบกวนผู้ใช้งาน

โรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม

คอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมคือการเจ็บป่วยทางตาที่เกี่ยวข้องกับการเพ่งมองจออุปกรณ์คอมพิวเตอร์² โดยมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุในการเกิดโรค ได้แก่ ระยะเวลาในการใช้งาน การกระพริบตา เพศ อายุ ปัญหาทางสายตา การรับยาของผู้ใช้ ระยะห่างระหว่างสายตากับหน้าจอ องศาของดวงตากับหน้าจอ ความคมชัดของจอแสดงผล แสงที่มาจากจอ แสงที่อยู่รอบผู้ใช้งานและ แสงสะท้อนของหน้าจอ¹²

ระยะเวลาในการใช้งานเป็นปัจจัยที่มาจากตัวผู้ใช้ เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการตาเมื่อยล้า เพราะการทำงานอยู่หน้าจออุปกรณ์สารสนเทศติดต่อกันเป็นเวลานาน ดวงตาต้องเผชิญการมองเห็นที่ปรับเปลี่ยนตลอดเวลา โดยธรรมชาติของดวงตาจะต้องโฟกัสให้มนุษย์เห็นภาพชัดที่สุด เมื่อต้องโฟกัสความคมชัดตลอดเวลา ทำให้กล้ามเนื้อดวงตาทำงานหนัก ทำให้มีอาการตาเมื่อยล้า และจะมีอาการประเภทการมองเห็นภาพเบลอ ภาพซ้อน ตามมาจากอาการตาเมื่อยล้า โดยอาการเหล่านี้จัดอยู่ในอาการของโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม ซึ่งระยะการทำงานที่เหมาะสมเป็นหนึ่งในกฎ 20-20-20 ซึ่งเป็นการป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมขั้นพื้นฐาน

กล่าวคือ ทุก 20 นาที ให้พักจากหน้าจอ มองออกไปข้างนอกประมาณ 20 ฟุต เป็นเวลาอย่างน้อย 20 วินาที¹³

การกระพริบตานั้นน้อยลงเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดอาการตาแห้ง ที่หนึ่งในอาการของโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม การกระพริบตาเป็นการเคลือบของเหลวในดวงตาให้เคลือบผิวของดวงตา เพื่อรักษาความชุ่มชื้นของเลนส์ตาอยู่เสมอ แต่เมื่อผู้ใช้ได้เพ่งมองอุปกรณ์สารสนเทศ ทำให้อัตราการกระพริบตาน้อยลงกว่าปกติถึงร้อยละ 60 โดยที่ผู้ใช้ไม่รู้ตัวเองว่าได้กระพริบตาน้อยลง ส่งผลให้ผิวของตาแห้งและอาจจะถึงขั้นติดเชื้อตา¹

ระยะห่างระหว่างสายตากับหน้าจอ เป็นปัจจัยในด้านพฤติกรรมของผู้ใช้ ปัจจัยเกี่ยวข้องกับการมองเห็นที่ไม่เหมาะสมและการได้รับแสงจ้าจากหน้าจอ อุปกรณ์สารสนเทศ การมองเห็นที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อที่ปรับสภาพการมองเห็นในดวงตา การมองเห็นที่ไม่ชัดเจนจะส่งผลให้เลนส์ภายในดวงตาปรับความคมชัดอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดอาการตาเมื่อยล้า โดยที่ระยะการมองเห็นที่เหมาะสมกับการใช้งาน อยู่ที่ประมาณ 50-70 เซนติเมตร

องศาของดวงตากับหน้าจอ เป็นปัจจัยด้านพฤติกรรมของผู้ใช้ และเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยป้องกันอาการตาแห้งและอาการตาเมื่อยล้า การวางสายตาที่เหมาะสมในการใช้งานจะทำให้กล้ามเนื้อที่ควบคุมเลนส์ตาไม่ต้องทำงานหนักในเรื่องของการปรับความคมชัด ซึ่งการที่เลนส์ในตาปรับความคมชัดบ่อยครั้งจะเป็นสาเหตุของอาการตาเมื่อยล้า การวางสายตาดำมูมตากับหน้าจอคอมพิวเตอร์ในองศาที่พอเหมาะ จะช่วยให้สารเหลวในดวงตาเคลือบผิวของดวงตาไว้ ซึ่งจะช่วยในการป้องกันอาการตาแห้ง

เพศเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดอาการตาแห้ง สาเหตุของอาการตาแห้งนี้ มาจากต่อมที่สร้างของเหลวภายในดวงตาคงที่ต่อมที่สร้างของเหลวในเพศชายและเพศหญิง จะสร้างของเหลวปริมาณแตกต่างกัน โดยที่เพศหญิงจะมีปริมาณของเหลวในดวงตาน้อยกว่าเพศชาย จึงทำให้ผู้หญิงมีโอกาสเป็นอาการตาแห้งมากกว่าผู้ชาย เพราะสาเหตุนี้ถ้าผู้หญิงมีการกระพริบตามากขึ้นจะช่วยรักษาความชุ่มชื้นให้กับผิวของดวงตาเพื่อป้องกันอาการตาแห้งที่จะเกิดขึ้น

อายุเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความคมชัดในการมองเห็น ปัญหานี้มักจะเกิดขึ้นกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีอายุประมาณ 40 ปีขึ้นไป เพราะกลุ่มช่วงอายุนี้จะมีปัญหาเรื่องสายตาโดยธรรมชาติ¹⁴ การมองเห็นที่ขาดความคมชัดจะส่งผลกับดวงตา เนื่องจากเลนส์ในดวงตามนุษย์จะปรับหาความชัดจนดีที่สุด เมื่อมีการมองเห็นที่ไม่ชัดจนดวงตาจะพยายามปรับหาความคมชัดอยู่ตลอดเวลา ทำให้กล้ามเนื้อที่ควบคุมส่วนนั้นเกิดการเมื่อยล้า

ปัจจัยการมองเห็นที่มีอยู่แล้วของตัวผู้ใช้และการได้รับยาที่มีผลต่อดวงตา เป็นปัจจัยที่ติดตัวอยู่กับผู้ใช้ ปัญหาการมองเห็นที่มีอยู่ก่อน อาทิ เช่น สายตาสั้น สายตายาว จะมีผลต่ออาการในกลุ่มโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมหลายอาการ เช่น อาการตาเมื่อยล้า มองเห็นภาพเบลอและภาพซ้อน การได้รับยามีผลต่อต่อมของเหลวภายในตา ซึ่งจะมีผลต่ออาการตาแห้ง

แสงหรือภาพสะท้อนที่เกิดจากแสงที่อยู่เหนือศีรษะ แสงเมื่อตกกระทบลงบนหน้าจออุปกรณ์จะรบกวนการมองเห็น ซึ่งเมื่อมีการรบกวนการมองเห็นที่มาก ตาจะทำงานหนักส่งผลให้เกิดอาการตาเมื่อยล้า และมีอาการเห็นภาพซ้อน ภาพเบลอตามมา

ปัจจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มออกเป็นสองกลุ่มคือ ปัจจัยในกลุ่มทางพฤติกรรม ได้แก่ เวลาในการเพ่งมองจอ การกระพริบตา ระยะระหว่างตากับหน้าจอ องศาของมุมในการมอง และปัจจัยในกลุ่มกายภาพของผู้ใช้และสภาพแวดล้อม ได้แก่ เพศ อายุ ปัญหาทางสายตาของผู้ใช้ แสงสะท้อน งานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะปัจจัยทางพฤติกรรมในการพัฒนามอดูลอายุการ์ด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อายุการ์ดสามารถแนะนำให้ผู้ใช้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรม ที่เหมาะสมกับการใช้งานอุปกรณ์ได้

มอดูลเพื่อลดปัจจัยการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม

ผู้วิจัยได้เลือกปัจจัยที่เป็นสาเหตุของโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมมาใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์มอดูลอายุการ์ดทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ การกระพริบตา ระยะห่างระหว่างหน้าจอกับตาผู้ใช้ เวลาที่ใช้งาน องศาการมองจอ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้วิเคราะห์ความสอดคล้องของสาเหตุการเกิดโรคการทำงานของอายุการ์ด และวิธีการป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรมได้แสดงใน Table 2

Table 2 The relationship of EyeGuard and factors cause computer vision syndrome

Factor	Cause	Symptom	Module	Protect
Blink	Blink less	Dry eye	Detect blink	Blink at least 20-24 time/ minutes
Distance	Distance improper	Dry eye Asthenopia	Detect distance	Appropriate distance is 50-70 cm
Time	Eye to long	Asthenopia	Detect time	Rest 15 minutes every 2 hours
Angle	Angle improper	Dry eye Asthenopia	Detect angle	Eyes are positioned 10-15 degrees to the screen

อายุการ์ดจะตรวจจับจำนวนการกระพริบตาของผู้ใช้ในการใช้งานอุปกรณ์สารสนเทศ เพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการกระพริบตาที่ป้องกันโรค โดยอายุการ์ดจะตรวจจับการกระพริบตาที่ 3 วินาทีต่อ 1 ครั้ง หรือ 20 ครั้งต่อนาที นอกจากนั้นอายุการ์ดจะจับระยะห่างและมุมมองที่ไม่เหมาะสมในการใช้งานของผู้ใช้ โดยระยะห่างที่เหมาะสมกับการใช้งานอยู่ที่ 50-80 เซนติเมตร องศาการมองที่เหมาะสมอยู่ที่ 10 - 15 องศา และอายุการ์ดจะแจ้งเตือนเวลาการทำงานของผู้ใช้ ให้ผู้ใช้รู้เวลาในการใช้สายตาตามองจออุปกรณ์สารสนเทศโดยจะเตือน

ทุก ๆ 20 นาที และทุก ๆ 2 ชั่วโมงในการทำงาน

มอดูลอายุการ์ดพัฒนาด้วยภาษาไพธอน (Python) ซึ่งเป็นภาษาที่มีความนิยมมากในปัจจุบัน ง่ายต่อการใช้งาน ไม่ยึดติดแพลตฟอร์ม การพัฒนามอดูลอายุการ์ดจะยึดหลักการปฏิสัมพันธ์ระหว่างคอมพิวเตอร์กับมนุษย์ (HCI) ในแง่ที่มอดูลจะไม่เพิ่มภาระให้ผู้ใช้งาน เช่น คลิก หรือ กรอกข้อมูลการทำงานของมอดูลอายุการ์ด ผู้ใช้งานไม่ต้องทำอะไรเพิ่มเติม จากงานที่ทำอยู่ในการเข้าใช้อุปกรณ์สารสนเทศ โดยอายุการ์ดทำงานด้วยการจับใบหน้าของผู้ใช้ ผ่านกล้องที่เชื่อมต่อ

อยู่กับอุปกรณ์ของผู้ใช้ และทำการแจ้งเตือนถึงสถานะการใช้งาน ที่เป็นปัจจัยในการเกิดอาการคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม เพื่อให้ผู้ใช้รับพฤติกรรมการใช้งานที่เหมาะสม Figure 1 แสดงสถาปัตยกรรมของมอดูลอายุการ์ด เมื่อผู้ใช้เปิดใช้งานอุปกรณ์ มอดูลจะเปิดกล้องที่เชื่อมกับอุปกรณ์ของผู้ใช้ เพื่อที่จะนำค่าตำแหน่งใบหน้าและดวงตาของผู้ใช้เข้ามาวิเคราะห์ ตรวจสอบปัจจัยที่เป็นสาเหตุของโรค โดยใช้หลักการการป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม เมื่อวิเคราะห์เสร็จจะแจ้งเตือนปัจจัยที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งานให้ผู้ใช้ทราบ เพื่อให้ผู้ใช้ปรับเปลี่ยนการใช้งานให้เหมาะสม

การตรวจจับการกระพริบตาในงานวิจัยนี้ จะใช้การหาค่าอีเออาร์ (EAR: eye aspect ratio)¹⁵ เป็นการคำนวณหาอัตราการกระพริบตา ด้วยการจับค่าของจุดบริเวณรอบดวงตาดังได้แสดงใน Figure 2 มอดูลจะทำการจับตำแหน่งจุดของดวงตาจากโมเดลเอสบีเอ็ม (SVM : Support Vector Machine) จากงานวิจัยของ King¹⁶ ซึ่งตรวจจับคุณลักษณะของดวงตาบนใบหน้า เมื่อทราบตำแหน่งจุดบริเวณรอบดวงตา นำมาคำนวณหาค่าอีเออาร์ด้วยสมการที่ 1

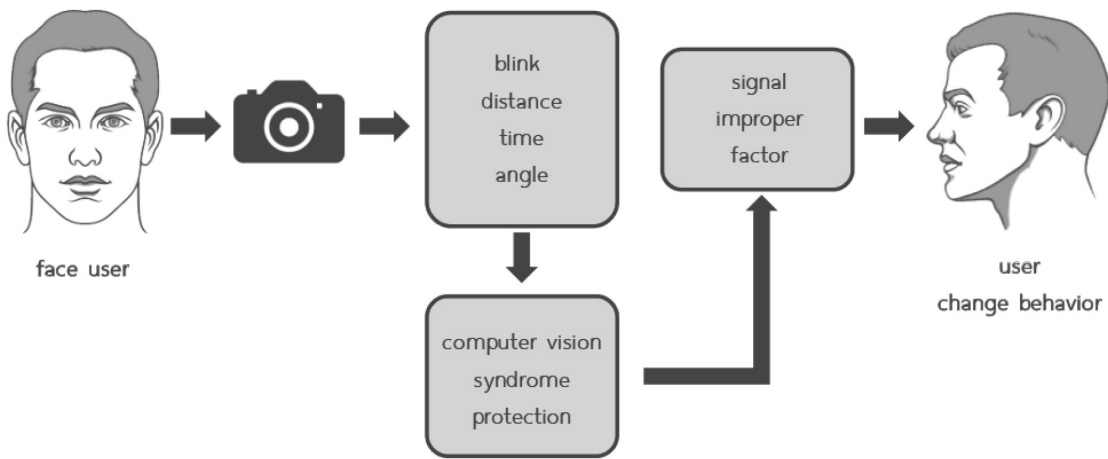


Figure 1 An architecture of the EyeGuard module

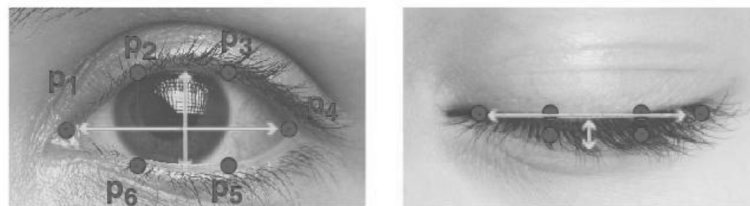


Figure 2 Example of blinking detection

$$EAR = \frac{|p2-p6| + |p3-p5|}{2|p1-p4|} \quad (1)$$

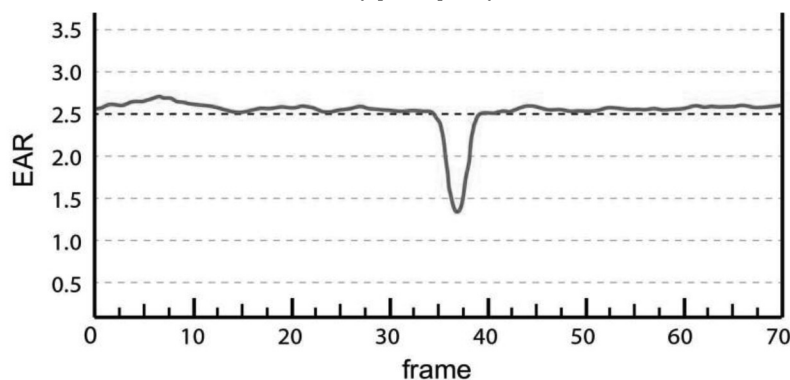


Figure 3 Blinking detection from the reduction of EAR value

Figure 3 แสดงการลดลงของค่าอีเออาร์โดยเปรียบเทียบเฟรมของกล้อง การกะพริบตาจะต้องมีค่าอีเออาร์น้อยกว่า 0.25 เป็นเวลานานมากกว่า 2.5 เฟรม หากค่าอีเออาร์ลดลงแต่ไม่ถึง 2.5 เฟรมจะไม่ถือว่าเป็นการกะพริบตา เมื่อได้การตรวจจับการกะพริบตาแล้วจะนำไปเข้าเกณฑ์การป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม กล่าวคือ จะต้องมีการกะพริบตา 1 ครั้ง ใน 3 วินาที หรือ 20 ครั้ง ต่อนาที เมื่อผู้ใช้กะพริบตาน้อยกว่าเกณฑ์ มอดูลจะแจ้งเตือนหรือสร้างเหตุการณ์อื่น ๆ เพื่อให้ผู้ใช้ทราบ การแจ้งเตือนเป็นป๊อปอัพ (pop up) จะแสดงจำนวนการกะพริบตาให้ผู้ใช้ทราบ และจะหายไปภายใน 15 วินาที หรือผู้ใช้ทำการปิดด้วยปุ่มปิด การแจ้งเตือนจะคำนวณการกะพริบตาทุก 1 นาที

การตรวจจับมุมของดวงตากับหน้าจอ ใช้วิธีวัดมุมของดวงตากับกล้องที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ ด้วยวิธีการตรวจจับใบหน้าและค้นหาดวงตาของผู้ใช้ เมื่อตรวจจับเจอค่าดวงตาของผู้ใช้จะ นำมาสร้างเงื่อนไขการทำมุมกับกล้อง โดยการสร้างเส้นสมมุติ (vector) มุมองศาไว้ที่มุมมองของกล้องดังแสดงใน Figure 4 เส้นสมมุติที่สร้างขึ้นเป็นเส้นองศา ที่ได้รับการทดสอบจากการวัดมุมมองของกล้องด้วยเครื่องมือตรวจวัดองศา เมื่อมอดูลได้องศาการมองของผู้ใช้แล้ว นำค่าที่ได้ไป

เข้าเงื่อนไขการป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม เมื่อปัจจัยที่ตรวจจับไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจะแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ทราบด้วยป๊อปอัพและเสียงการแจ้งเตือนจะหายไปเมื่อผู้ใช้มีมุมมองที่เหมาะสม หรือปิดด้วยปุ่มปิด โดยผู้ใช้สามารถปรับการแจ้งเตือนได้

การตรวจจับระยะห่างระหว่างดวงตาของผู้ใช้กับหน้าจอ ใช้วิธีคำนวณค่าตรีโกณมิติ โดยจะนำมุมที่ได้จากการตรวจจับมุมมาใช้ ในการหาระยะห่างระหว่างตาผู้ใช้กับจออุปกรณ์สารสนเทศ ต้องรู้ค่าของเส้นตรงข้ามมุม ซึ่งเส้นตรงข้ามมุมในมอดูลจะเป็นเส้นที่มีจุดเริ่มต้นตรงจุดที่ดวงตาทำมุมมากกับเส้น 0 องศา จนถึงตำแหน่งที่ดวงตาอยู่ เมื่อได้ค่าทั้งสองค่าแล้วนำมาเข้าสมการ ดังแสดงใน Figure 5 เมื่อได้ค่าของระยะห่างระหว่างตากับจอแล้วนำไปเข้าเกณฑ์การป้องกันโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม และแจ้งเตือนผู้ใช้เมื่อระยะการมองไม่เป็นไปตามเกณฑ์ โดยแสดงเป็นป๊อปอัพทางด้านมุมขวาบนของหน้าจอและแจ้งเตือนด้วยเสียงให้ผู้ใช้ทราบถึงระยะห่างของตนเอง การแจ้งเตือนจะหายไปเมื่อผู้ใช้มีระยะห่างที่เหมาะสมในการใช้งาน หรือทำการปิดด้วยการกดปุ่มที่อยู่บนป๊อปอัพ ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนการแจ้งเตือนได้

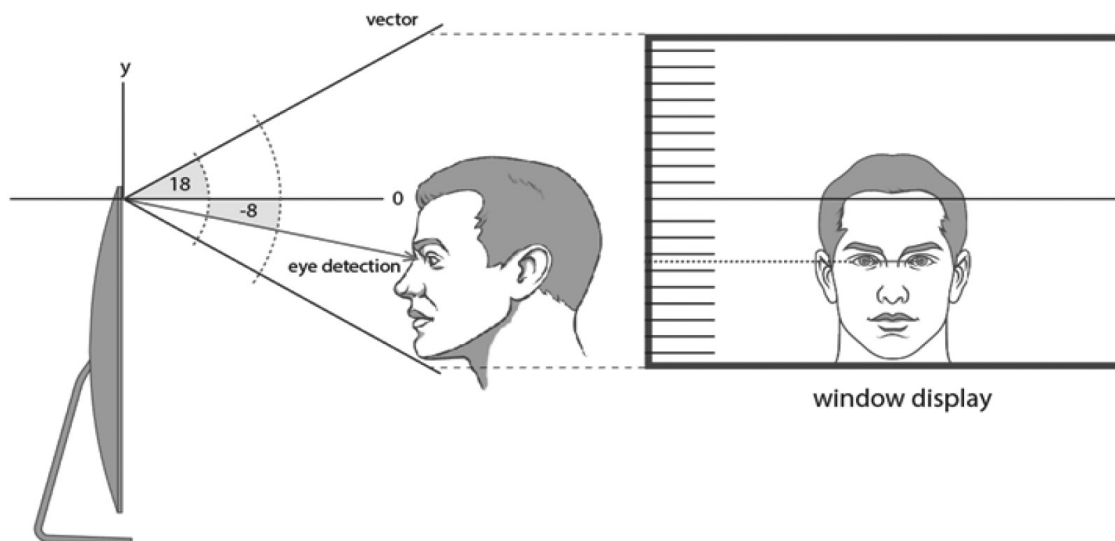


Figure 4 Calculation of viewing angle

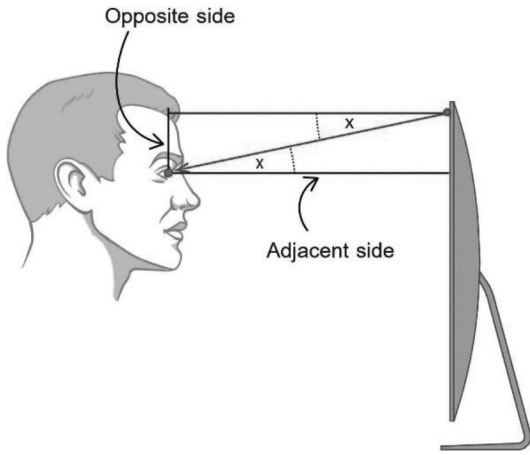


Figure 5 Calculation of distance between eyes and monitor

การตรวจจับเวลาในการทำงาน มอดูลายการ์ดจะตรวจจับเฉพาะการที่ผู้ชมมองหน้าจอ โดยจะตรวจจับดวงตาของผู้ใช้ และเมื่อพบดวงตาของผู้ชมมองจอ มอดูลายการ์ดจะจับเวลาและนำไปเข้าเกณฑ์การป้องกันโรค ถ้าไม่เป็นไปตามเกณฑ์จะทำการแจ้งเตือนให้ผู้ชมทราบ โดยจะแจ้งเตือนทุก ๆ 20 นาที และ ทุก 2 ชั่วโมง การแจ้งเตือนจะเป็นป๊อปอัพและเสียง ป๊อปอัพจะไม่หายจากหน้าจอจนกว่าผู้ชมจะทำการกดปุ่มปิดที่แสดงอยู่บนป๊อปอัพ เพื่อให้ผู้ใช้ปรับพฤติกรรมการใช้งานของตน ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนการแจ้งเตือนได้ด้วยตนเอง ฟังก์ชันการทำงานของมอดูลายการ์ดสามารถแสดงได้ดัง Figure 6 และ Figure 7 แสดงตัวอย่างการแจ้งเตือน

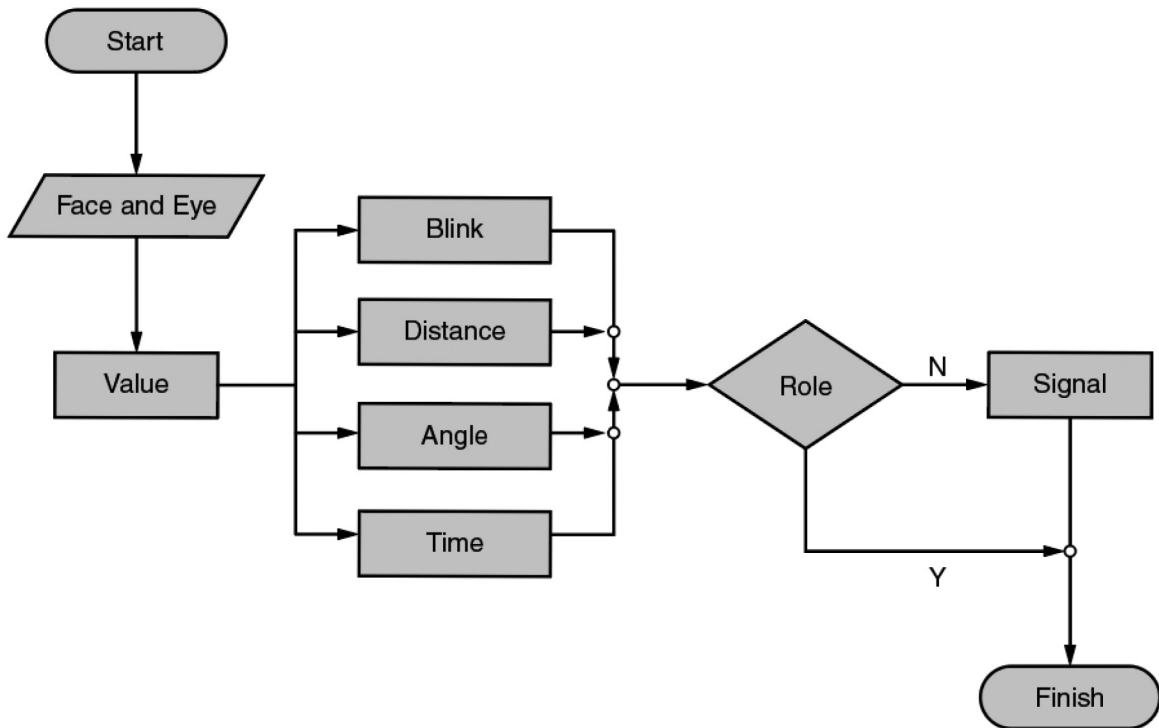
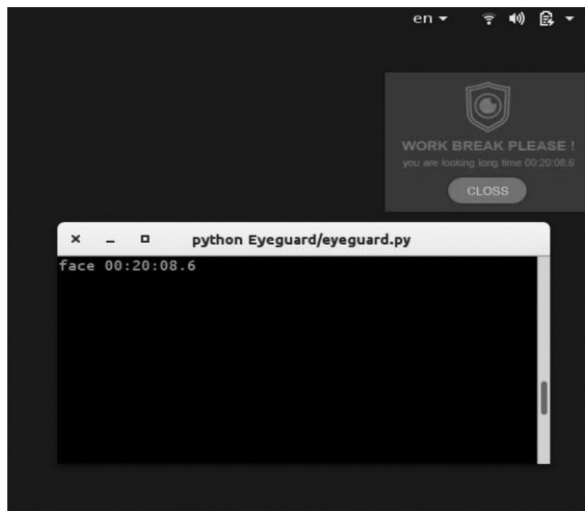
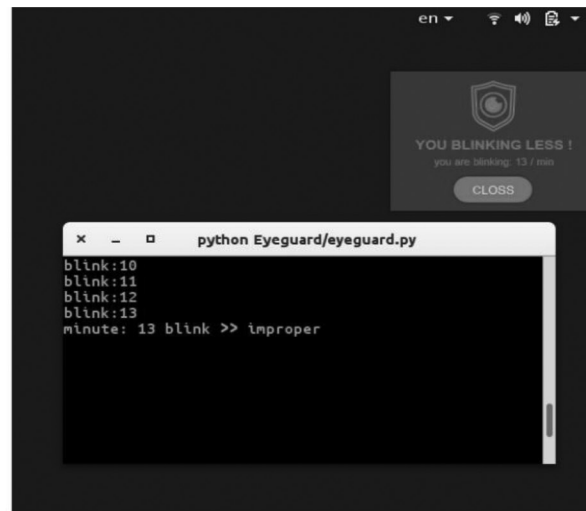


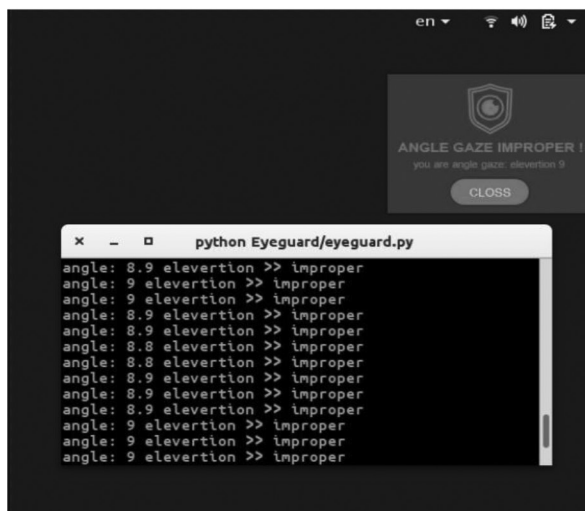
Figure 6 Flowchart of the EysGuard module



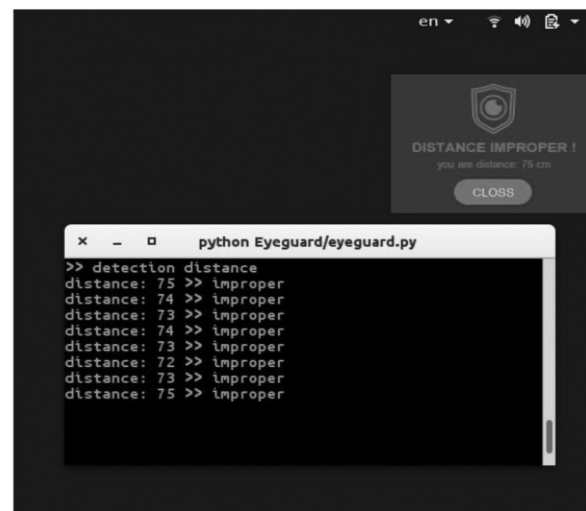
(A)



(B)



(C)



(D)

Figure 7 Sample notifications (A) time, (B) blinking, (C) angle gaze, (D) distance

ผลการทดสอบและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้จะทดสอบการทำงานของมอดูลอายุการ์ดด้วยการวัดความถูกต้องในการตรวจจับปัจจัยที่เป็นสาเหตุของโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางอินเทล 1.9 กิกะเฮิร์ตซ์ หน่วยความจำ 2 กิกะไบต์ ฮาร์ดดิสก์จัดเก็บข้อมูล 500 กิกะไบต์ กล้องเว็บแคม ลอจitech ซี170 (จับภาพด้วยความ

ละเอียดได้ 5 ล้านพิกเซล จับภาพวิดีโอขนาดสูงสุดได้ 1024 x 768 พิกเซล) ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์อูบุนตุ 16.04 และไพทอน 3.5.2

ทำการทดสอบปัจจัย ได้แก่ การตรวจจับระยะห่างระหว่างตากับหน้าจอ การตรวจจับมุมมองของดวงตาผู้ใช้กับหน้าจอ และการตรวจจับจำนวนการกระพริบตาของผู้ใช้

Table 3 The EyeGuard's performance of distance detection

Distance	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	MAE	RMSE
40	1	9	28	146	0	128	158	15	147	118	115	2.36	2.80
60	0	0	6	13	61	211	268	209	146	75	11	1.58	2.01
80	0	0	21	97	197	258	264	136	23	6	1	1.09	1.38

การตรวจจับระยะห่างของดวงตาผู้ใช้กับจอคอมพิวเตอร์ จะทดสอบด้วยการให้ผู้ชมมองจอคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งมอดูลายการ์ดในการตรวจจับระยะ โดยจะกำหนดให้ผู้ทดสอบมองจอตามตำแหน่งที่อยู่ห่างจากจอที่กำหนดไว้ให้ตำแหน่งที่กำหนดคือ 40, 60, 80 เซนติเมตรตามลำดับ ทดสอบการตรวจจับระยะห่างละ 1,000 ครั้ง การทดสอบการตรวจจับการทำมุมของดวงตา จะกำหนดให้ผู้ทดสอบมองจอ ดวงตาทำมุมห่างกับหน้าจอ 6, 9, 12, 15 องศา โดยทดสอบการตรวจจับองศาละ 1,000 ครั้ง การทดสอบการตรวจจับการกระพริบตาจะกำหนดให้ผู้ใช้กระพริบตา 1 ครั้ง ทุก 3 วินาที ในเวลา 1 นาที รวมแล้วผู้ทดสอบจะกระพริบตา 20 ครั้ง ต่อนาที โดยที่ผู้ใช้จะอยู่ห่างจากจอ 40, 60, 80 เซนติเมตร และทำมุม 6, 9, 12, 15 องศา

การทดสอบการตรวจจับระยะห่างระหว่างสายตาผู้ใช้กับหน้าจอแสดงใน Table 3 ผลของการตรวจจับระยะห่างจะได้ค่าที่แตกต่างจากระยะที่กำหนดไว้ไม่เกิน ± 5 เซนติเมตร ระยะ 40 เซนติเมตรจะมีการตรวจจับถูกต้อง 128 ครั้ง 60 เซนติเมตรจะมีการตรวจจับถูกต้อง 211 ครั้ง 80 เซนติเมตรจะมี

การตรวจจับถูกต้อง 258 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) 40, 60, 80 เซนติเมตร อยู่ที่ 2.36, 1.58, 1.09 ตามลำดับ ค่ากำลังสองความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (RMSE) เท่ากับ 2.80, 2.01, 1.38 ตามลำดับ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระยะยิ่งไกลจะมีความถูกต้องที่เพิ่มขึ้น

ใน Table 4 แสดงผลการทดสอบการทำมุมองศา การตรวจจับทุกครั้งจะได้องศาที่แตกต่างจากองศาที่กำหนดไว้ไม่เกิน ± 0.5 องศา มุม 3 องศา จะมีการตรวจจับที่ถูกต้อง 431 ครั้ง มุม 6 องศา มีการตรวจจับที่ถูกต้อง 221 ครั้ง มุม 9 องศา มีการตรวจจับที่ถูกต้อง 372 ครั้ง มุม 12 องศา มีการตรวจจับที่ถูกต้อง 421 ครั้ง มุม 15 องศา มีการตรวจจับที่ถูกต้อง 151 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของมุม (MAE) 3, 6, 9, 12, 15 เซนติเมตร อยู่ที่ 0.081, 0.094, 0.091, 0.090, 0.138 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยกำลังสองความคาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 0.121, 0.113, 0.129, 0.127, 0.162 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า มุมที่มีการตรวจจับถูกต้องมากที่สุดคือ มุม 3 องศา

Table 4 The EyeGuard's performance of view angle

Angle	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0	+0.1	+0.2	+0.3	+0.4	+0.5	MAE	RMSE
3	0	9	0	0	63	431	328	127	24	2	7	0.081	0.121
6	0	0	0	3	9	221	612	152	3	0	0	0.094	0.113
9	0	0	1	23	118	372	309	98	28	16	5	0.091	0.129
12	0	0	0	0	8	421	295	233	43	0	0	0.090	0.127
15	0	0	0	0	93	151	305	368	83	0	6	0.138	0.162

Table 5 The EyeGuard's performance of blinking detection

Distance/Angle	40±5 cm			60±5 cm			80±5 cm		
	MEAN	MAE	RMSE	MEAN	MAE	RMSE	MEAN	MAE	RMSE
6±0.5	19.20	0.80	1.095	19.60	0.80	1.10	19.20	0.80	1.10
9±0.5	18.80	1.20	1.414	18.60	1.40	1.73	18.80	1.60	1.79
12±0.5	22.60	2.60	2.864	23.20	9.80	4.27	24.20	4.20	4.58
15±0.5	23.60	3.60	3.742	26.00	6.00	6.48	28.40	8.40	8.83

ผลการทดสอบการตรวจจับการกระพริบตาแสดงใน Table 5 จะตรวจจับเป็นระยะและองศาของมุมโดยที่ผู้ทดสอบ จะทำการกระพริบตา 20 ครั้งต่อหน้าที่ ระยะห่างและองศาที่มี ค่าเฉลี่ยเดียวกับการกระพริบตาของผู้ทดสอบคือ ระยะห่างที่ 60±5 การทำมุม 6±0.5 องศา มีค่าเฉลี่ย (MEAN) เท่ากับ 19.6 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อน (MAE) เท่ากับ 0.80 ค่าเฉลี่ย กำลังสองความคาดเคลื่อน (RMSE) เท่ากับ 1.10 ค่าเฉลี่ย ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์รวม (MAE) เท่ากับ 2.95 และค่ากำลังสอง ความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์รวม (RMSE) เท่ากับ 4.01

ใน Table 6 การวัดระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มี ต่อความสามารถด้านปฏิสัมพันธ์ (Usability Test)¹⁷ โดยได้ให้อาสาสมัครที่เข้าทดสอบมอดูลทำการประเมิน 5 ด้านได้แก่ ความเร็วของมอดูลในการแสดงผลการตรวจจับปัจจัยในแต่ละปัจจัย, ความถูกต้องของการตรวจจับปัจจัย, ความสามารถในการกำหนดการแจ้งเตือนของผู้ใช้, การแจ้งเตือนที่ผู้ใช้เข้าใจ,

ความต้องการ ในการใช้งานมอดูลหรือแนะนำให้ผู้อื่นใช้ โดยให้คะแนนเป็น 5 ระดับ (Likert Scale) ใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ และแปรผลข้อมูลกำหนดระดับความพึงพอใจ ดังแสดงใน สมการที่ 2 ค่าอันตรภาคชั้นเท่ากับ 0.80 กำหนดความพึงพอใจได้ดังนี้ 1.00-1.80 พึงพอใจน้อยสุด, 1.81-2.60 พึงพอใจน้อย, 2.61-3.40 พึงพอใจปานกลาง, 3.41-4.20 พึงพอใจมาก, 4.21-5.00 พึงพอใจมากที่สุด

ผลลัพธ์ที่ได้ ด้านความเร็วมีค่าอยู่ระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.50, S.D. = 0.47$), ด้านความถูกต้องมีค่าอยู่ระดับ พึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.20, S.D. = 0.50$), ด้านความความ ยืดหยุ่นมีค่าอยู่ระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 3.80, S.D. = 0.61$), ด้านการเรียนรู้มีค่าอยู่ระดับพึงพอใจมาก ($\bar{X} = 4.05, S.D. = 0.56$), ด้านความพึงพอใจมีค่าอยู่ระดับพึงพอใจมากที่สุด ($\bar{X} = 4.20, S.D. = 0.50$)

Table 6 Usability satisfaction

No.	Usability	\bar{X}	S.D.	Scale
1	efficiency	4.50	0.47	Very satisfied
2	effectiveness	4.20	0.50	Very satisfied
3	flexibility	3.80	0.61	Satisfied
4	learnability	4.05	0.56	Satisfied
5	satisfaction	4.20	0.50	Very satisfied

$$\text{ค่าอันตรภาคชั้น} = (\text{คะแนนมากที่สุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}) / \text{จำนวนชั้น} \quad (2)$$

บทสรุปและงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาซอฟต์แวร์มอดูลอายุการวัด เพื่อลดปัจจัยการเกิดโรคคอมพิวเตอร์วิชั่นซินโดรม โดยพิจารณาปัจจัยที่อยู่ในกลุ่มด้านพฤติกรรมของผู้ใช้เป็นหลักในการพัฒนามอดูล ผลการทดลองพบว่า การตรวจจับระยะ 40, 60, 80 เซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) 2.36, 1.58, 1.09 ตามลำดับ และค่ากำลังสองความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (RMSE) 2.80, 2.01, 1.38 ตามลำดับ การตรวจจับมุมมอง 3, 6, 9, 12, 15 องศา มีค่า ค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (MAE) 0.081, 0.094, 0.091, 0.090, 0.138 ตามลำดับ และค่ากำลังสองความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (RMSE) 0.121, 0.113, 0.129, 0.127, 0.126 ตามลำดับ การตรวจจับการกระพริบตามีค่าค่าเฉลี่ยความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์รวม (MAE) เท่ากับ 2.95 และค่ากำลังสองความคาดเคลื่อนสัมบูรณ์รวม (RMSE) เท่ากับ 4.01 การประเมินความพึงพอใจต่อความสามารถด้านปฏิสัมพันธ์ได้รับการประเมินในระดับพึงพอใจมากขึ้นไป ซึ่งผลการทดสอบและการประเมินความพึงพอใจแสดงให้เห็นว่าซอฟต์แวร์มอดูลอายุการวัดที่พัฒนาขึ้น มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานได้จริง

มอดูลอายุการวัดพยายามพัฒนาเพื่อรองรับขนาดหน้าจอของอุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกัน ผู้ใช้จึงสามารถปรับความเหมาะสมให้เข้ากับอุปกรณ์ของตนได้

ในส่วนของอุปกรณ์ประเภทสมาร์ทโฟน มอดูลอายุการวัดถูกพัฒนาขึ้นจากภาษาไพธอน (Python) ซึ่งรองรับแพลตฟอร์มหลากหลาย สามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์จำพวกสมาร์ทโฟนได้ ขนาดของจอที่มีมากในสมาร์ทโฟน ผู้ใช้สามารถปรับการทำงานให้เข้ากับอุปกรณ์สมาร์ทโฟนของตนได้ โดยการทำงานของมอดูลจะทำงานบนสกรีนฟอร์แมต (screen format) ขนาด 4:3 (การใช้งานที่เหมาะสมในปัจจุบันเรื่องระยะและองศา อุปกรณ์เหล่านี้จะแตกต่างจากคอมพิวเตอร์เนื่องจากความหลากหลายของขนาดและทิศทางในการจัดวาง ผู้ใช้ควรพิจารณาเป็นพิเศษ)

ในอนาคตอันใกล้อายุการวัดจะเพิ่มการพิจารณาปัจจัยกลุ่มกายภาพของผู้ใช้และสภาพแวดล้อมในการพัฒนาซอฟต์แวร์มอดูล เพื่อที่จะแนะนำการใช้งาน อุปกรณ์สารสนเทศที่เหมาะสมกับดวงตาของแต่ละบุคคล

เอกสารอ้างอิง

1. Rosenfield M. Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain). *Optometry in Practice* 2016. 2016;17(1):1-10.
2. Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review

- of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic and Physiological Optics*. 2011;31(5):502-15.
3. Association AO. Vision discomfort associated with Computer vision syndrome. 1997.
4. Sen A, Richardson S. A study of computer-related upper limb discomfort and Computer vision syndrome. *Journal of Human Ergology*. 2007;36(2):45-50.
5. Akinbinu. Impact of computer technology on health: Computer Vision Syndrome (CVS). *academic journals*. 2014;5(3):20-30.
6. Jennifer JS, Sharmila TS, editors. Edge based eye-blink detection for computer vision syndrome. 2017 International Conference on Computer, Communication and Signal Processing (ICCCSP); 2017 10-11 Jan. 2017.
7. Han S, Yang S, Kim J, Gerla M. EyeGuardian: a framework of eye tracking and blink detection for mobile device users. *Proceedings of the Twelfth Workshop on Mobile Computing Systems & Applications*; San Diego, California. 2162090: ACM; 2012. p.1-6.
8. Ho J, Pointner R, Shih H-C, Lin Y-C, Chen H-Y, Tseng W-L, et al. EyeProtector: Encouraging a Healthy Viewing Distance when Using Smartphones. *Proceedings of the 17th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*; Copenhagen, Denmark. 2785836: ACM; 2015. p. 77-85.
9. Toda T, Nakai M, Xinxin L, editors. A close face-distance warning system for straightend neck prevention. *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*; 2015 9-12 Nov. 2015.
10. Wasnik P, Jeyakumar A, editors. Monitoring stress level parameters of frequent computer users. 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCCSP); 2016 6-8 April 2016.
11. Julius N, Mustapha EE, editors. Take-A-Break Notification: An ergonomic application. *Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology and Multimedia*; 2014 18-20 Nov. 2014.

12. Blehm C, Vishnu S, Khattak A, Mitra S, Yee RW. Computer Vision Syndrome: A Review. *Survey of Ophthalmology*. 2005;50(3):253-62.
13. Munshi S, Varghese A, Dhar-Munshi S. Computer vision syndrome-A common cause of unexplained visual symptoms in the modern era. *International Journal of Clinical Practice*. 2017;71(7):e12962-n/a.
14. Cash JCG, Cheryl A. *Adult-Gerontology Practice Guidelines*. Ed s, editor: Springer Publishing Company; 2015.
15. Soukupova T. Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks. 21st Computer Vision Winter Workshop. 2016.
16. King DE. Dlib-ml: A Machine Learning Toolkit. *J Mach Learn Res*. 2009;10:1755-8.
17. ISO/IEC 9126. *Quality Characteristics and Guidelines for the User*. International Organization for Standardization. Geneva. 2001.

การพัฒนาเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝายชนบท จังหวัดขอนแก่น ด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

Development of Operation Rule for the Chonnabot Barrage in Khon Kaen Province using Artificial Neural Network Model

อำนาจ วรณมาโส¹, อนงกริต^{2*} แข็งแรง^{2*}

Amnart Wannamaso¹, Anongrit Kangrang^{2*}

Receied : 10 October 2017 ; Accepted : 2 July 2018

บทคัดย่อ

การบริหารจัดการฝายชนบทจังหวัดขอนแก่น ในอดีตที่ผ่านมายังไม่มีเกณฑ์การควบคุมบานระบายอย่างชัดเจน อาศัยประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่เป็นหลัก ซึ่งบางครั้งส่งผลให้มีความเสียหายเกิดขึ้น โดยเฉพาะในช่วงปรับเปลี่ยนฤดู ทั้งจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝน(เดือนกรกฎาคม-กันยายน)และจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง(เดือนตุลาคม-ธันวาคม) การควบคุมบานระบายในช่วงเวลาดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายฝายอย่างรวดเร็ว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝายชนบทในช่วงปรับเปลี่ยนฤดูกาล โดยเลือกใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม(Artificial Neural Network:ANN) มาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-ระยะยกบานระบายของฝายชนบท จังหวัดขอนแก่น ผลการศึกษาพบว่า ค่าระยะยกบานในช่วงปรับเปลี่ยนฤดูที่ได้จากแบบจำลอง ANN จะทำให้การปรับระดับน้ำด้านเหนือและด้านท้ายฝายชนบทในรอบวันน้อยกว่าการปรับบานระบายที่ผ่านมาซึ่งจะส่งผลให้ในช่วงปรับเปลี่ยนฤดูกาลจากฝนเป็นแล้งและจากแล้งเป็นฝนแพะสูบน้ำขนาดเล็กทั้งด้านหน้าและด้านท้ายฝายชนบทไม่พลิกคว่ำ และการพังทลายของตลิ่งลดลง

คำสำคัญ: ฝายชนบท การควบคุมบานระบาย โครงข่ายประสาทเทียม

Abstract

The water operation and management of the Chonnabot barrage project in Khonkaen Province relied on the operator's experience rather than appropriate operation rules for the gate level. Consequently, problems were sometimes experienced especially when seasonal changes arise. The control of barrage gates in both dry season to rainy season (July-September) and rainy season to dry season(October-December) will abruptly affect the water level upstream and downstream. Thus, the aim of this study was to develop the operation rules for controlling the gates of the Chonnabot Barrage during the seasonal changes. The Artificial Neural Networks(ANN) model was applied to determine the relationship between the tide and the lifted up distance of the gates. As the study result, it was found that the distance value during the seasonal changes obtained from ANN model will cause less fluctuation of water level upstream and downstream during the day than those from conventional practices. As a result, when experiencing seasonal change period from dry to rainy season, small pumping pontoons at the up and down streams of Choanabot Barrage will not be overturned. In addition, The bank erosion will be less than the past record.

Keywords: Chonnabot Barrage, operation rules, Artificial Neural Networks

¹ นิสิตปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

* คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

E-mail: anongrit.k@msu.ac.th โทรศัพท์/โทรสาร 04-754316

บทนำ

ฝ่ายชนบทเป็นองค์ประกอบหนึ่งของโครงการละหานนา เป็นโครงการย่อยส่วนหนึ่งของ โครงการโขง-ชี-มูล ซึ่งจะนำน้ำจากแม่น้ำโขงมาใช้ในลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำมูลโดยการสูบน้ำ(จนปัจจุบันยังไม่ได้ดำเนินการในส่วนนี้) โครงการฝ่ายชนบททำหน้าที่เก็บกักและยกระดับน้ำ เพื่อไว้ใช้สำหรับการเกษตรและอื่นๆในพื้นที่ จังหวัดชัยภูมิและขอนแก่น¹

การบริหารจัดการฝ่ายชนบทที่ผ่านมายังไม่มีเกณฑ์ควบคุมบานระบายอย่างชัดเจนอาศัยเพียงประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่เป็นหลัก ซึ่งบางครั้งส่งผลให้มีความเสียหายต่อแพสูบน้ำและตลิ่งพังทลายเกิดขึ้น โดยเฉพาะในช่วงปรับเปลี่ยนฤดู กล่าวคือ ในช่วงฤดูแล้งเป็นฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม-กันยายน) จำเป็นต้องยกบานระบายเพิ่มเพื่อไม่ให้ขวางทางน้ำหากมีการยกบานระบายเร็วเกินไประดับด้านท้ายฝ่ายจะสูงขึ้นอย่างมากใน 1 วัน ส่งผลให้แพสูบน้ำขนาดเล็กซึ่งมีอยู่มากในลำน้ำชียกระดับขึ้นตามน้ำไม่ทันเนื่องจากถูกยึดไว้ด้วยท่อส่งน้ำที่ยังไม่ได้ปรับระดับทำให้พลิกคว่ำได้ ส่วนด้านหน้าฝ่ายก็จะประสบปัญหาตลิ่งพังทลายเนื่องจากน้ำลระดับมากเกินไปใน 1 วัน เป็นต้น ส่วนในช่วงฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง (เดือนตุลาคม-ธันวาคม) จำเป็นต้องลดระดับบานลงเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้หากมีการลดระดับบานเร็วเกินไปภายใน 1 วันจะส่งผลให้ตลิ่งด้านท้ายเกิดการพังทลายได้ ส่วนด้านหน้าก็จะประสบปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่ที่ยืดระยะยาวออกไปไกล แต่หากมีการลดบานช้าเกินไประดับน้ำจะลดลงเร็วมากส่งผลให้เก็บกักน้ำไว้ในช่วงฤดูแล้งได้น้อย

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจึงจำเป็นต้องศึกษาเกณฑ์ในการควบคุมบานระบายฝ่ายชนบทในช่วงปรับเปลี่ยนฤดู โดยฤดูแล้งเป็นฝนช่วงเดือนกรกฎาคม-กันยายนและฤดูฝนเป็นฤดูแล้งช่วงเดือนตุลาคม-ธันวาคมเพื่อให้การควบคุมบานระบายส่งผลกระทบต่อพื้นที่ทั้งด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำน้อยที่สุด อีกทั้งด้านเหนือน้ำก็ไม่มีความเสียหายใหญ่ควบคุมน้ำไว้

โครงข่ายประสาทเทียม หรือ ANN เป็นแบบจำลองที่อาศัยการเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์โดยมีความโดดเด่นในการเรียนรู้รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีความซับซ้อนและไม่เชิงเส้น ซึ่งการประยุกต์ใช้ในด้านอุทกวิทยานั้น มีงานวิจัยปรากฏมาอย่างมากมายที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแบบจำลอง ANN ในการประยุกต์ใช้กับปัญหาทางอุทกวิทยาต่างๆ เช่น การทำนายค่าของระดับน้ำ⁵ อัตราการไหล⁶ ปริมาณน้ำฝน⁸ คุณภาพน้ำ⁷ และอื่นๆ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks :ANN) โปรแกรม WinNN 0.97 มาสร้างการเรียนรู้พฤติกรรมการณ์การยกบานระบายในอดีต เพื่อสร้างเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝ่ายชนบทในช่วงปรับเปลี่ยนฤดู พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของเกณฑ์การควบคุมฝ่ายชนบทที่สร้างขึ้นใหม่

วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝ่ายชนบทในช่วงปรับเปลี่ยนฤดู พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของเกณฑ์การควบคุมฝ่ายชนบท

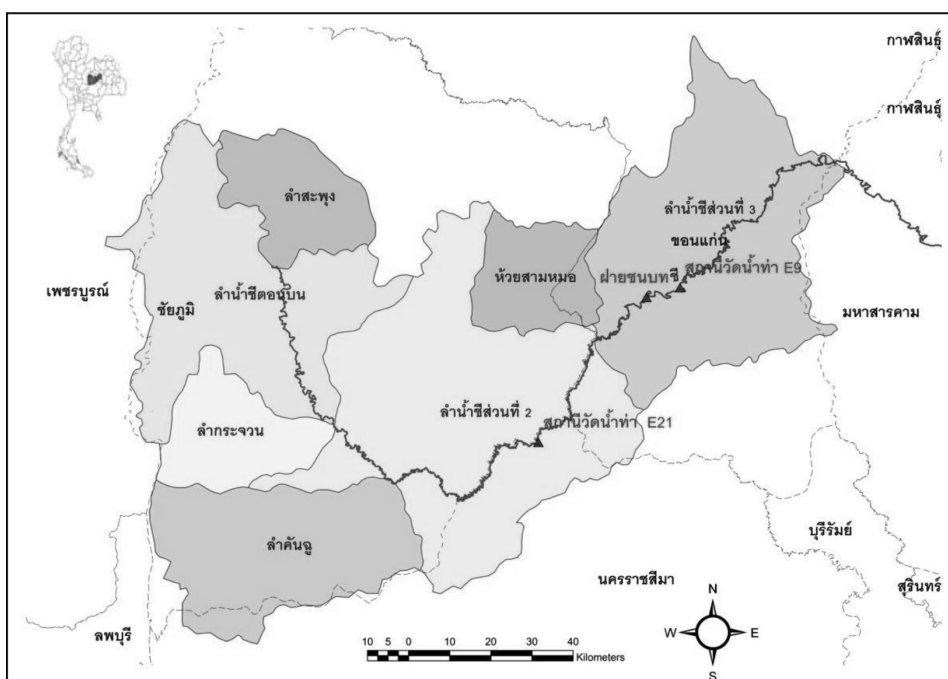


Figure 1 upper chi basin

เครื่องมืออุปกรณ์และพื้นที่ศึกษา พื้นที่ศึกษา

ฝายชนบทตั้งอยู่ในลุ่มน้ำชีส่วนที่ 3 อยู่ห่างจากตัวอำเภอชนบท จังหวัดขอนแก่น ไปทางทิศตะวันตกประมาณ 14 กม. สภาพภูมิประเทศเป็นที่ลาดเนิน ท้องลำนน้ำชีมีความลาดชันสูง ฝายชนบทเป็นฝายคอนกรีตเสริมเหล็กสร้างกันลำน้ำชี มีความกว้างของฐาน 76.00 ม. ตอม่อสูง 17.50 ม.ใช้ประตูเหล็กชนิด Radial Gate ขนาดกว้าง 8.60 ม.สูง 10.00 ม.จำนวน 6 บานในการควบคุมน้ำโดยมีระดับเก็บกักน้ำอยู่ที่ +162.00 ม.(รทก.) มีปริมาณน้ำท่าไหลผ่านช่วงฤดูฝนเฉลี่ย 1,610.00 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปีและช่วงฤดูแล้งเฉลี่ย 230.00 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

สถานีวัดน้ำท่า E.21 (บ้านแก่งโก จ.ชัยภูมิ) อยู่ในลำน้ำชีส่วนที่ 2 ตั้งอยู่ด้านเหนือหน้า ห่างจากฝายชนบทประมาณ 82 กม. และสถานีวัดน้ำท่า E.9 (บ้านโจด จ.ขอนแก่น)อยู่ในลำน้ำชีส่วนที่ 3 ตั้งอยู่ด้านท้ายน้ำห่างจากฝายชนบทประมาณ 17 กม. ดังแสดงใน Figure 1³

โปรแกรม WinNN 0.97

โปรแกรม WinNN 0.97 เป็นโปรแกรมประมวลผลระบบโครงข่ายประสาทเทียม มีโครงสร้างเป็นแบบ Fully Link Multi-Layer Feedforward และมี Algorithm แบบ Back Propagation⁴

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) โปรแกรม WinNN 0.97 มาใช้ในการศึกษาหารูปแบบ ในการควบคุมบานระบายฝายชนบท โดยมีขั้นตอนสำคัญๆดังนี้

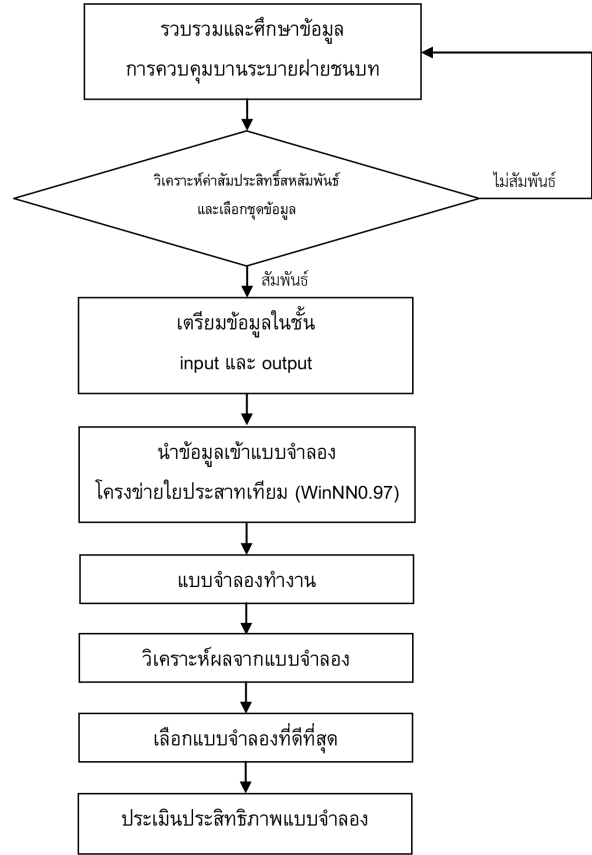


Figure 2 Flowchart of research methodology

สำหรับการศึกษาข้อมูลการควบคุมบานระบายฝายชนบทข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีข้อมูลที่จะนำมาศึกษาดังนี้

1. ข้อมูลระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า E.21 (บ้านแก่งโก จ.ชัยภูมิ)
2. ข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าฝายชนบท
3. ข้อมูลระดับน้ำด้านท้ายฝายชนบท
4. ข้อมูลการยกบานระบาย
5. ข้อมูลระดับน้ำรายวันที่สถานีวัดน้ำท่า E.9 (บ้านโจด จ.ขอนแก่น) รายละเอียดของข้อมูลดังแสดงใน Table 1

Table 1 stations and years

สถานี	ช่วงปีข้อมูลที่ใช้ (ปี พ.ศ.)								
	2540	2541- 2542	2543- 2544	2545- 2546	2547- 2548	2549- 2550	2551- 2552	2553- 2554	2555
E.21ระดับน้ำ	██████								
ฝายชนบทระดับน้ำด้านหน้า		██████							
ฝายชนบทระดับน้ำด้านท้าย		██████							
ฝายชนบทระยยกบาน		██████							
E.9ระดับน้ำ	██████								

หมายเหตุ ████████ มีข้อมูลช่วงก่อนหน้า □□□□ ไม่มีข้อมูล ████████ มีข้อมูล

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และการเลือกชุดข้อมูล

เนื่องจากฝ่ายชนบทเริ่มเก็บน้ำเมื่อปี พ.ศ. 2541 ซึ่งสร้างปิดกั้นลำน้ำชี จะยกบานลอยเหนือน้ำทั้ง 6 บาน และจะลดระดับบานลงเพื่อเก็บน้ำเมื่อจะเข้าสู่ฤดูแล้ง ดังนั้นจะแบ่งชุดข้อมูลหลักเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง และจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝน โดยกำหนดช่วงที่จะเข้าสู่ฤดูแล้งใช้เวลาปรับบานลง 32 วัน และช่วงที่จะเข้าสู่ฤดูฝนใช้

เวลาปรับบานขึ้น 60 วัน โดยในที่นี้จะเริ่มใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542-2555 ในการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลได้แบ่งความสัมพันธ์ออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

ช่วงที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระยะยกบานกับระดับน้ำ ณ สถานีและเวลาต่างรายละเอียดดังแสดงใน Table 2

ช่วงที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับน้ำด้านท้ายฝ่ายชนบทล่วงหน้า 1 วันกับค่าต่างๆ ดังแสดงใน Table

Table 2 Correlations (gate operate high & water level) in year 2542-2555(B.E.)

ปี	E21 t	E21 t-1	E21 t-2	E21 t-3	E21 t-4	CBu _t	CBu _{t-1}	CBu _{t-2}	CBd _t	CBd _{t-1}	CBd _{t-2}	E9t	E9t-1	E9t-2
2542	0.46	0.47	0.22	0.33	0.47	0.07	0.30	0.21	0.45	0.46	0.45	0.57	0.53	0.50
2543	0.45	0.32	0.17	0.06	0.01	0.66	0.68	0.65	0.64	0.65	0.66	0.63	0.63	0.64
2544	0.18	0.06	0.08	0.20	0.39	0.90	0.83	0.71	0.76	0.78	0.78	0.57	0.62	0.65
2545	0.10	0.18	0.29	0.41	0.54	0.78	0.80	0.76	0.85	0.83	0.81	0.87	0.87	0.87
2546	0.89	0.93	0.95	0.93	0.89	0.64	0.57	0.51	0.77	0.71	0.65	0.74	0.69	0.64
2547	0.45	0.50	0.51	0.47	0.40	0.27	0.33	0.40	0.95	0.91	0.86	0.95	0.91	0.85
2548	0.97	0.98	0.92	0.79	0.61	0.30	0.23	0.16	0.95	0.91	0.80	0.94	0.89	0.76
2549	0.10	0.00	0.00	0.00	0.02	0.41	0.39	0.13	0.72	0.67	0.62	0.71	0.65	0.59
2550	0.44	0.57	0.88	0.83	0.48	0.08	0.00	0.03	0.73	0.72	0.70	0.74	0.71	0.67
2551	0.46	0.52	0.57	0.56	0.54	0.09	0.00	0.20	0.39	0.35	0.31	0.35	0.31	0.28
2552	0.94	0.92	0.90	0.87	0.83	0.00	0.05	0.19	0.62	0.56	0.51	0.59	0.53	0.48
2553	0.89	0.91	0.93	0.93	0.91	0.19	0.45	0.62	0.70	0.64	0.59	0.67	0.60	0.53
2554	0.86	0.83	0.80	0.76	0.72	0.90	0.93	0.94	0.59	0.56	0.54	0.48	0.44	0.41
2555	0.88	0.85	0.82	0.79	0.76	0.32	0.27	0.23	0.68	0.63	0.57	0.66	0.61	0.56

- E.21_t = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ที่วันปัจจุบัน (ม.รทก.)
- E.21_{t-1} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
- E.21_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
- E.21_{t-3} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 3 วัน (ม.รทก.)
- E.21_{t-4} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 4 วัน (ม.รทก.)
- CBu_t = ระดับน้ำหน้าฝ่ายชนบทวันปัจจุบัน (ม.รทก.)
- CBu_{t-1} = ระดับน้ำหน้าฝ่ายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
- CBu_{t-2} = ระดับน้ำหน้าฝ่ายชนบทย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)

- E.9_t = ระดับน้ำที่สถานี E.9 วันปัจจุบัน (ม.รทก.)
 - E.9_{t-1} = ระดับน้ำที่สถานี E.9 ย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
 - E.9_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.9 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
 - CBd_t = ระดับน้ำท้ายฝ่ายชนบทวันปัจจุบัน (ม.รทก.)
 - CBd_{t-1} = ระดับน้ำท้ายฝ่ายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
 - CBd_{t-2} = ระดับน้ำท้ายฝ่ายชนบทย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
- ปีที่จะนำข้อมูลไปใช้กับแบบจำลอง ANN

Table 3 Correlations between Chonnabot Barrage downstream lag time 1 day and other stations

ปี พ.ศ.	E.21 _t	E.21 _{t-1}	E.21 _{t-2}	E.21 _{t-3}	E.21 _{t-4}	CBu _t	CBd _t	CBd _{t-1}	CBd _{t-2}	E.9 _t	E.9 _{t-1}	L_E.9 _{t-2}	CB _t	CB _{t-1}
2542	0.64	0.65	0.60	0.63	0.65	0.09	0.87	0.69	0.58	0.71	0.62	0.57	0.39	0.20
2543	0.21	0.07	0.00	0.03	0.15	0.73	0.93	0.87	0.85	0.91	0.86	0.84	0.61	0.03
2544	0.63	0.46	0.44	0.48	0.53	0.76	0.98	0.96	0.96	0.82	0.84	0.86	0.72	0.22
2545	0.02	0.09	0.20	0.34	0.46	0.92	0.98	0.96	0.96	0.97	0.96	0.96	0.87	0.21
2546	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.93	0.99	0.97	0.95	0.99	0.97	0.95	0.80	0.24
2547	0.48	0.51	0.50	0.46	0.40	0.20	0.98	0.96	0.93	0.98	0.96	0.93	0.97	0.00
2548	0.93	0.90	0.81	0.67	0.49	0.24	0.97	0.89	0.75	0.96	0.87	0.72	0.94	0.07
2549	0.10	0.16	0.09	0.01	0.00	0.71	0.94	0.87	0.81	0.92	0.85	0.79	0.77	0.40
2550	0.82	0.78	0.72	0.64	0.56	0.12	0.99	0.97	0.94	0.98	0.95	0.91	0.73	0.18
2551	0.29	0.46	0.63	0.74	0.82	0.00	0.97	0.95	0.92	0.95	0.93	0.90	0.42	0.42
2552	0.79	0.83	0.86	0.89	0.92	0.15	0.97	0.96	0.94	0.97	0.95	0.92	0.68	0.78
2553	0.58	0.68	0.75	0.82	0.86	0.03	0.99	0.97	0.95	0.98	0.96	0.93	0.75	0.36
2554	0.85	0.89	0.92	0.95	0.97	0.54	0.99	0.99	0.98	0.97	0.95	0.92	0.62	0.16
2555	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99	0.78	0.99	0.97	0.95	0.99	0.97	0.94	0.73	0.60

E.21_t = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ที่วันปัจจุบัน (ม.รทก.)

E.21_{t-1} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)

E.21_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)

E.21_{t-3} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 3 วัน (ม.รทก.)

E.21_{t-4} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 4 วัน (ม.รทก.)

CBu_t = ระดับน้ำหน้าฝายชนบทวันปัจจุบัน (ม.รทก.)

CBd_t = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)

CBd_{t-1} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)

E.9_t = ระดับน้ำที่สถานี E.9 วันปัจจุบัน (ม.รทก.)

E.9_{t-1} = ระดับน้ำที่สถานี E.9 ย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)

E.9_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.9 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)

CBd_t = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทวันปัจจุบัน (ม.รทก.)

CBd_{t-1} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)

CBd_{t-2} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)

□ ปีที่จะนำข้อมูลไปใช้กับแบบจำลอง ANN

การเตรียมข้อมูลและนำเข้าโปรแกรม

1. เลือกข้อมูลของปีที่มีความสัมพันธ์กัน ในช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งใช้ข้อมูล จากปี พ.ศ. 2545, 2547, 2552, 2553 และ 2554 ส่วนในช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝนใช้ข้อมูล จากปีพ.ศ. 2548, 2549, 2550, 2552

และ 2553 แบ่งเป็นชุดเพื่อให้ ANN เรียนรู้และให้ทดสอบทั้ง เพื่อหาระยะยกบานและนำระยะยกบานที่ได้ ไปให้โปรแกรม เรียนรู้ต่อเพื่อหาระดับน้ำด้านท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน ของทั้งช่วงฤดูฝนเป็นฤดูแล้งและฤดูแล้งเป็นฤดูฝนดังแสดง ใน Table 4

Table 4 Model and input data

No.	แบบจำลอง	ค่าระดับน้ำ											ค่าระยะ		จำนวนตัวแปร
		E.21 _t	E.21 _{t-1}	E.21 _{t-2}	E.21 _{t-4}	CBu _{t-1}	CBd _{t-1}	CBd _t	CBd _{t-1}	CBd _{t-2}	E.9 _t	E.9 _{t-2}	H_CB _t	H_CB _{t-1}	
1	WETtoDRY1	-	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	0	-	4
2	WETtoDRY2	-	-	0	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
3	WETtoDRY3	-	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	0	-	4
4	WETtoDRY4	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	3
5	WETtoDRY5	-	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	0	-	4
6	WETtoDRY6	-	-	0	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
7	WETtoDRY7	-	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	0	-	4
8	WETtoDRY8	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	3
9	WETtoDRY9	0	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	3
10	WETtoDRY10	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
11	WETtoDRY11	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
12	DRYtoWET1	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
13	DRYtoWET2	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	0	0	-	4
14	DRYtoWET3	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
15	DRYtoWET4	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
16	DRYtoWET5	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	3
17	DRYtoWET6	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
18	DRYtoWET7	0	-	-	-	-	-	0	-	-	0	-	0	-	4
19	DRYtoWET8	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	0	4
20	DRYtoWET9	-	0	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	0	4

E.21_t = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ที่วันปัจจุบัน (ม.รทก.)
 E.21_{t-1} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
 E.21_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
 E.21_{t-4} = ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 4 วัน (ม.รทก.)
 CBd_{t-1} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
 CBd_{t-2} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
 0 ตัวแปรที่เลือกใช้ในแบบจำลองนั้น

E.9_t = ระดับน้ำที่สถานี E.9 วันปัจจุบัน (ม.รทก.)
 E.9_{t-2} = ระดับน้ำที่สถานี E.9 ย้อนหลัง 2 วัน (ม.รทก.)
 CBut_{t-1} = ระดับน้ำหน้าฝายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.รทก.)
 CBd_{t+1} = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน (ม.รทก.)
 CBd_t = ระดับน้ำท้ายฝายชนบทวันปัจจุบัน (ม.รทก.)
 H_CB_t = ระยะยกบานของฝายชนบทวันปัจจุบัน (ม.)
 H_CB_{t-1} = ระยะยกบานของฝายชนบทย้อนหลัง 1 วัน (ม.)

2. นำชุดข้อมูลการเรียนรู้และการทดสอบของ แบบจำลองที่กำหนดไว้เข้า โปรแกรม Microsoft Office Excel โดยให้เวลา lag กันตามที่ได้จากค่าความสัมพันธ์ ในที่นี้ทุกแบบจำลองจะกำหนดให้มีการเรียนรู้ 3 ปี สำหรับฤดูฝนปรับเปลี่ยนเป็นฤดูแล้ง จะใช้ชุดข้อมูลเรียนรู้ 96 ชุด และชุดข้อมูลทดสอบ 64 ชุด ส่วนช่วงฤดูแล้งปรับเปลี่ยนเป็นฤดูฝนจะใช้ชุดข้อมูล

เรียนรู้ 180 ชุด และชุดทดสอบ 120 ชุดตัวแปรนำเข้าจะใช้แบบจำลองละ 3 และ 4 ตัวแปรต่างกันไปตามที่คัดเลือกมา 5 รูปแบบตัวอย่างการเตรียมข้อมูลสำหรับการนำเข้าข้อมูล 4 ตัวแปร สำหรับแบบจำลองช่วงฤดูฝนเป็นฤดูแล้งแสดงดัง Table 5

Table 5 Format for run ANN

Testing Pattern	ปี พ.ศ.	Period Date	ระดับน้ำ(ม.รทก.)			ระยะยกบาน (ม.)	Testing Pattern	ปี พ.ศ.	Period Dates	ระดับน้ำ (ม.รทก.)			ระยะยกบาน (ม.)
			E.21	หน้าฝาย	ท้ายฝาย					E.21	หน้าฝาย	ท้ายฝาย	
			$L_{E.21_{t-2}}$	$L_{CBu_{t-1}}$	$L_{E.9_t}$	H_{CB_t}				$L_{E.21_{t-2}}$	$L_{CBu_{t-1}}$	$L_{E.9_t}$	H_{CB_t}
1	2547	11 ต.ค. 53	171.160	161.190	160.313	9.00	1	2553	17 พ.ย. 53	171.340	162.620	161.613	22.00
2		12 ต.ค. 47	170.630	161.200	160.163	8.00	2		18 พ.ย. 53	170.640	162.620	161.463	22.00
3		13 ต.ค. 47	170.010	161.150	160.063	5.00	3		19 พ.ย. 53	169.885	162.470	161.433	18.00
4		14 ต.ค. 47	169.560	161.130	159.413	3.50	4		20 พ.ย. 53	169.280	162.190	161.423	12.00
5		15 ต.ค. 47	169.010	161.140	158.873	2.50	5		21 พ.ย. 53	168.940	162.020	160.573	6.00
6		16 ต.ค. 47	168.530	161.240	158.253	2.10	6		22 พ.ย. 53	168.558	161.770	159.523	2.00
7		17 ต.ค. 47	168.180	161.280	157.433	1.70	7		23 พ.ย. 53	168.196	161.800	158.483	2.00
8		18 ต.ค. 47	167.990	161.450	156.963	1.40	8		24 พ.ย. 53	167.593	162.040	158.103	1.10
9		19 ต.ค. 47	168.520	161.520	156.713	1.40	9		25 พ.ย. 53	167.497	162.060	157.613	1.10
10		20 ต.ค. 47	168.580	161.560	156.513	1.30	10		26 พ.ย. 53	167.429	162.160	156.553	0.60
11		21 ต.ค. 47	168.570	161.570	156.243	1.10	11		27 พ.ย. 53	167.410	162.130	156.193	0.60
12		22 ต.ค. 47	168.460	161.600	155.963	1.00	12		28 พ.ย. 53	167.354	162.200	155.913	0.60
13		23 ต.ค. 47	168.310	161.660	155.613	0.80	13		29 พ.ย. 53	167.256	162.340	155.713	0.60
14		24 ต.ค. 47	168.180	161.690	155.083	0.60	14		30 พ.ย. 53	167.248	162.290	155.613	0.50
15		25 ต.ค. 47	168.070	161.760	154.913	0.50	15		1 ธ.ค. 53	167.230	162.260	155.603	0.30
16		26 ต.ค. 47	168.010	161.810	154.693	0.50	16		2 ธ.ค. 53	167.787	162.230	155.623	0.35
17		27 ต.ค. 47	167.950	161.850	154.453	0.50	17		3 ธ.ค. 53	167.872	162.260	155.623	0.35
18		28 ต.ค. 47	167.960	161.900	154.193	0.40	18		4 ธ.ค. 53	167.788	162.250	155.623	0.35
19		29 ต.ค. 47	167.950	161.990	154.093	0.40	19		5 ธ.ค. 53	167.759	162.200	155.593	0.30
20		30 ต.ค. 47	167.910	162.000	154.173	0.42	20		6 ธ.ค. 53	167.730	162.070	155.593	0.30
21		31 ต.ค. 47	167.880	162.000	154.313	0.44	21		7 ธ.ค. 53	167.725	162.140	154.913	0.30
22		1 พ.ย. 47	167.840	162.000	154.363	0.44	22		8 ธ.ค. 53	167.726	162.170	154.373	0.30
23		2 พ.ย. 47	167.840	161.980	154.213	0.42	23		9 ธ.ค. 53	167.694	162.200	154.353	0.30
24		3 พ.ย. 47	167.830	161.970	153.983	0.35	24		10 ธ.ค. 53	167.656	162.170	154.333	0.30
25		4 พ.ย. 47	167.810	161.960	153.833	0.35	25		11 ธ.ค. 53	167.614	162.150	154.313	0.30
26		5 พ.ย. 47	167.800	161.980	153.783	0.35	26		12 ธ.ค. 53	167.629	162.090	154.063	0.10
27		6 พ.ย. 47	167.780	161.980	153.683	0.35	27		13 ธ.ค. 53	167.602	162.030	153.943	0.10
28		7 พ.ย. 47	167.770	161.980	153.603	0.35	28		14 ธ.ค. 53	167.610	162.060	153.913	0.10
29		8 พ.ย. 47	167.770	161.970	153.573	0.25	29		15 ธ.ค. 53	167.603	162.070	153.893	0.10
30		9 พ.ย. 47	167.750	161.970	153.423	0.25	30		16 ธ.ค. 53	167.552	162.090	153.873	0.10
31		10 พ.ย. 47	167.730	161.950	153.433	0.20	31		17 ธ.ค. 53	167.550	162.100	153.613	0.05
32		11 พ.ย. 47	167.730	161.970	153.273	0.20	32		18 ธ.ค. 53	167.526	162.080	153.523	0.05

การนำเข้าและการทำงาน โปรแกรม WinNN 0.97 มีขั้นตอนดังนี้

- เตรียมข้อมูลที่ใช้สำหรับ Training และ Testing
- กำหนด Architecture (input-hidden-output) ที่ตัวโปรแกรม ให้ตรงกับ input file
- นำข้อมูลใช้สำหรับ Training และ Testing เข้าสู่โปรแกรม
- ทำการ Normalized ข้อมูล input และ output
- เลือก Algorithm ที่จะใช้ Training
- กำหนด Parameters ต่างๆที่ใช้ในการ Training

7. ให้โปรแกรมทำงานและหยุดเมื่อ Good Patterns= 100% หรือค่า Good Patterns และ RMSE คงที่ หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

8. ทำการบันทึกแบบจำลอง

การนำไปใช้งาน

หลังจากโปรแกรมทำงานและได้เลือกแบบจำลองที่ดีที่สุดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนนำไปใช้งาน เป็นดังนี้

- กรอกข้อมูลจริงที่จะพยากรณ์ บน Microsoft Office Excel ให้ตรงตาม Pattern ของแบบจำลองดัง Table 5
- เปิด file นามสกุล .net ที่ใช้เป็นแบบจำลอง จาก

นั้นทำการ copy ข้อมูลที่จะพยากรณ์ แล้วไป Pasted Test Pats (Linked) ที่ Edit Menu

3. หลังจากนั้นจึงทำการ copy Test Outputs ที่ Edit Menu แล้วไป Paste ลงที่ Microsoft Office Excel

ผลการทดลอง

การศึกษาเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝายชนบท โดยใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) สอนให้แบบจำลองรู้จักความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน โดยศึกษาจากผลการทำงานโปรแกรม ANN โดยเลือกใช้แบบจำลอง ทั้งสิ้น 20 แบบจำลอง ดังแสดงใน Table 6 ส่วนตัวอย่างผลการแสดงจากโปรแกรม WinNN 0.97 ดัง Figure 3 โดยมีข้อมูลเปรียบเทียบระยะยกบานจริงกับผลที่ได้จากแบบจำลอง ดังแสดงใน Figure 4 และค่าความแตกต่างของระยะยกบานจริงกับระยะยกบานจากแบบจำลองแสดงใน Figure 5

1. ช่วงฤดูฝนปรับเปลี่ยนเป็นฤดูแล้ง จาก Table 6 แบบจำลองที่ 1-9 จะเป็นแบบจำลองที่ศึกษาระดับน้ำ ณ ที่

สถานี E.21 ฝายชนบท และสถานี E.9 ให้แบบจำลองเรียนรู้และทดสอบ เพื่อหาค่าระยะการปรับบานระบายฝายชนบท เมื่อได้ค่าปรับบานแล้วจึงนำระยะปรับบานนั้นเข้าไปในแบบจำลองที่ 10-11 เพื่อพยากรณ์ระดับน้ำด้านท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน เพื่อศึกษาการขึ้น-ลงของน้ำ ไม่ให้เพิ่มขึ้น-ลดลงมากเกินไปจนสร้างความเสียหายต่อตลิ่งและการระบายน้ำออกจากทุ่งล้งน้ำชี

2. ช่วงฤดูแล้งปรับเปลี่ยนเป็นฤดูฝนจาก Table 6 แบบจำลองที่ 12-18 จะเป็นแบบจำลองที่ศึกษาระดับน้ำ ณ ที่สถานี E.21 ฝายชนบท และสถานี E.9 โดยให้แบบจำลองเรียนรู้และทดสอบเพื่อหาค่าระยะการปรับบานระบายฝายชนบท เมื่อได้ค่าปรับบานแล้ว จึงนำระยะปรับบานนั้นเข้าไปในแบบจำลองที่ 19-20 พยากรณ์ระดับน้ำด้านท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน เพื่อศึกษาการขึ้น-ลงของน้ำ ไม่ให้เพิ่มขึ้น-ลดลงมากเกินไปจนกลายเป็นปัญหาน้ำท่วมหรือบานระบายขวางทางน้ำ

Table 6 Training and testing from ANN mode

No		9	10	15	19
แบบจำลอง		WETto DRY9	WETtoDRY10	DRYtoWET4	DRYtoWET8
ตัวแปรนำเข้า		$E.21_t - CBd_t - H_{CB}_t$	$E.21_{t-4} - E9_H_{CB}Bd_{t-t+1}$	$E.21_{t-4} - CBd_{t-2} - E9_H_{CB}_t$	$E.21_{t-1} - E9_H_{CB}CBd_{t-t+1}$
จำนวนชั้น		4	3	3	3
โครงสร้าง		2-4-3-1	3-4-1	3-3-1	3-4-1
ช่วง การเรียนรู้	ปีที่ 1	2005	2003	2005	2005
	ปีที่ 2	2009	2011	2006	2007
	ปีที่ 3	2010	2012	2010	2009
	จำนวนรูปแบบ	96	96	180	180
ช่วง การทดสอบ	ปีที่ 1	2003	2005	2007	2006
	ปีที่ 2	2002	2012	2009	2010
	จำนวนรูปแบบ	64	64	120	120
ผลการเรียนรู้	RMSError	0.0113	0.0232	0.0344	0.0319
	Good Pats	100%	100%	87%	89%
ผลการ ทดสอบ	RMSError	0.0113	0.0232	0.0658	0.031
	Good Pats	100%	99%	74.20%	80.80%

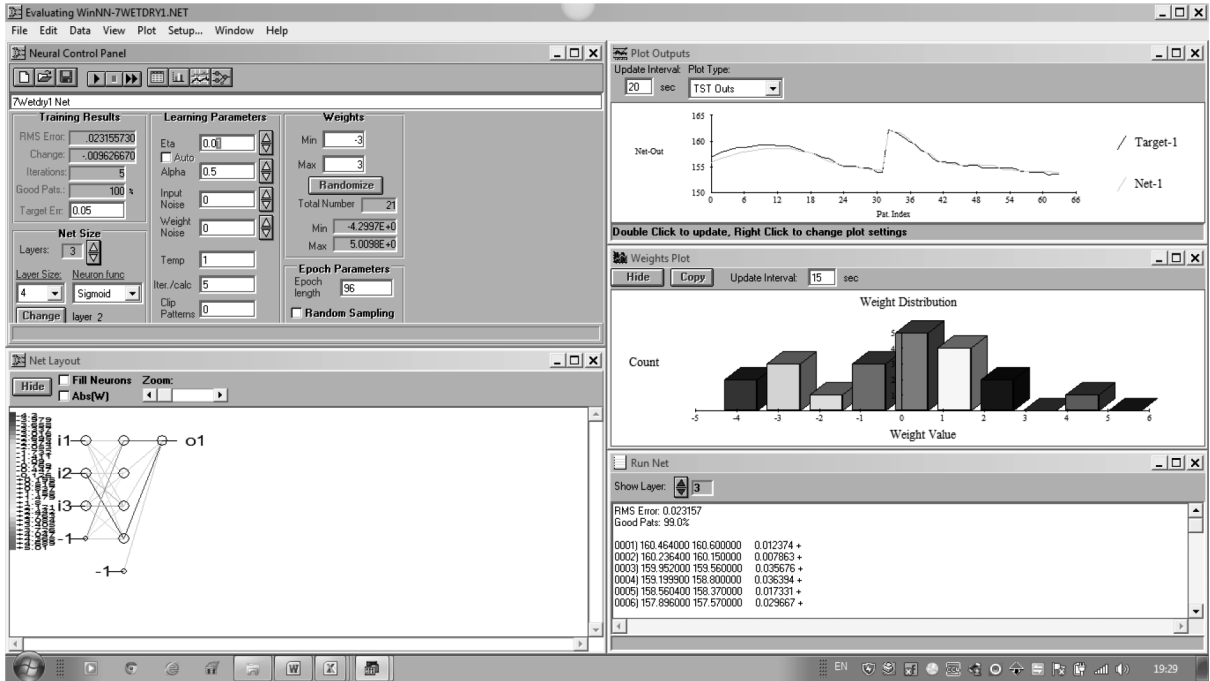


Figure 3 Training and testing from Model10 (3-4-1)

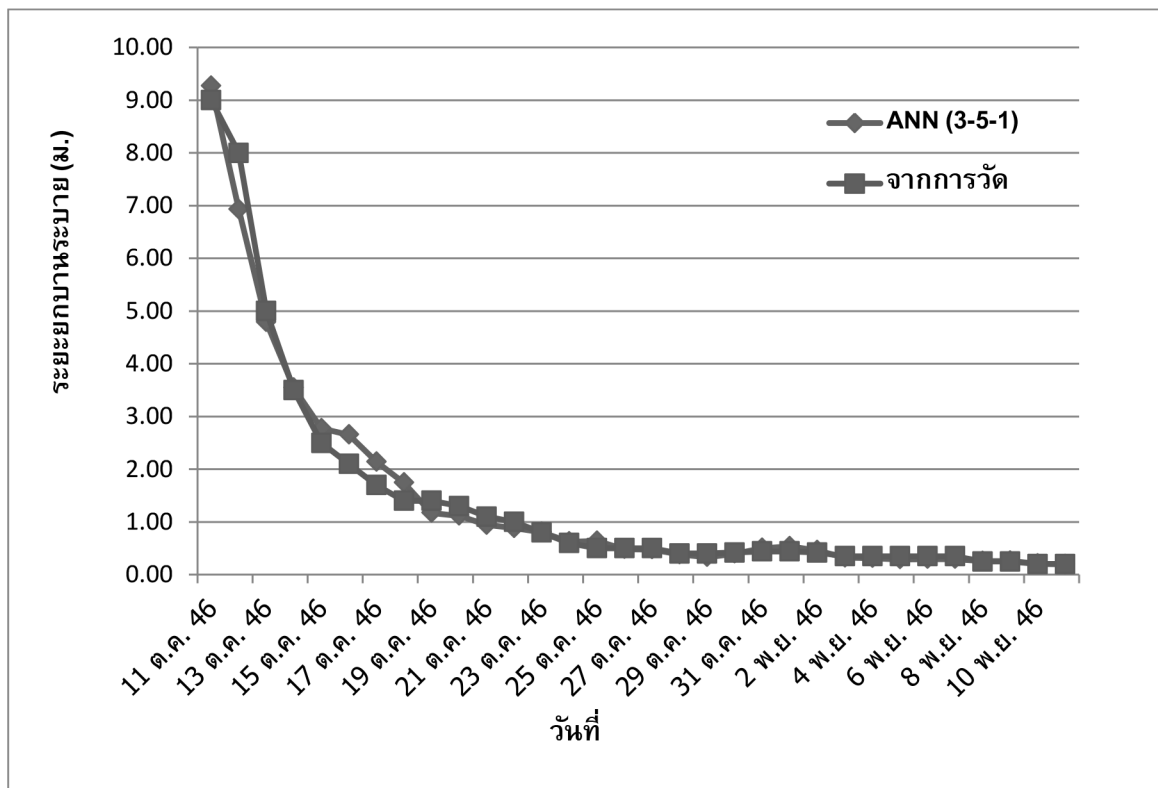


Figure 4 Gate operate high from observation and from Model 1(3-4-1)

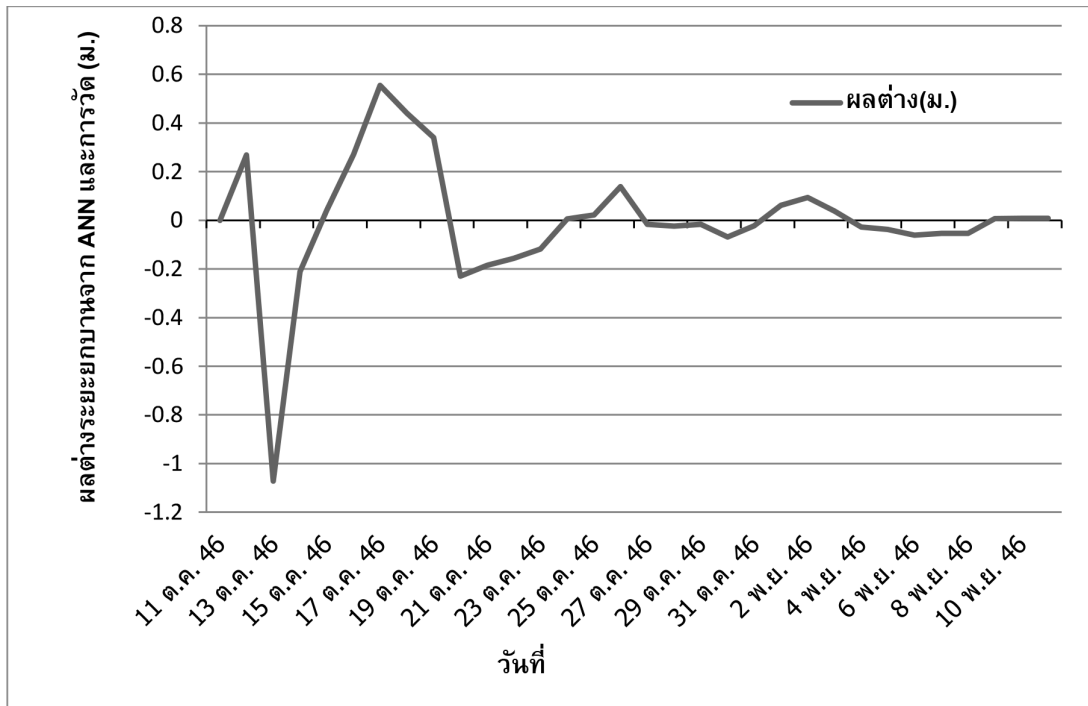


Figure 5 Differences between gates operate high from observation and from Model 1(3-4-1)

สรุปและวิจารณ์

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) โปรแกรม WinNN 0.97 สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือเบื้องต้นในการสร้างเกณฑ์การควบคุมบานระบายฝายชนบท ทั้งในช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งและจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝน

ในช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งเป็นช่วงที่เจ้าหน้าที่จะต้องเฝ้าระวังสถานการณ์น้ำ น้ำเก็บกักหน้าฝายส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้เพื่อเตรียมแปลงตกกล้า จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ไม่สามารถยกบานระบายแต่เนิ่นได้รวมทั้งไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจว่าจะต้องยกบานระบายให้สูงเพียงใดเพื่อให้เหมาะสมที่สุด เพื่อไม่ให้เป็นต้นเหตุในการขวางทางน้ำจนเกิดอุทกภัย และในช่วงปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งบานระบายที่ยกลอยเหนือน้ำทุกบานจำเป็นต้องโรยลงมาเพื่อเก็บน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งก็ไม่สามารถลดบานลงได้อย่างทันทีทันใด เพราะจะทำให้ตลิ่งด้านท้ายฝายพังทลายได้หรือหากเก็บน้ำไว้หน้าฝายก่อนที่น้ำจะล้นสุดช่วงน้ำหลากก็จะทำให้พื้นที่น้ำท่วมบริเวณหน้าฝายใช้เวลานานออกไป

ในช่วงฤดูฝนปรับเป็นฤดูแล้งแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้วิเคราะห์การยกบานระบายในวันนั้นๆ คือ แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรนำเข้าข้อมูลระดับน้ำที่สถานี E.21 และระดับน้ำท้ายฝายชนบท โดยเลือกใช้ขนาด 4 ชั้น โครงสร้าง 2-4-3-1

ส่วนในช่วงฤดูแล้งปรับเป็นฤดูฝนแบบจำลอง ANN ที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้วิเคราะห์การยกบานระบายในวันนั้นๆ

คือ แบบจำลองที่ใช้ตัวแปร ระดับน้ำที่สถานี E21 ย้อนหลัง 4 วัน, ระดับน้ำท้ายฝายชนบทย้อนหลัง 2 วัน และระดับน้ำ E.9 ย้อนหลัง 2 วัน โดยเลือกใช้ขนาด 3 ชั้น โครงสร้าง 3-3-1

การประเมินประสิทธิภาพของการนำค่า การยกบานระบายจาก ANN ไปใช้ในช่วงจะเข้าสู่ฤดูแล้งนั้น ให้นำค่าการยกบานที่ได้ ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 4 วัน และ ระดับน้ำที่สถานี E.9 ไป RUN ในแบบจำลอง ANN ขนาด 4 ชั้น โครงสร้าง 3-3-2-1 เพื่อพยากรณ์ค่าระดับน้ำท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับที่วัดได้จริงว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่

ส่วนการประเมินประสิทธิภาพของการนำค่า การยกบานระบายจาก ANN ไปใช้ในช่วงจะเข้าสู่ฤดูฝนนั้น ให้นำค่าการยกบานที่ได้ ระดับน้ำที่สถานี E.21 ย้อนหลัง 1 วันและระดับน้ำที่สถานี E.9 ไปทำงานในแบบจำลอง ANN ขนาด 3 ชั้น โครงสร้าง 3-4-1 เพื่อพยากรณ์ค่าระดับน้ำท้ายฝายชนบทล่วงหน้า 1 วัน แล้วนำไปเปรียบเทียบกับที่วัดได้จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมชลประทานกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าและขั้นตอนการทำงาน of โปรแกรม ANN, ขอขอบคุณท่านอาจารย์สุชาติรัตน์ คำปลิวที่ให้คำแนะนำและแนวทางการของ โปรแกรม ANN

เอกสารอ้างอิง

1. รายงานครั้งสุดท้าย โครงการละหานนา ฝ่ายชนบท. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2536.
2. คณะทำงานประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม. เอกสารประกอบการฝึกอบรมครั้งที่ 1 การประยุกต์ใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม. กรมชลประทาน, 2546.
3. ธนพล พิमान. การศึกษาความเหมาะสมของโครงข่ายใยประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์น้ำท่ารายวันในพื้นที่ลุ่มน้ำปราจีนบุรี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
4. เลอพงศ์ อ่ำสุริยา. การประยุกต์ใช้โครงข่ายใยประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ- อัตราการไหล, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
5. พิเชษฐ์ วรอุทตกุล. การพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1 วัน ที่สถานี N1 โดยโครงข่ายใยประสาทเทียม. วารสารชมรมนักอุทกวิทยา.ปีที่ 8 ฉบับที่ 7, 2546.
6. Elshorbagy,A., Simonovic, S.P., Panu, U.S., and Fellow, P.E. Performance Evaluation of Artificial Neural Networks For Runoff Prediction.
7. Siang, J.J. Application of Back Propagation Method in Forecasting Problem. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1992.
8. Thirumalaiah, K. and Deo, M.C. River Stage Forecasting Using Artificial Neural Networks, Journal of Hydrologic Engineering, 3. No.1(1998): 26-32.

ระบบคะแนนสำหรับคาบเวลาพฤติกรรมโค

Scoring System for Behavioral Time Periods of Cattle

อภิรินทร์ อูโรโสภณ,¹ ธนดล รัตนวงศ์²

Apinan Aurasopon,¹ Tanadon Rattanawong²

Received : 15 May 2018 ; Accepted : 29 August 2018

บทคัดย่อ

คาบเวลาพฤติกรรมที่โคใช้สำหรับยืน เดินแทะเล็มหญ้า และนอนในแต่ละวันสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อทำนายสุขภาพโค งานวิจัยนี้เสนอวิธีการกำหนดระบบคะแนนคาบเวลาพฤติกรรมของโค อนุกรมเวลาอ้างอิงหาได้จากค่าเฉลี่ยของคาบเวลาพฤติกรรมของโคจำฝูงถูกใช้วัดความเหมือนกับคาบเวลาพฤติกรรมโคอื่นในฝูง โดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปิง ผลลัพธ์จากกระบวนการนี้คือค่าระยะทางสะสม ผลการทดลองด้วยการเก็บข้อมูลโคห้าตัวเป็นเวลาสิบวัน ข้อมูลระยะทางสะสมที่ได้ชี้ให้เห็นว่าสามารถถูกนำมาใช้สำหรับทำนายสุขภาพโคได้

คำสำคัญ: สุขภาพโค คาบเวลาพฤติกรรมโค ไดนามิกไทม์วอร์ปิง

Abstract

The behavioral time periods that cows spend standing, grazing, and lying during each day can be used data to predict their health. To assist the prediction, this paper proposes a method to determine a scoring system of the behavioral time periods of cows. A reference time series, the average of the behavioral time periods of the leadership of the herd, is generated and used to measure the similarity with the behavioral time periods of cows by using Dynamic Time Warping (DTW). The result of this process is an accumulated distance. The experimental results by using five cows for ten days were recorded. The data on the accumulated distances indicate that they can be used for identifying the health of the cow.

Keyword: Cow health, Behavioral time periods of cows, Dynamic Time Warping

บทนำ

ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง สำหรับการเลี้ยงโคให้ได้ผลผลิตคือ การดูแลรักษาสุขภาพของโค โดยทั่วไปการวินิจฉัยสุขภาพของโคทำได้สองลักษณะ คือหนึ่งสังเกตสรีระของโค เช่น ตา หู ผิวหนัง ลิ้น ปาก ขนและขาของโค เป็นต้น นี้ทำให้บ่งบอกสุขภาพโคได้อย่างถูกต้อง² อย่างไรก็ตามการวินิจฉัยแบบนี้ต้องอาศัยความชำนาญจากผู้เลี้ยงหรือจากสัตวแพทย์ ซึ่งเป็นไปได้ยาก กรณีการเลี้ยงโคฝูงใหญ่

สำหรับลักษณะที่สองคือสังเกตคาบเวลาของแต่ละพฤติกรรมของโค³ เช่น คาบเวลาพฤติกรรมการเดิน แทะเล็ม

หญ้า ยืน และนอน ถึงแม้ว่าผลลัพธ์จะให้ความถูกต้องต่ำกว่า การสังเกตทางสรีระโดยตรง แต่ก็สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับตรวจสอบและทำนายสุขภาพของโคได้ ทั้งนี้ เนื่องจากปัจจุบันมีการพัฒนาระบบคัดแยกพฤติกรรมของโคที่สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ⁴⁻⁹

ที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาพฤติกรรมกับการเจ็บป่วยของโค เช่น ศึกษาการกะแผลกของชาโคนม¹⁰⁻¹⁴ จากผลการศึกษาเกี่ยวกับอาการขากะแผลก พบว่าโคมีคาบเวลาการนอนมากกว่าคาบเวลาของการยืนและมีการกินอาหารลดลง กรณีที่โคมีคาบเวลาการนอน

¹ รองศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150, โทรศัพท์ : 095-2217718, Email : apinan.a@msu.ac.th

² อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยพณิชยบัณฑิต อำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู 39000.

¹ Assoc. Prof., Faculty of Engineer, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha sarakham 44150, Thailand, Tel : 0952217718, Email: apinan.a@msu.ac.th

² Lecturer, Faculty of Engineering, Pitchayabundit College, Muang District, Nong Bua Lamphu 39000, Thailand.

น้อยลง แต่มีอาการกระวนกระวาย เดินและยืนตลอดเวลา นั่นคือช่วงเลากการเป็นสัตว์^{15,16} จากการศึกษาวิจัยดังกล่าวคาบเวลาของพฤติกรรมสามารถใช้เป็นข้อมูลบ่งบอกสุขภาพของโคได้ อย่างไรก็ตามช่วงอายุของโคนั้นจะส่งผลต่อคาบเวลาพฤติกรรมของโคแต่ละตัวต่างกัน โดยโคตั้งแต่แรกเกิดถึงประมาณ 7 เดือนจะใช้เวลากินนมและนอนมากกว่าการทำกิจกรรมอื่น หลังจากนั้นโคเริ่มกินอาหารหรือหญ้าเต็มที่ ซึ่งปริมาณการกินจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักและความต้องการของตัวโคเอง¹ ซึ่งปริมาณการกินดังกล่าวนี้ส่งผลต่อคาบเวลาพฤติกรรมของโค ด้วยเหตุนี้การคัดแยกสุขภาพโคจึงจำเป็นต้องใช้คาบเวลาพฤติกรรมเฉพาะของโคแต่ละตัว ส่งผลให้ต้อง

เก็บข้อมูลในปริมาณมาก ในการเลี้ยงโคแบบปล่อยฝูง ถึงแม้คาบเวลาพฤติกรรมของโคแต่ละตัวต่างกัน แต่คาบเวลานั้นจะใกล้เคียงกัน กล่าวคือ โคในฝูงเดียวกันจะมีพฤติกรรมคล้ายกัน เช่น ถ้าโคจำฝูงเดินแทะเล็มหญ้าโคภายในฝูงก็จะเดินแทะเล็มหญ้าตาม เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้เสนอระบบคะแนนของคาบเวลาพฤติกรรมโค โดยใช้ข้อมูลระยะเวลาอ้างอิงของพฤติกรรมโคจำฝูง สำหรับใช้วัดความเหมือนกับอนุกรมเวลาของคาบเวลาพฤติกรรมของโคในฝูง ผลลัพธ์จากกระบวนการคือค่าระยะทางสะสม ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำหรับทำนายสุขภาพของโคได้

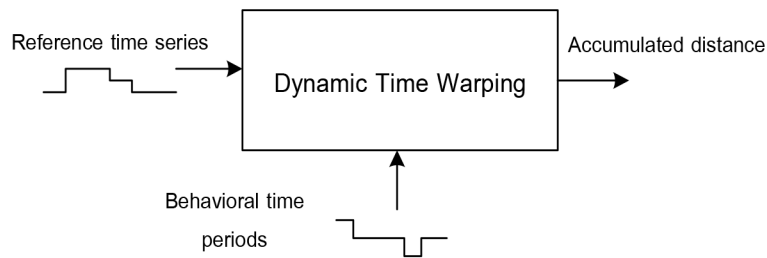


Figure 1 Proposed scoring system of the behavioral time periods of cow.

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

โครงสร้างระบบที่เสนอ

Figure 1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบกำหนดคะแนนของคาบเวลาพฤติกรรมโค โดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปิง (DTW) วัดความเหมือนระหว่างสองอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นคาบเวลาพฤติกรรมของโคในฝูงและอนุกรมเวลาอ้างอิง ผลลัพธ์ของกระบวนการนี้คือ ระยะทางสะสม (คะแนนความเหมือน) ของอนุกรมเวลาทั้งสอง ซึ่งในแต่ละวันคาบเวลาที่ใช้ในแต่ละพฤติกรรมของโคอาจมีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ระยะทางสะสมมีการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับสุขภาพของโค

อนุกรมเวลาอ้างอิง

อนุกรมเวลาอ้างอิงใช้สำหรับวัดความเหมือนกับอนุกรมเวลาของพฤติกรรมโค ถูกสร้างโดยใช้ค่าเฉลี่ยของคาบเวลาพฤติกรรมของโคจำฝูงหรือของฝูงโคเหล่านั้น Figure 2 แสดงตัวอย่างของอนุกรมเวลาอ้างอิง โดยในแนวแกนตั้งคือแรงดันไฟฟ้าที่สอดคล้องกับพฤติกรรมโค และในแนวแกนนอนคือเวลา แสดงดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned}
 \text{Lying time} &= 1.5 \text{ V} \\
 \text{Standing time} &= 3 \text{ V} \\
 \text{Walking-grazing} &= 2.5 \text{ V}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

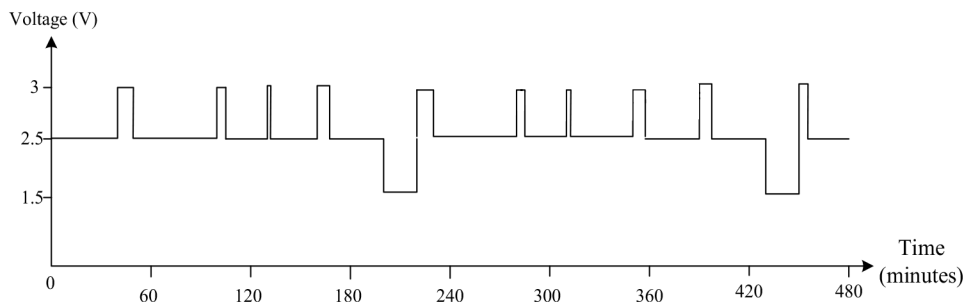


Figure 2 Reference time series.

ไดนามิกไทม์วอร์ปิง

การกำหนดคะแนนของคาบเวลาพฤติกรรมของโคขึ้นอยู่กับเปรียบเทียบระหว่างสองอนุกรมเวลา โดยทั่วไปการวัดความเหมือนของอนุกรมเวลาสามารถทำได้ด้วยวิธีการวัดระยะทางแบบยูคลิด (Euclidian distance) คือการกำลังสองของผลรวมระยะทางจุดต่อจุดบนอนุกรมเวลาทั้งสอง อย่างไรก็ตามถ้าอนุกรมเวลาทั้งสองมีเฟสและจำนวนจุดที่ต่างกันจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูง ขณะที่ ไดนามิกไทม์วอร์ปิงสามารถแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวได้¹⁷ ถึงแม้ว่าอนุกรมเวลาทั้งสองมีเฟสที่แตกต่างกัน หรือจำนวนจุดไม่เท่ากัน สำหรับขั้นตอนพื้นฐานของ ไดนามิกไทม์วอร์ปิงสามารถแบ่งออกได้เป็นสามขั้นตอน เมื่ออนุกรมเวลา X และ Y ที่มีความยาว และ M ดังสมการที่ (2)

$$\begin{aligned}
 X &= x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_N \\
 Y &= y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_M
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

ขั้นตอนแรก สร้างเมตริกซ์ต้นทุนเฉพาะส่วน (Local cost matrix, d) คือเมตริกซ์ที่เก็บช่วงเวลาทั้งหมดระหว่าง X และ Y ซึ่งแต่ละเซลล์ต้นทุนของเมตริกซ์ต้นทุนเฉพาะส่วนสามารถคำนวณหาได้โดยใช้สมการที่ (3)

$$d(i, j) = \sqrt{(x_i - y_j)^2}
 \tag{3}$$

ขั้นตอนที่สองคือการคำนวณหาเมตริกซ์ต้นทุนสะสม (Accumulated cost matrix, D) ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่เก็บต้นทุนสะสมที่น้อยที่สุดของเมตริกซ์ โดยระบุตามรูปแบบการค้นหาจาก (1,1) ถึง (N, M) ส่วนใหญ่รูปแบบการค้นหาจะใช้ขั้นตอนการตรวจสอบต้นทุนในเซลล์แนวตั้ง แนวนอน และตามแนวทแยง จากเซลล์ในเมตริกซ์ ซึ่งการคำนวณในรูปแบบการค้นหาค่าต้นทุนสะสมที่น้อยที่สุดในแต่ละเซลล์ของเมตริกซ์สามารถหาได้ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned}
 D(i, j) &= d(i, j) + \min(D(i-1, j-1), \\
 &D(i, j-1), D(i-1, j)) \\
 i &\in N, j \in M
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

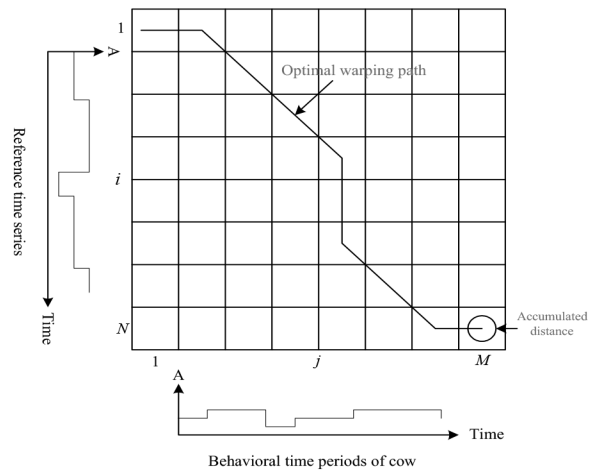


Figure 3 Accumulated cost matrix.

ขั้นตอนที่สาม การหาเส้นทางบิดเบือนที่ดีที่สุด โดยการคำนวณเส้นทางการบิดเบือนของเมตริกซ์ต้นทุนสะสม ซึ่งเส้นทางการบิดเบือน คือเส้นทางที่สั้นที่สุดจาก (N,M) ถึง (1,1) ตลอดเมตริกซ์ต้นทุนสะสมตามรูปแบบการค้นหาในทำนองเดียวกันกระบวนการสำหรับการสร้างเมตริกซ์ต้นทุนสะสม โดยทั่วไปรูปแบบการค้นหาเส้นทางบิดเบือนจะใช้การค้นหาเซลล์แนวตั้ง แนวนอน และตามแนวทแยง จากเซลล์ในเส้นทางบิดเบือน Figure 3 แสดงเมตริกซ์ต้นทุนสะสม D และการหาเส้นทางบิดเบือนที่ดีที่สุด โดยในแนวแกนตั้งคืออนุกรมเวลาอ้างอิง และในแนวแกนนอนคือ อนุกรมเวลาของคาบเวลาพฤติกรรมของโค เมตริกซ์ต้นทุน $D(N,M)$ คือความผิดพลาดขั้นต่ำ หรือคะแนนความเหมือนของอนุกรมเวลาทั้งสองที่ผู้วิจัยให้ความสนใจ

ผลการวิจัย

คาบเวลาพฤติกรรมของโคถูกบันทึกไว้ในรูปแบบวิดีโอ และถูกนำมาเปลี่ยนเป็นอนุกรมเวลาโดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งคาบเวลาพฤติกรรมของโคจำฝูงจำนวน 5 วัน บันทึกตั้งแต่วันที่ 08.30-16.30 น. เฉลี่ยคาบเวลาพฤติกรรมนำมาใช้เป็นอนุกรมเวลาอ้างอิง โดยใช้โคจำนวน 5 ตัว ในการทดลอง Figure 4(a) แสดงอนุกรมเวลาอ้างอิงและคาบเวลาพฤติกรรมของโคตัวที่ 1 ในวันที่หนึ่ง ซึ่งอนุกรมเวลาเหล่านี้ได้รับการวัดความคล้ายคลึงโดยใช้ไดนามิกไทม์วอร์ปิง ผลลัพธ์สามารถแสดงให้เห็นได้ใน Figure 4(b) เมตริกซ์ต้นทุนสะสมและระยะทางสะสมที่เกี่ยวข้องกับคาบเวลาพฤติกรรมมีค่าเท่ากับ 1.12 ในการเก็บและทดลอง 10 วัน คาบเวลาของพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย ส่งผลให้ระยะทางสะสมมีการแกว่งเล็กน้อย

Figure 5 แสดงผลการศึกษาโค 5 ตัว ในระยะเวลา 10 วัน โดยที่โคทุกตัวแข็งแรงอยู่ในสภาวะปกติ ซึ่งระยะทางสะสมของโคแต่ละตัวแสดงความสัมพันธ์กับคาบเวลาพฤติกรรมของตัวมันเอง จากผลการทดลองพบว่า ค่าคะแนนที่ได้ในระดับต่างๆ แสดงให้เห็นถึงความคล้ายคลึงกันระหว่างคาบเวลาพฤติกรรมของโคที่ต้องการทดสอบกับคาบเวลาพฤติกรรมของโคจำฝูงที่ใช้อ้างอิง กรณีค่าน้อย หมายถึงความคล้ายคลึงกันของคาบเวลาพฤติกรรมทั้งสอง ซึ่งหมายถึง

สุขภาพโคอยู่ในสภาวะปกติ จากผลการทดลอง ค่าคะแนนสะสมต่ำสุดเท่ากับ 0.83 และค่าสูงสุดเท่ากับ 1.42 อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายคือกำหนดคะแนนคาบเวลาพฤติกรรมของโค เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคัดแยกสุขภาพของโคเท่านั้น ขณะที่การหาค่าคะแนนสะสมอ้างอิงเพื่อคัดแยกโคที่ผิดปกติ สามารถทำได้โดยใช้ตัวอย่างจากโคที่ผิดปกติ ซึ่งผู้วิจัยจะได้ศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

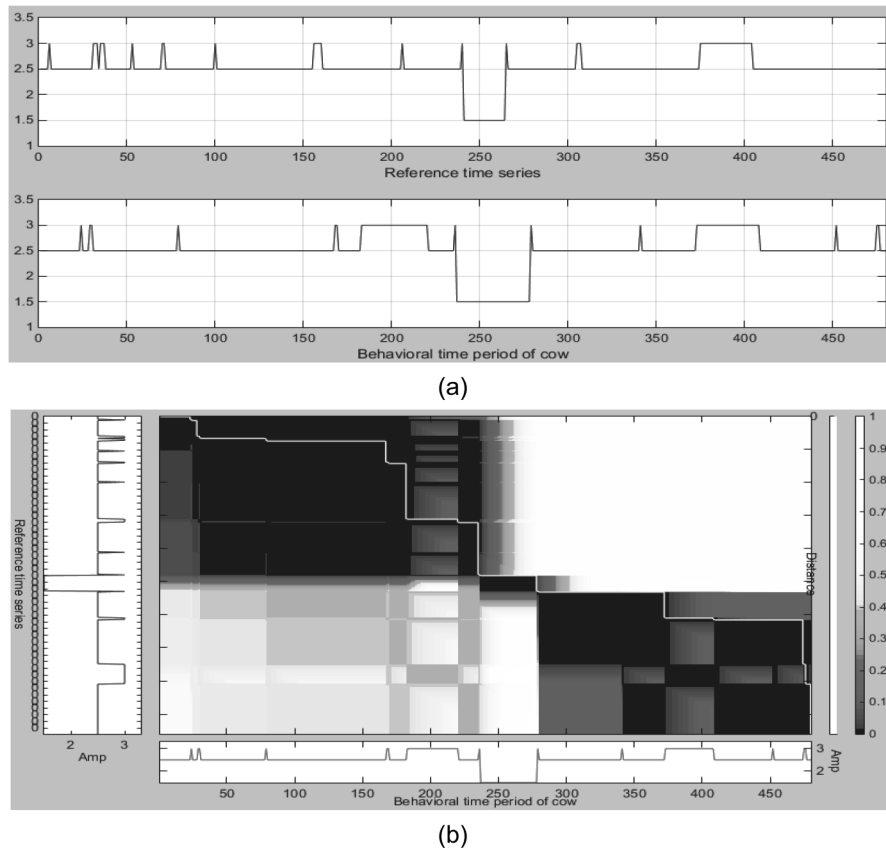


Figure 4 (a) Time series of reference and behavioural time period of cow and (b) Accumulated cost matrix.

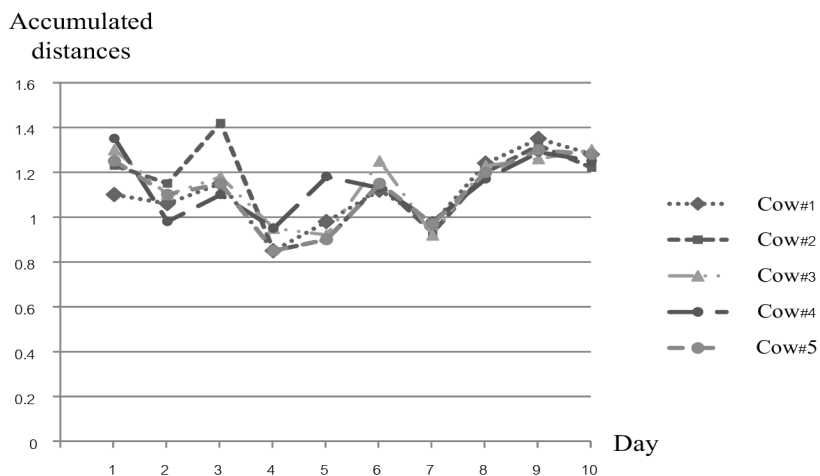


Figure 5 Accumulated distances of 5 cows for 10 days.

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอระบบสำหรับกำหนดคะแนนคาบเวลาพฤติกรรมของโค โดยใช้คาบเวลาพฤติกรรมของโคจำฝูงสร้างเป็นอนุกรมเวลาอ้างอิง เพื่อใช้วัดความเหมือนกับคาบเวลาพฤติกรรมของโคในฝูงโดยใช้ไดนามิกโทมวอร์ปปีง ผลการทดลองจากรูป Figure 5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อคาบเวลาพฤติกรรมของโคในฝูงมีความคล้ายคลึงกับอนุกรมเวลาอ้างอิง จะทำให้ค่าระยะทางสะสมน้อย (คะแนนความเหมือน) อยู่ในช่วง 0.83-1.42 นั่นคือ คาบเวลาพฤติกรรมหรือสุขภาพของโคอยู่ในเกณฑ์ปกติ ในทางตรงข้ามถ้ามีค่ามาก นั่นคือคาบเวลาพฤติกรรมหรือสุขภาพของโคเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นคะแนนความเหมือนของคาบเวลาพฤติกรรมของโค สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับทำนายสุขภาพของโคได้

เอกสารอ้างอิง

1. ดร.สุวิช บัญโปร่ง. คู่มือการเลี้ยงโคเนื้อสำหรับเกษตรกรไทย. สุรินทร์: โรงพิมพ์รุ่งโรจน์เกียรติ; 2558. หน้า 30-14.
2. Floron C Faries Jr. Common Health Problems of Beef Cattle. Texas A&M AgriLife Extension Service 2012; E-348 06-05: 1-8.
3. Aurasopon A and Kuankid S. Dynamic time warping for classifying lameness in cows. CIGR Journal 2016a; 18(2): 457-65.
4. Schwager M, Anderson D M, Butler Z and Rus D. Robust classification of animal tracking data. Computers and Electronics in Agriculture 2007; 56(1): 46-59.
5. Oudshoorn F W, Kristensen T and Nadimi E S. Dairy cow defecation and urination frequency and spatial distribution related to time limited grazing. Livestock Science 2008; 113(1): 62-73.
6. Darr M and Epperson W. Embedded sensor technology for real time determination of the animal lying time. Computers and Electronics in Agriculture 2009; 66(1): 106-11.
7. Robert B, White B J, Renter D G and Larson R L. Evaluation of three-dimensional accelerometers to monitor and classify behavior patterns in cattle. Computers and Electronics in Agriculture 2009; 67(1-2): 80-84.
8. Aurasopon A, Rattanawong T and Kaunkid S. Classification of the cattle behaviors by using magnitude and variance of accelerometer signal. CIGR Journal 2015; 17(4): 415-20.
9. Aurasopon A and Kuankid S. Dynamic time warping for classifying the cattle behaviors and reducing the acceleration data size. CIGR Journal 2016b; 18(4): 293-300.
10. Alsaad M, Romer C, Kleinmanns J, Hendriksen K, Rose-Meierhofer S, Plumer L and Buscher W. Electronic detection of lameness in dairy cows through measuring pedometric activity and lying behavior. Applied Animal Behaviour Science 2012; 142(3-4): 134-41.
11. De Mol R M, Andre G, Bleumer E J, van der Werf J T, de Haas Y and van Reenen C G. Applicability of day-to-day variation in behavior for the automated detection of lameness in dairy cows. Journal Dairy Science 2013; 96(6): 3703-12.
12. Kamphuis C, Frank E, Burke J K, Verkerk G A and Jago J G. Applying additive logistic regression to data derived from sensors monitoring behavioral and physiological characteristics of dairy cows to detect lameness. Journal Dairy Science 2013; 96(11): 7043-53.
13. Thorup V M, Munksgaard L, Robert P E, Erhard H W, Thomsen P T and Friggens N C. Lameness detection via leg-mounted accelerometers on dairy cows on four commercial farms. Animal 2015; 9(10): 1704-12.
14. Liberati P and Zappavigna P. Improving the automated monitoring of dairy cows by integrating various data acquisition systems. Computers and Electronics in Agriculture 2009; 68(1): 62-67.
15. Jónsson R, Blanke M, Poulsen N K, Caponetti F, Hosjsgaard S. Oestrus detection in dairy cows from activity and lying data using on-line individual models. Computers and Electronics in Agriculture 2011; 76(1): 6-15.
16. Silper B F, Polsky L, Luu J, Burnett T A, Rushen J, de Passillé A M and Cerri R L. Automated and visual measurements of estrous behavior and their sources of variation in Holstein heifers. II: Standing and lying patterns. Theriogenology 2015; 84(3): 333-341.
17. Giorgino, T. Computing and Visualizing Dynamic Time Warping Alignments in R: The dtw Package. Journal of Statistical Software, 2009; 31(7): 1-24.

การพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในขนาดภายใต้การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางอุทกวิทยาและการปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยเทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม

Prediction of Future Inflow under Hydrological Variation Characteristics and Improvement of Nam Oon Reservoir Rule Curve using Genetic Algorithms Technique

เจษฎา ตงศิริ,¹ อนงกริต กังแรง²

Jessada Tongsir,¹ Anongrit Kangrang²

Received : 20 December 2017 ; Accepted : 11 July 2018

บทคัดย่อ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลต่อปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและการบริหารจัดการน้ำ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์แรกเพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้ำอูนด้วยแบบจำลอง SWAT โดยพิจารณาสภาพภูมิอากาศขนาดจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค PRECIS ในสถานการณ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบ A2 และ B2 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ A2 มากกว่า B2 และข้อมูลการใช้ที่ดินเหนืออ่างเก็บน้ำจากแผนที่ Agri-Map ซึ่งพื้นที่ปลูกข้าวลดลงและพื้นที่ปลูกมันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพดเพิ่มขึ้น วัตถุประสงค์ที่สองเพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำโดยใช้เทคนิคเจเนติกอัลกอริทึม (GAs) ร่วมกับแบบจำลองอ่างเก็บน้ำ โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992 – 2016 สังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่า 1,000 เหตุการณ์จากข้อมูลอดีต เพื่อประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมโดยแสดงผลเป็นปริมาณน้ำที่ขาดแคลนและไหลล้น ในรูปความถี่ ขนาด และช่วงเวลา ผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าอนาคตทั้งสองกรณีสูงกว่าน้ำท่าอดีต น้ำท่าอนาคต A2 มีปริมาณสูงกว่าน้ำท่าอนาคต B2 ส่วนโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิค GAs สามารถลดสถานการณ์น้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิมจากค่าการไหลล้น 0.997 เป็น 0.992 ครั้งต่อปี และลดปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยจาก 251.685 เป็น 246.222 ล้านลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ : โค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำ การหาค่าเหมาะสมที่สุด การค้นหาแบบเจเนติกอัลกอริทึม การบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

Abstract

Climate and land use changes affect to amount of water entering the Nam Oon reservoir and its water management. The purpose of this study was to estimate the amount of water flowing into the reservoir by SWAT model considering the climate data with the PRECIS regional climate model of A2 and B2 emission scenarios, with an increase in temperature A2, more B2 and the land use data over the reservoir from the map of Agri-Map, where the area of rice cultivation decreased and corn cassava planting area increased. Another objective was to improve reservoir rule curves by using Genetic Algorithms (GAs) with Reservoir Simulation model. The historical inflow data from 1992 to 2016, synthetic inflow data of 1,000 events and future inflow were used to evaluate the efficiency of the rule curves which showed situations of water shortage and excess release water in terms of frequency, magnitude and duration. The results show that the future inflows were higher than the historical inflow in both scenarios. Also, the future inflows of A2 scenario were higher than the inflows of B2 scenario. The new obtained rule curves from GAs can reduce the

¹ นิสิตปริญญาโท, ² รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

¹ Graduate students, ² Assoc. Prof., Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author; Assoc. Prof. Anongrit Kangrang, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. E-mail: anongrit.k@msu.ac.th

situations of excess release water better than the original control curve from a 0.997 to 0.992 times per year and reduce average overflow from 251.685 to 246.222 mcm.

Key Words: Reservoir rule curves, Optimization techniques, Genetic Algorithm-GAs, Reservoir management.

บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตเพราะใช้น้ำทั้งเพื่อการอุปโภค บริโภค เพื่อการเกษตร เพื่ออุตสาหกรรม และในบางพื้นที่ยังใช้แม่น้ำเป็นเส้นทางในการคมนาคมอีกด้วย หากมีปริมาณน้ำให้ใช้น้อยเกินไปประชาชนจะเกิดการแย่งชิงน้ำเพื่อให้ตนเองได้น้ำไปใช้ประโยชน์ตามปริมาณที่ตนเองต้องการ แต่หากน้ำมีปริมาณมากเกินไปความต้องการจนความคุมไม่ได้จะเป็นปัญหาทำให้เกิดน้ำท่วม หรือถ้ามีมาก ๆ จะทำให้เกิดอุทกภัยซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อบ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง หรือแม้แต่ผลผลิตทางการเกษตรที่เกษตรกรเพาะปลูกไว้ เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่ตกแต่ละปีไม่แน่นอนและมีปริมาณมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละปี

การพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมที่มีความแตกต่างกันมีผลต่อภูมิอากาศที่อาจเปลี่ยนแปลงในอนาคตได้ ซึ่งเกิดจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เป็นผลของการพัฒนาด้านเทคโนโลยีอย่างรวดเร็วและการเร่งใช้พลังงานฟอสซิลซึ่งจะเป็นผลทำให้โลกร้อนขึ้น ปัจจุบันมีการจำลองภูมิอากาศที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต แบบจำลอง PRECIS^{3,7} เป็นแบบจำลองที่สามารถคาดการณ์ภูมิอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตของพื้นที่ต่างๆ ได้ ทำให้สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ประกอบการหาปริมาณน้ำท่าที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อใช้ในการบริหารจัดการน้ำร่วมกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

Agri-Map¹ เป็นแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุกโดยบูรณาการข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจากทุกหน่วยงานในสังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ สำหรับใช้เป็นเครื่องมือบริหารจัดการการเกษตรไทยอย่างมีประสิทธิภาพครอบคลุมทุกพื้นที่ มีการปรับข้อมูลให้ทันสมัย และพัฒนาเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน ให้เกิดการเข้าถึงข้อมูลโดยง่ายพร้อมกับสามารถติดตามข้อมูลความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง รอบด้าน ครอบคลุมการนำไปใช้ประโยชน์ทุกด้าน ที่สำคัญเป็นการนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้กับข้อมูลด้านการเกษตร ซึ่งสามารถตอบโจทย์การช่วยเหลือและแก้ปัญหาให้กับเกษตรกรไทยในรายพื้นที่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ทำให้สามารถประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำได้อย่างถูกต้องจากข้อมูลการใช้ที่ดินในปัจจุบันและข้อมูลการส่งเสริมให้ปลูกพืชชนิดใดในอนาคต ยังทำให้สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกได้ตรงกับความต้องการจริงด้วย

การหาปริมาณน้ำท่าให้มีความถูกต้องยังช่วยให้สามารถวางแผนการใช้น้ำในปีต่อไปได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการประเมินปริมาณน้ำท่าในปัจจุบันมีการนำแบบจำลองทางอุทกวิทยาเข้ามาช่วยเพื่อให้สามารถทำงานได้สะดวกขึ้นและการประเมินปริมาณน้ำท่าให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นตามเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เกิดขึ้น แบบจำลองทางด้านอุทกวิทยาที่ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่ามีหลายแบบจำลองด้วยกัน โดยส่วนใหญ่เป็นแบบจำลองทางด้านแนวความคิด (Conceptual Model) ที่ต้องใช้ลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำในการจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่า หรือเรียกว่า แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เช่น SWAT^{2,4} ซึ่งเป็นการนำข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับหาปริมาณน้ำท่ามาวิเคราะห์ร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ย ข้อมูลของดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ความยาวลำน้ำ ความลาดชัน รวมทั้งหน้าตัดของลำน้ำ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณน้ำท่าที่จะนำไปบริหารจัดการผ่านโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำต่อไป

โค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำเป็นเครื่องมือที่สำคัญและจำเป็นในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วยระดับควบคุมตอนบน (Upper Rule Surface) และระดับควบคุมตอนล่าง (Lower Rule Surface) ภายใต้ข้อจำกัดของความจุอ่างเก็บน้ำ ความสามารถในการปล่อยน้ำตามความต้องการใช้น้ำแต่ละเดือนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้มีน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับการบริหารจัดการน้ำช่วงต้นฤดูฝนในปีถัดไป

เทคนิคที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมมี หลายวิธีด้วยกัน เช่น linear programming¹⁴, Dynamic programming¹⁰, Genetic Algorithms (GAs)^{6,8}, วิธีดิฟเฟอเรนเชียลเอฟวิลูชัน (Differential Evolution Algorithm, DE)⁵, Cuckoo search algorithms¹⁵, Tabu Search¹³ และ Ant colony optimization algorithms⁹ เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและความยากง่ายแตกต่างกันไป GAs เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการค้นหาและแก้ปัญหาเพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ได้รับการพัฒนาโดยจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรม หลักการของวิธีการนี้คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและส่วนไม่ดี ซึ่งสิ่งที่ดีจะได้รับการสนับสนุนและถ่ายทอดจากบรรพบุรุษไปสู่ บุตรหลานต่อไป

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำจากข้อมูลการใช้ที่ดิน

Agri-Map โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ส่วนการหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำในการวางแผนการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำ จะทำการศึกษาด้วยวิธีการของ Genetic Algorithms (GAs)

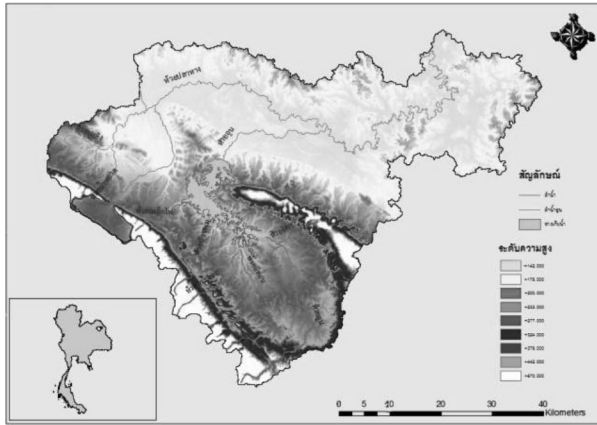


Figure 1 Nam Oon Basin

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. ข้อมูลการใช้ที่ดินที่เหมาะสมกับพื้นที่ Agri-Map

การจัดทำ Agri-Map¹ เพื่อใช้สำหรับการบริหารการเกษตรไทย โดยเป็นความร่วมมือระหว่างกระทรวงเกษตรและสหกรณ์กับกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อเป็นเครื่องมือแนะนำเกษตรกรว่าควรปลูกพืชชนิดใดตามความเหมาะสมของชนิดดิน แหล่งน้ำ สภาพอากาศและแหล่งรับซื้อ โดยสามารถตรวจสอบพื้นที่ผ่านระบบออนไลน์ ตามนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดพื้นที่การปลูกข้าว จึงสามารถนำมาคาดการณ์อนาคตที่จะเกิดขึ้นในอีก 20 ปีข้างหน้าได้ โดยเฉพาะหากเกษตรกรมีการเปลี่ยนแปลงการปลูกพืช ที่เปลี่ยนแปลงไปตามสถานการณ์นั้นๆ ในอนาคต

2. การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT

SWAT^{2,4} เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า การวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินซึ่งใช้แผนที่ Agri-Map¹ ในการวิเคราะห์ตามนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดพื้นที่การปลูกข้าวในพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมและสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่ได้จากแบบจำลอง Precis^{3,7} ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายใต้กรณีคาดการณ์ A2 (พื้นที่ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงถึงปานกลาง) และ B2 (พื้นที่ที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปานกลางถึงต่ำ) ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ศึกษานี้ได้นำข้อมูลมาจากรายงานวิจัยของ จีรวัฒน์ ศุภโกศล² ซึ่งได้ทำการศึกษาไว้แล้วเพื่อนำ

มาประเมินหาปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตและนำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองจากสมการที่ (1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (q_f - \bar{q}_f)(q_m - \bar{q}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (q_f - \bar{q}_f)^2 \sum_{i=1}^n (q_m - \bar{q}_m)^2}} \quad (1)$$

เมื่อ r คือ สมการสำหรับสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ผลคูณโมเมนต์แบบเพียร์สัน q_f คือค่าที่วัดจากสถานีวัด q_m คือค่าเฉลี่ยจากสถานีวัด \bar{q}_f คือค่าที่ได้จากแบบจำลอง \bar{q}_m คือค่าเฉลี่ยจากแบบจำลอง

3. แบบจำลองการเลียนแบบสภาพสมดุลงน้ำ

การศึกษาเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำในแต่ละลุ่มน้ำนิยมใช้แบบจำลอง HEC-3, HEC-5 และ HEC-RAS¹¹ โดยใช้หลักการสมดุลงน้ำ ในการศึกษารังนี้ได้สร้างแบบจำลองการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำขึ้น โดยใช้หลักการเดียวกันกับแบบจำลองข้างต้น เพื่อให้สะดวกต่อการเชื่อมต่อกับเทคนิคการค้นหาลักษณะแบบ GAs^{6,8} และการพัฒนาในอนาคต ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถใช้หาได้ทั้งสถานการณ์ขาดแคลนน้ำ และสถานการณ์ที่เกิดน้ำไหลล้นได้ (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา)

ในการเริ่มต้นคำนวณการเลียนแบบระบบอ่างเก็บน้ำ จะกำหนดให้ปริมาณน้ำเก็บกักเริ่มต้นของอ่างที่ระดับเต็มอ่างหรือปริมาณเก็บกักสูงสุด (Full capacity) ส่วนปริมาณน้ำระบายจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือนจะหาได้ตามเกณฑ์การปล่อยน้ำมาตรฐาน (Standard Operating Rule) ดังแสดงใน Figure 2 และสมการที่ 2

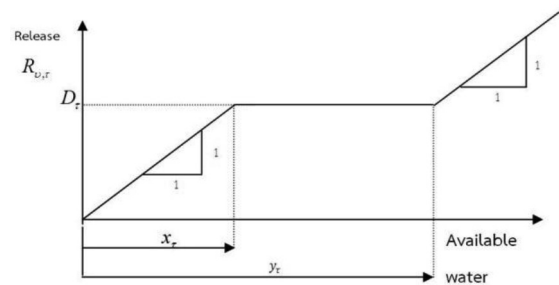


Figure 2 Standard operating rule

$$R_{v,t} = \begin{cases} D_t + W_{v,t} - y_t, & \text{for } W_{v,t} \geq y_t + D_t \\ D_t, & \text{for } x_t \leq W_{v,t} < y_t + D_t \\ D_t + W_{v,t} - x_t, & \text{for } x_t - D_t \leq W_{v,t} < x_t \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

เมื่อ $R_{v,t}$ คือปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำ (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) ในช่วงปี v ของเดือน t ($t = 1$ ถึง 12 แทนเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม) D_t เป็นความต้องการใช้น้ำทำอ่างของเดือน t (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร), x_t เป็นขอบเขตล่างของโค้งควบคุมของเดือน t , y_t เป็นขอบเขตบนของโค้งควบคุมของเดือน t และ $W_{v,t}$ เป็นปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างในเดือน t (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) จากนั้นคำนวณหาปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ของอ่างเก็บน้ำในเดือนถัดไป โดยใช้หลักการสมดุลน้ำต่อไปนี้

$$W_{v,t+1} = S_{v,t} + Q_{v,t} - R_{v,t} - E_t - DS \quad (3)$$

เมื่อ $S_{v,t}$ เป็นปริมาณน้ำเก็บกักของอ่างเมื่อสิ้นสุดเดือน t (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร), $Q_{v,t}$ เป็นปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าอ่างในเดือน t ปี v (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร), E_t เป็นค่าการระเหยรายเดือนเฉลี่ยเดือน t (หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร) และ DS (dead storage) เป็นปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ(หน่วย ล้านลูกบาศก์เมตร)

เมื่อทำการจำลองสภาพสมดุลน้ำโดยใช้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระบบอ่างเก็บน้ำที่สร้างขึ้นจนครบจำนวนปีที่มีข้อมูลแล้ว จะได้ผลการจำลองเป็นสถานการณ์ขาดแคลนน้ำและสถานการณ์ที่เกิดน้ำส่วนเกิน (ความถี่ ขนาด ช่วงเวลา) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดต่อไป

4. การประยุกต์วิธีการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบ GAs กับแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระบบอ่างเก็บน้ำ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม หรือ GAs^{6,8} เชื่อมต่อกับแบบจำลองเปลี่ยนแปลงสถานการณ์เพื่อค้นหาโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

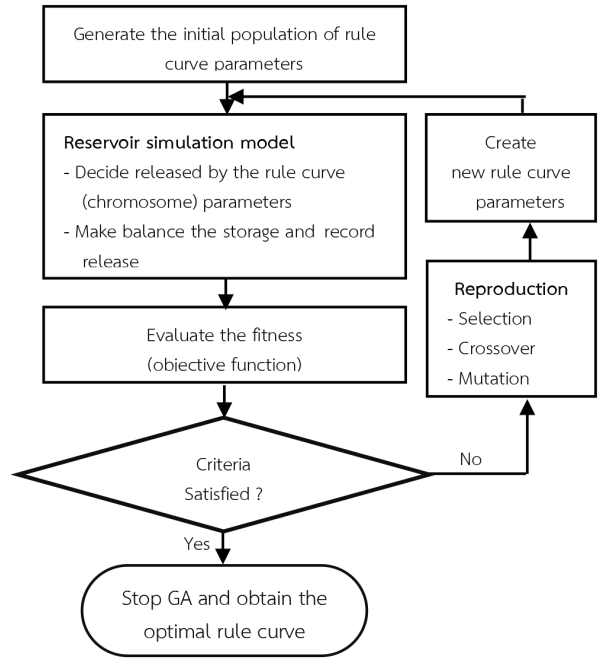


Figure 3 Application of GAs and Simulation Modeling^{6,8}

4.1 GAs มีความต้องการรูปแบบการเข้ารหัส (encoding schemes) เพื่อต้องการปรับเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของโครโมโซม (chromosome) จากนั้นจะมีการดำเนินการทางพันธุกรรม (genetic operation) หรือการผสมพันธุ์ (reproduction) ซึ่งประกอบด้วย การคัดเลือก (selection) การข้ามสายพันธุ์ (crossover) และการกลายพันธุ์ (mutation) ซึ่งจะทำให้เกิดกลุ่มโครโมโซมใหม่หลังจากที่ผ่านกระบวนการในขั้นตอนนี้

4.2 สำหรับในการศึกษานี้ ตัวแปรสำหรับการตัดสินใจ (decision variable) คือปริมาณน้ำที่เก็บกักเฉลี่ยในแต่ละเดือนของโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจะกำหนดเป็นขอบเขตบน (upper bound) และขอบเขตล่าง (lower bound) โดยเป็นค่าที่อยู่ระหว่างโค้งควบคุมที่ใช้งานอยู่ ณ เวลาปัจจุบัน (existing rule curve)

4.3 หลังจากที่โครโมโซมจำนวน 1 ชุด (หรือโค้งควบคุมจำนวน 24 ค่า จากโค้งควบคุมบน 12 ค่า และโค้งควบคุมล่าง 12 ค่า) ซึ่งเป็นประชากรต้นกำเนิด (initial population) ได้ถูกคำนวณแล้วนั้น ปริมาณการปล่อยน้ำจะถูกคำนวณซ้ำอีกครั้งด้วยวิธีการแบบจำลองเปลี่ยนแปลงสถานการณ์โดยใช้โค้งควบคุมนี้

4.4 ปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยจะถูกนำไปใช้เพื่อคำนวณหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเหมาะสม (fitness) ของ GAs

4.5 หลังจากนั้น กระบวนการทางพันธุกรรมที่ประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จะดำเนินการสร้างโค้งควบคุมขึ้นมาใหม่ในรุ่นถัดไป โดยขั้นตอนนี้จะมีการกระทำซ้ำจนกระทั่งได้โค้งควบคุมจำนวน 24 ค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถแสดงเป็นขั้นตอนการทำงานดัง Figure 3

โดยมีสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ที่ใช้ในการค้นหาค่าตอบโค้งควบคุมที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ดังแสดงในสมการ คือ

$$Min\ excess_{(avr)} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n Sh_v \quad (4)$$

โดยที่ n = ผลรวมของจำนวนปีที่ต้องการพิจารณา
 Sh_v = ปริมาณน้ำที่ไหลล้นระหว่างปี V

5. การค้นหาโค้งควบคุมที่เหมาะสมสำหรับอ่างเก็บน้ำน้ำอูน

ในการศึกษานี้เลือกการประยุกต์ใช้เทคนิค GAs^{6,8} เชื่อมต่อกับแบบจำลองการเลียนแบบอ่างเก็บน้ำน้ำอูน จังหวัดสกลนครซึ่งเป็นลำน้ำสาขาสำคัญของแม่น้ำสงคราม ต้นน้ำอยู่ที่อำเภอกุตุบาก จังหวัดสกลนคร มีความจุที่ระดับเก็บกัก 520 ล้านลูกบาศก์เมตร ระดับน้ำเก็บกักปกติ 185 ม.รทก. ปริมาตรเก็บกักที่ไม่ได้ใช้การ (dead storage) 45 ล้านลูกบาศก์เมตร อ่างเก็บน้ำน้ำอูน จะต้องปล่อยน้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ คือ อุปโภค-บริโภคและเพื่อการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอูน สำหรับพื้นที่เพาะปลูก 185,800 ไร่ ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำส่วนใหญ่มากที่สุด จากนั้นจะไหลลงสู่แม่น้ำสงครามดังที่แสดงไว้ใน Figure 4

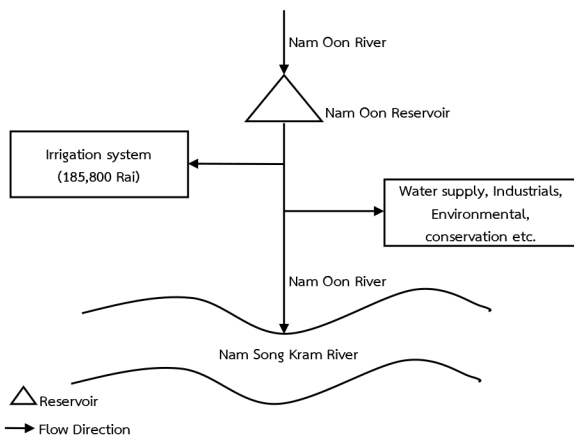


Figure 4 Nam Oon River basin Diagrammatic

6. การประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุม

ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเทคนิคการค้นหาแบบ GAs จะดำเนินการโดยนำโค้งควบคุมของอ่างปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมใช้ในการปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำในระยะยาวด้วยข้อมูลปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำด้วยข้อมูลที่สังเคราะห์ขึ้นมา 1,000 ชุดข้อมูล จากข้อมูลน้ำที่ไหล

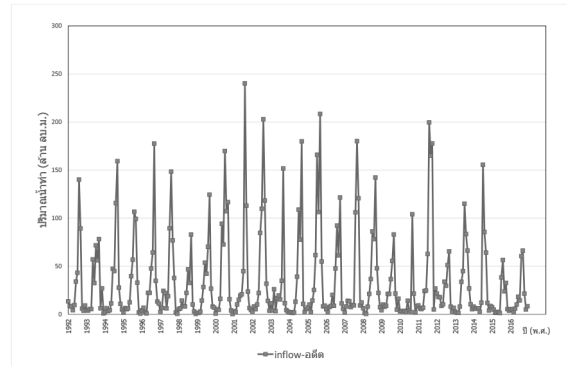


Figure 5 Inflow record from 1992 to 2016

เข้าสู่อ่างเก็บน้ำจำนวน 25 ปี ตั้งแต่ ค.ศ.1992–2016 ครอบคลุมเหตุการณ์ในอดีตที่เคยเกิดขึ้นดังที่แสดงไว้ใน Figure 5 ทำการจำลองสภาพการโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำในระยะยาวโดยดำเนินการจำลองปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบจากกฎของการจัดการและควบคุมแล้วคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องปล่อยในแต่ละเดือนภายใต้โค้งของเกณฑ์การปฏิบัติการอ่างเก็บน้ำ ผลการประเมินจะแสดงสถานการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำไหลล้น (ความถี่ ขนาด และช่วงเวลา)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ที่ดิน จากแผนที่

Agri-Map

จากผลการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการใช้แผนที่ Agri-Map เป็นแนวทางและรัฐบาลต้องการลดพื้นที่ปลูกข้าวโดยให้ความสำคัญกับพืชทางเศรษฐกิจ 4 ชนิด พบว่าข้าวลดลง 4.64% มันสำปะหลังเพิ่มขึ้น 20.34% อ้อยเพิ่มขึ้น 14.00% และข้าวโพดเพิ่มขึ้น 2.54% และพืชอื่นๆ คงที่มีรายละเอียดตาม Figure 6

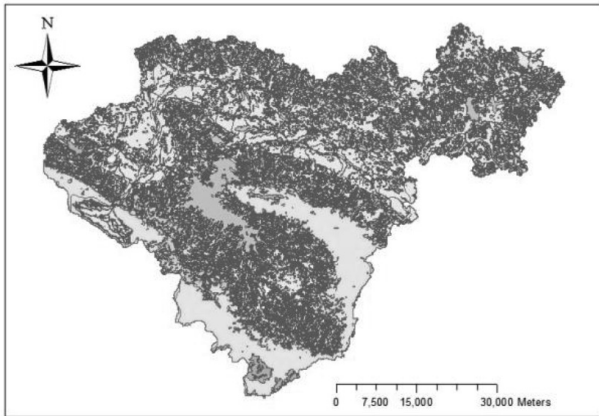


Figure 6 Landuse in Future from Agri-Map

2. การประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา SWAT

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลองพบว่าตัวแปรที่มีความอ่อนไหวได้แก่ ALPHA_BF, GWQMN, GW_REVAP, CN2, SOL_AWC, EPCO, ESCO, CH_N2, GW_DELAY, CANMX และ CH_K2

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่ารายปีจากแบบจำลองในช่วงที่พิจารณา (ค.ศ.1992-2016) มีค่าเท่ากับ 34.344 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนจากสถานีตรวจวัดเท่ากับ 34.321 ล้านลูกบาศก์เมตร การประเมินความแม่นยำของผลการคำนวณด้วยค่า r^2 สำหรับช่วงเปรียบเทียบ (ค.ศ.1992 - 2006) เท่ากับ ร้อยละ 80.33 ช่วงเปรียบเทียบ (ค.ศ. 2007 - 2016) เท่ากับ ร้อยละ 65.16 ตามลำดับ

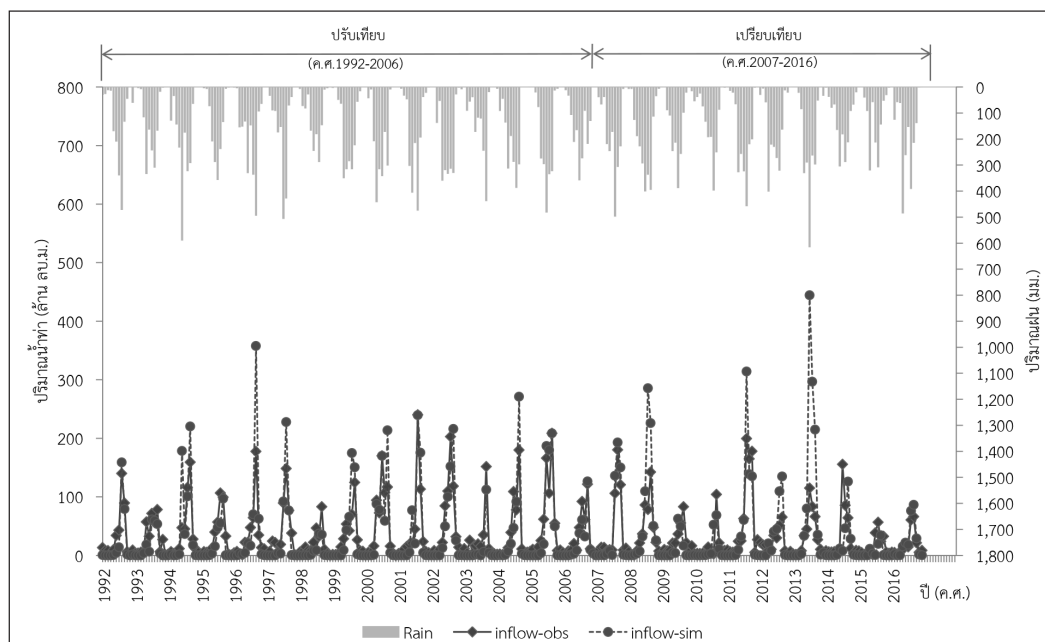


Figure 7 Comparison of between Runoff data from the measured station and the results from Simulation model. Year 1992-2016

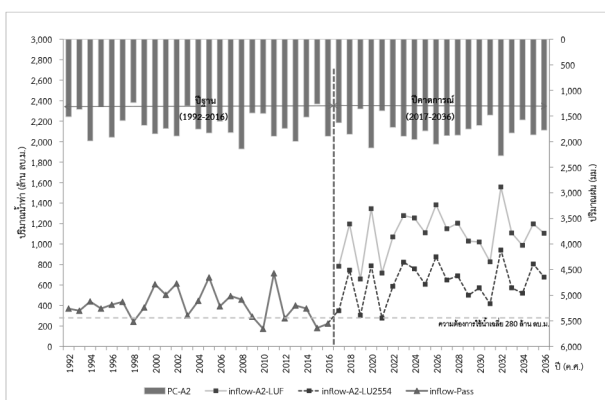


Figure 8 Calculation Runoff volume and rainfall level in the future under scenario A2. (A2 = Rating curve of land use changes)

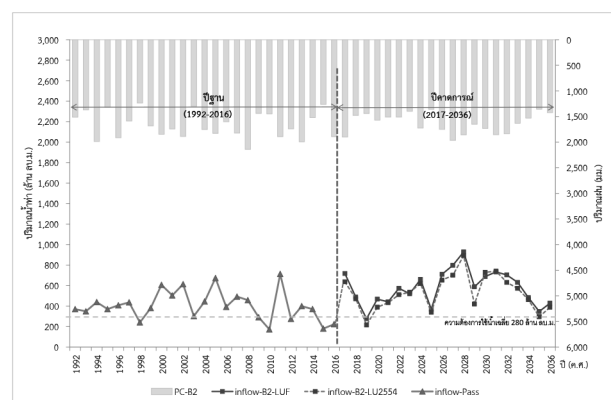


Figure 9 Calculation Runoff volume and rainfall level in the future under scenario B2. (B2 = Rating curve of land use changes)

3. การประมาณค่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างในอนาคต

ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยต่อปีในช่วงอนาคต (ค.ศ.2017-2036) ด้วยแบบจำลอง SWAT เมื่อนำเข้าข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากแบบจำลอง PRECIS รวมถึงการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากนโยบายของรัฐบาล (Agri-Map) ภายใต้กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 พบว่ามีค่า 1,098.66 และ 577.84 ล้านลูกบาศก์เมตรตาม

ลำดับ ซึ่งสูงกว่าข้อมูลจากสถานีตรวจวัดในปีฐาน (ค.ศ.1992-2016) ที่มีปริมาณเฉลี่ยเท่ากับ 404.30 ล้านลูกบาศก์เมตร อยู่ที่ 694.36 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 171.74) และ 173.54 ล้านลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 42.92) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าเปลี่ยนแปลง เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศที่จะเกิดขึ้นในอนาคตดังที่แสดงใน Figure 8 และ Figure 9

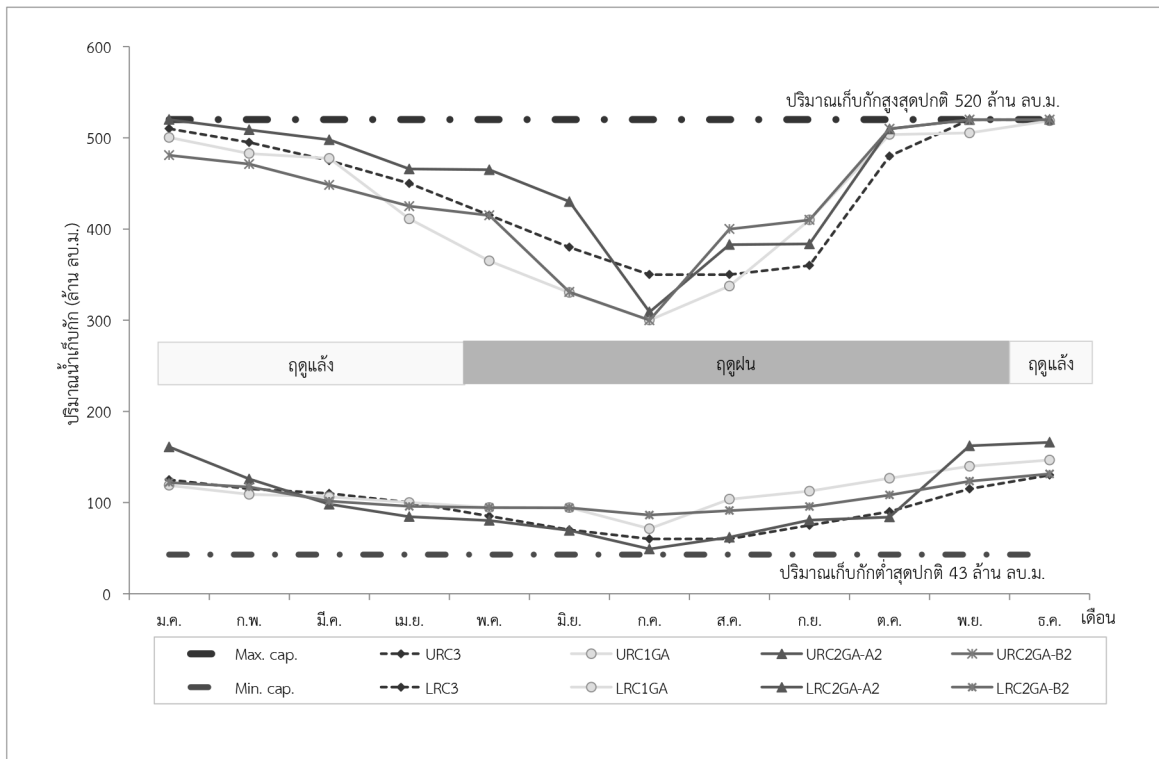


Figure 10 Reservoir rule curves Nam Oon reservoir original and characteristic Genetic Algorithms curves

4. ผลการสร้างโค้งควบคุมจากข้อมูลอดีตและข้อมูลอนาคต

4.1 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอดีต (historical rule curve; RC1GA) กรณีพิจารณาเกิดการไหลล้นน้อยที่สุดโค้งควบคุมอ่างเก็บน้ำที่สร้างจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำโดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในอดีตระหว่าง ค.ศ.1992-2016 (25 ปี) มีค่าปริมาณน้ำเก็บกักของโค้งควบคุมบน (upper rule curve; URC1GA) และโค้งควบคุมล่าง (lower rule curve; LRC1GA) ดังแสดงใน Figure10 ซึ่งพบว่า RC1GA มีลักษณะรูปร่างที่ลู่ไปกับโค้งควบคุมเดิม (RC3) ที่ใช้งานอยู่ สามารถอธิบายคือ URC1GA ลักษณะของเส้นโค้ง จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่ต่ำกว่าโค้งควบคุมบนเดิม (URC3) ในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายน-สิงหาคม อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1GA มีความ

ต้องการลดปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำจากปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูฝน สามารถรองรับปริมาณน้ำหลากได้ดีขึ้น เพื่อลดการไหลล้นของน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและในเดือนกันยายน-ตุลาคม URC1GA จะมีแนวโน้มเกณฑ์การเก็บกักที่สูงกว่า URC3 อธิบายเกณฑ์ในช่วงนี้ได้ว่า URC1GA มีความต้องการเพิ่มปริมาตรเก็บกักน้ำเพื่อให้มีน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้น ลดปริมาณการปล่อยน้ำ ซึ่งจะช่วยให้พื้นที่ท้ายน้ำลดความเสี่ยงที่จะเกิดภัยน้ำท่วม และที่สำคัญที่สุดสำหรับการตอบโจทยวิฤตอุปสรรคหลักของการสร้างโค้งควบคุมใหม่ด้วยเทคนิค GAs ที่ต้องการให้เกิดเหตุการณ์ไหลล้นของปริมาณน้ำเฉลี่ยน้อยที่สุด โดย URC1GA จะทำให้อ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำเก็บกักเพิ่มขึ้นสูงกว่า URC3 ในช่วงสิ้นฤดูฝนเดือนกันยายน ซึ่งจะส่งผลให้มีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการใช้งาน

สำหรับในช่วงฤดูแล้ง สอดคล้องกับ LRC1GA ที่มีความต้องการให้เก็บน้ำไว้ในอ่างเพิ่มขึ้นทำให้ยังมีน้ำเพียงพอสำหรับใช้ในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน LRC-1GA แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่ใกล้เคียงกับโค้งควบคุมล่างเดิม (LRC3) โดยมีค่าต่ำกว่า อธิบายได้ว่าในช่วงเวลานี้ อ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้มากกว่าเกณฑ์เดิมซึ่งจะทำให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีเพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการลดความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาการไหลล้นของน้ำในอ่างได้ หลังจากนั้นช่วงเดือนพฤษภาคม-ธันวาคม LRC1GA แสดงเกณฑ์การเก็บกักน้ำมีค่าที่สูงกว่า LRC3 อธิบายได้ว่า RC1GA สามารถเก็บน้ำได้มากกว่า RC3 ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มโอกาสที่ปริมาณน้ำจะมีเพียงพอต่อความต้องการมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

4.2 โค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลในอนาคต (future rule curve; RC2GA) กรณีพิจารณาเกิดการไหลล้นน้อยที่สุด RC2GA คือโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตระหว่าง ค.ศ.2017 - 2036 (20 ปี) มีค่าปริมาณน้ำเก็บกักของโค้งควบคุมบน (URC2GA) และโค้งควบคุมล่าง (LRC2GA) ดังแสดงใน Figure10 กรณีคาดการณ์ A2 (RC2GA-A2), กรณีคาดการณ์ B2 (RC2GA-B2) โดยเทคนิค GAs เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ สามารถอธิบายโดยพบว่า URC2GA-A2 ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม - มิถุนายน จะมีปริมาณการเก็บกักมากกว่า URC3 ทำให้มีน้ำเพียงพอสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและสามารถเพิ่มพื้นที่ชลประทานได้ในอนาคต สำหรับเดือนกรกฎาคมจะมีปริมาณน้ำเก็บกักน้อยกว่า URC3 เพื่อลดการไหลล้นของน้ำในช่วงฤดูฝน กรณี URC2GA-B2 ในช่วงระหว่างเดือนสิงหาคม-ธันวาคม จะมีปริมาณการเก็บกักมากกว่า URC3 ทำให้มีปริมาณน้ำมากขึ้นไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้ง สำหรับเดือน มกราคม - กรกฎาคม URC2GA-B2 จะมีการกักเก็บน้อยกว่า URC3 เพื่อเป็นการพร่องน้ำลดการไหลล้นของน้ำในช่วงฤดูฝน LRC2GA-A2 ในเดือนพฤศจิกายน - กุมภาพันธ์ จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำ

อยู่ในระดับสูงกว่า LRC3 ทำให้มีน้ำสำหรับส่งให้พื้นที่เพาะปลูกได้มากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ในเดือนมีนาคม-ตุลาคม LRC-2GA-A2 จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่า LRC3 ยกเว้นเดือนกันยายน ซึ่งทำให้มีพื้นที่กักเก็บน้ำได้มากขึ้นในช่วงฤดูฝนเพื่อลดการไหลล้น LRC2GA-B2 ในเดือนธันวาคม-เมษายนจะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่า LRC3 จะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิม ทำให้ตอบสนองความต้องการใช้น้ำ ในเขตพื้นที่ชลประทานมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ในช่วงเดือนพฤษภาคม-พฤศจิกายน LRC2GA-B2 จะมีลักษณะเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับสูงกว่า LRC3 เป็นการเพิ่มการเก็บกักในช่วงฤดูฝนทำให้มีน้ำไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งเพิ่มขึ้น

5. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาแบบ GAs จะดำเนินการเปรียบเทียบกับ RC3 จะมีการประเมินประสิทธิภาพฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการไหลล้นของน้ำน้อยที่สุดเป็น 3 วัตถุประสงค์ คือ 1.) ค่าเฉลี่ยของการขาดแคลนน้ำหรือการไหลล้นน้อยที่สุด 2.) ความถี่ของการขาดแคลนน้ำหรือการไหลล้นน้อยที่สุด 3.) ค่าปริมาณการขาดแคลนหรือการไหลล้นสูงสุด ซึ่งประเมินโดยการจำลองสภาพสมดุลน้ำของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ใช้ข้อมูลย้อนหลังจากการบันทึก 25 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1992-2016 ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำต้นทุนที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง - พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตร ความจุของอ่างเก็บน้ำน้ำอูน ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด - สูงสุดของระดับน้ำเก็บกักในการประเมินสถานการณ์การขาดแคลนน้ำ และการไหลล้น พร้อมทั้งนำไปประเมินประสิทธิภาพของ โค้งควบคุมที่ได้ในแต่ละกรณี โดยใช้ข้อมูลน้ำท่าสังเคราะห์ 25 ปี จำนวน 1,000 ชุด ผลการประเมินได้แสดงใน Table 1

Table 1 The assessment of Water management Situation between new Rule curve and old Rule curve. From 25 years return period data with 1 event

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	248.614	469.466	25	25
	RC2-A2	1	251.994	470.517	25	25
	RC2-B2	1	248.779	470.286	25	25
	RC3	1	254.577	475.949	25	25

โดยจะเป็นการประเมินระหว่างโค้ง RC1, RC2-A2, RC2-B2 และ RC3 หากประเมินโค้งควบคุมที่ถูกสร้างขึ้นจากปริมาณน้ำทำนองดีดเหมือนกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า RC1 มีค่าความถี่ของการไหลล้นของน้ำ 1 ครั้ง ต่อปี ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 248.614 ล้านลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่าของ RC3 ที่มีค่าเท่ากับ 1 ครั้งต่อปี ปริมาณน้ำไหลล้นเฉลี่ย 254.577 ล้านลูกบาศก์เมตร และต่ำกว่าโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 ซึ่งมีปริมาณการไหลล้นเฉลี่ย 251.994 และ 248.779 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลลัพธ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่า RC1 มีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับเหตุการณ์สถานการณ์น้ำปกติ สามารถลดความถี่การไหลล้นได้ดีกว่า RC3 และโค้งควบคุมที่สร้างจากข้อมูลอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 สำหรับความถี่ของการขาดแคลนนั้นพบว่าทั้งโค้ง RC1, RC2-A2, RC2-B2, และ RC3 ไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ

Table 2 ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำนองดีดสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุด

เหตุการณ์ ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำนองดีดสังเคราะห์ จำนวน 1,000 ชุด เหตุการณ์ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการประเมินใน Table 1 หรืออธิบายได้ว่า RC1 มีประสิทธิภาพดีกว่า RC3 โดยสถานการณ์น้ำขาดแคลนมีค่าเป็น 0.00 แสดงว่าน้ำไม่ขาดแคลนในเขื่อนน้ำอูนสำหรับการใช้น้ำตามเหตุการณ์ปกติ และจะช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.997 ครั้งต่อปี เหลือ 0.992 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ยจาก 251.685 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 246.222 ล้านลูกบาศก์เมตร และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำไหลส่วนเกินลดลงจาก 24.145 ปี เหลือ 22.817 ปี หากนำมาประเมินประสิทธิภาพ RC1 กับ RC2-A2 และ RC2-B2 ยังพบว่าประสิทธิภาพของ RC1 มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.992, 0.993 และ 0.997 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย 246.222, 249.128 และ 246.347 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

Table 2 The assessment of Water management Situation between new Rule curve and old Rule curve. From 25 years return period data with 1,000 events

Situation	Rule curve		Frequency (Times/year) Average	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
				Maximum	Average	Maximum	
Shortage	RC1	μ	0	0	0	0	0
		σ	0	0	0	0	0
	RC2-A2	μ	0	0	0	0	0
		σ	0	0	0	0	0
	RC2-B2	μ	0	0	0	0	0
		σ	0	0	0	0	0
	RC3	μ	0	0	0	0	0
		σ	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	μ	0.992	246.222	513.846	22.817	23.743
		σ	0.013	23.407	71.19	4.955	3.188
	RC2-A2	μ	0.993	249.128	503.799	22.967	23.812
		σ	0.018	23.468	68.81	4.809	3.138
	RC2-B2	μ	0.997	246.347	513.503	24.113	24.475
		σ	0.012	23.399	76.61	3.308	2.152
	RC3	μ	0.997	251.685	518.077	24.145	24.478
		σ	0.018	23.467	76.702	3.268	2.185

6. ผลการประเมินประสิทธิภาพของโค้งควบคุมใหม่ กรณีการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำ

จากการทดสอบในหัวข้อ 4 นั้นพบว่าโค้งควบคุมที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์การหาค่าเฉลี่ยของการไหลล้นของน้ำน้อยที่สุด สามารถบรรเทาหน้าขาดแคลนและน้ำไหลล้นได้ดีกว่าโค้งเดิม ดังนั้นจึงนำโค้ง ควบคุมที่ได้มาทดสอบเพิ่มเติมอีก โดยการเพิ่มการใช้น้ำชลประทาน ร้อยละ 50 และใช้ข้อมูล 25 ปี ตั้งแต่ ค.ศ. 1992-2016 ประกอบด้วย การไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำที่สังเคราะห์ในอดีตจำนวน 25 ปี 1,000 ชุด ข้อมูลปริมาณความต้องการน้ำรายเดือนแต่ละกิจกรรมการใช้น้ำ อัตราการระเหยเฉลี่ยรายเดือน ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสูง - พื้นที่ผิวน้ำ - ปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำอ่างนอน ข้อมูลปริมาตรต่ำสุด-สูงสุดของระดับน้ำเก็บกัก

Table 3 ผลการประเมินโค้งควบคุมด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำที่สังเคราะห์ข้อมูลในอดีต 25 ปี จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ โดยเพิ่มความต้องการใช้น้ำจากการขยายพื้นที่ชลประทาน ร้อยละ 50 ของพื้นที่ปัจจุบัน มีวัตถุประสงค์เพื่อ

ต้องการทดสอบประสิทธิภาพของ RC1 ในกรณีที่มีความต้องการน้ำเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตเนื่องจากการขยายพื้นที่ชลประทานเพิ่มเป็น ร้อยละ 50 ของพื้นที่ปัจจุบัน ในสถานการณ์ที่ปริมาณอาจมีความผันแปร โดยได้สังเคราะห์ปริมาณน้ำทำจากข้อมูลในอดีตจำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์ ผลการประเมินซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณการใช้น้ำชลประทานขึ้นอีก ร้อยละ 50 RC1 มีประสิทธิภาพดีกว่า RC3 โดยสถานการณ์น้ำขาดแคลน พบว่ามีโอกาสเกิดการขาดแคลน จาก 0.935 ครั้งต่อปี เหลือ 0.003 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ยจาก 6.725 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 0.074 ล้านลูกบาศก์เมตรและลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดการขาดแคลนน้ำ จาก 12.170 ปี เป็น 0.073 ปี และจะช่วยลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.925 ครั้งต่อปี เป็น 0.911 ครั้งต่อปี สามารถลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ยจาก 174.932 ล้านลูกบาศก์เมตร ลดลงเหลือ 164.996 ล้านลูกบาศก์เมตร และลดช่วงเวลาเฉลี่ยการเกิดน้ำไหลส่วนเกินลดลงจาก 11.730 ปี เหลือ 10.644 ปี หากนำมาประเมิน

ประสิทธิภาพ RC1 กับ RC2-A2 และ RC2-B2 ยังพบว่า ประสิทธิภาพของ RC1 มีประสิทธิภาพดีที่สุด ช่วยลดโอกาส การเกิดความถี่การขาดแคลน จาก 0.003, 0.939 และ 0.004 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย 0.074, 12.235 และ 0.084 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ช่วย

ลดโอกาสการเกิดความถี่น้ำไหลส่วนเกินจาก 0.911, 0.933 และ 0.913 ครั้งต่อปี ตามลำดับ สามารถลดปริมาณน้ำไหล ส่วนเกินเฉลี่ย 164.669, 177.688 และ 165.547 ล้านลูกบาศก์ เมตร ตามลำดับ

Table 3 The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve and RC3 rule curve. From 25 years return period data with 1,000 events by increasing 50% of the irrigation water requirements area

Situation	Rule curve		Frequency (Times/year) Average	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
				Maximum	Average	Maximum	
Shortage	RC1	μ	0.003	0.074	1.734	0.073	0.074
		σ	0.013	0.351	8.288	0.292	0.298
	RC2-A2	μ	0.939	12.235	13.598	12.590	17.160
		σ	0.043	0.591	4.228	6.541	5.297
	RC2-B2	μ	0.004	0.084	1.243	0.097	0.098
		σ	0.011	0.278	6.632	0.252	0.258
RC3	μ	0.935	6.725	10.981	12.170	16.859	
	σ	0.044	0.662	12.428	6.420	5.303	
Excess water	RC1	μ	0.911	164.669	443.921	10.644	15.350
		σ	0.062	23.385	76.704	6.110	5.423
	RC2-A2	μ	0.933	177.688	443.542	12.672	17.048
		σ	0.053	23.281	66.121	6.882	5.542
	RC2-B2	μ	0.913	165.547	437.725	10.780	15.567
		σ	0.061	23.394	76.191	6.145	5.424
	RC3	μ	0.925	174.932	449.550	11.730	16.297
		σ	0.055	23.347	71.315	6.525	5.455

Table 4 The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve, RC2 rule curve and RC3 rule curve. From 20 years next period data with A2 events

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	1019.50	1729.46	20	20
	RC2-A2	1	1012.98	1729.46	20	20
	RC2-B2	1	1016.26	1729.46	20	20
	RC3	1	1016.38	1729.46	20	20

ผลการประเมิน RC2-A2, RC1, RC3 และ RC2-B2 สำหรับสถานการณ์ A2 จาก Table 4 ในกรณีน้ำขาดแคลนพบว่าไม่เกิดการขาดแคลนน้ำ สำหรับสถานการณ์ A2 ในกรณีน้ำไหลส่วนเกินพบว่า RC2-A2 จะให้ค่าความถี่, ค่ามากที่สุด และช่วงเวลาในการไหลส่วนเกินเท่ากับ RC1, RC3 และ RC2-B2 แต่ RC2-A2 เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย คือ 1,012.98, 1,019.50, 1,016.38 และ 1,016.26 ล้านลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ดังนั้น RC2-A2 จึงมีค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ A2 สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำไหลส่วนเกินได้มีประสิทธิภาพมากกว่า RC1 และ RC3

สำหรับผลการประเมิน RC2-B2, RC1, RC3 และ RC2-A2 สำหรับสถานการณ์ B2 จาก Table 5 ในกรณีน้ำขาดแคลนพบว่าไม่เกิดการขาดแคลนน้ำสำหรับสถานการณ์ B2 ในกรณีน้ำไหลส่วนเกินพบว่า RC2-B2 จะให้ค่าความถี่ และช่วงเวลาในการไหลส่วนเกินเท่ากับ RC1, RC3 และ RC2-A2 แต่ RC2-B2 เป็นโค้งที่ดีที่สุดที่ช่วยลดปริมาณน้ำไหลส่วนเกินเฉลี่ย คือ 374.787, 377.339, 376.384 และ 378.524 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น RC2-B2 จึงมีค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสถานการณ์ B2 สามารถบรรเทาสถานการณ์น้ำไหลส่วนเกินได้มีประสิทธิภาพมากกว่า RC1 และ RC3

Table 5 The assessment of Water management Situation between RC1 rule curve, RC2 rule curve and RC3 rule curve. From 20 years next period data with B2 events

Situation	Rule curve	Frequency (Times/year)	Volume (Million cubic meters)		Time period (year)	
			Average	Maximum	Average	Maximum
Shortage	RC1	0	0	0	0	0
	RC2-A2	0	0	0	0	0
	RC2-B2	0	0	0	0	0
	RC3	0	0	0	0	0
Excess water	RC1	1	377.339	1077.863	20	20
	RC2-A2	1	376.384	1029.700	20	20
	RC2-B2	1	374.787	1050.890	20	20
	RC3	1	378.524	1039.352	20	20

สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการค้นหาค่าแบบ GAs เพื่อปรับปรุงโค้งควบคุมของอ่างเก็บน้ำโดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์การไหลล้นน้อยที่สุดพบว่า ได้โค้งควบคุมที่มีรูปร่างใกล้เคียงกันและโค้งควบคุมที่สร้างจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อกับแบบจำลองเลียนแบบสถานการณ์ที่สร้างจาก ข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณฝนในอนาคตที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการจัดสร้าง ระหว่าง ค.ศ.2017-2036 (20 ปี) พบว่าโค้งควบคุมใหม่มีประสิทธิภาพในการจัดสรรทรัพยากรน้ำตามวัตถุประสงค์หลักคือป้องกันการไหลล้นของน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ดังแสดงได้จากโค้งควบคุมบน มีเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำได้เพิ่มมากขึ้นกว่าโค้งเดิมทำให้สามารถ

พร่องน้ำในช่วงต้นฤดูฝนเพื่อรองรับน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝน ลดโอกาสการไหลล้นของน้ำส่วนเกิน พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่ต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโค้งควบคุมใหม่จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ใช้ช่วงฤดูแล้งได้ สำหรับสถานการณ์ A2 ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสูงกว่าสถานการณ์ปัจจุบัน โค้งควบคุมบนมีเกณฑ์การรักษาระดับน้ำในช่วงฤดูฝนไว้สูงกว่าโค้งเดิม ทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลเข้าอ่างไว้เพื่อรอการพร่องน้ำแต่จะมีประโยชน์อย่างมากในกรณีที่ฤดูฝนเริ่มต้นช้ากว่าฤดูกาลปกติ ซึ่งอาจเกิดจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกทำให้มีน้ำไว้ใช้ประโยชน์ในช่วงต้นฤดูฝน และในช่วงกลางฤดูฝนจะพร่องน้ำให้ต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมเดิมเพื่อรองรับน้ำใหม่ที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝนสามารถบรรเทาสถานการณ์ไหลล้นของ

น้ำส่วนเกิน สำหรับสถานการณ์ B2 มีเกณฑ์กักเก็บน้ำอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์เดิม ซึ่งจะหมายถึงอ่างเก็บน้ำสามารถปล่อยน้ำในช่วงฤดูฝนเพื่อรองรับน้ำที่จะไหลเข้าอ่างในช่วงปลายฤดูฝน ลดโอกาสการไหลล้นของน้ำส่วนเกิน พร้อมทั้งยังสามารถนำน้ำที่ต้องปล่อยออกนั้นไปขยายพื้นที่ชลประทานให้เพิ่มขึ้นได้ในอนาคต ช่วงปลายฤดูฝนโค้งควบคุมใหม่จะสูงกว่าโค้งควบคุมเดิมทำให้สามารถเก็บกักน้ำที่ไหลมาในช่วงปลายฤดูฝนไว้ใช้ในฤดูแล้งได้

ผลการประเมินประสิทธิภาพโค้งควบคุมจะเห็นได้ว่า โค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต RC1 และปริมาณน้ำทำอนาคต RC2-A2 และ RC2-B2 รวมถึงโค้งควบคุม RC3 เพื่อประเมินค่าความถี่ในการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ย ปริมาณน้ำเฉลี่ยและช่วงเวลาที่เกิดการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลสถานการณ์น้ำทำในอดีต 25 ปี และอนาคต 20 ปี รวมถึงการประเมินประสิทธิภาพด้วยข้อมูลปริมาณน้ำทำจากการสังเคราะห์ จำนวน 1,000 เหตุการณ์ ผลการประเมินพบว่าโค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค GAs สามารถลดความถี่ในการไหลล้นน้ำส่วนเกินเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณน้ำไหลล้นส่วนเกินเฉลี่ยรวมถึงลดช่วงเวลาในการไหลล้นน้ำส่วนเกินได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม อีกทั้งยังไม่ทำให้เกิดการขาดแคลนน้ำ ทั้งในกรณีที่ทดสอบกับข้อมูลปริมาณน้ำทำในอดีต 25 ปี 1 ชุดเหตุการณ์ และปริมาณน้ำทำสังเคราะห์จากข้อมูลอดีต 25 ปี จำนวน 1,000 ชุดเหตุการณ์รวมถึงการทดสอบกับปริมาณน้ำทำอนาคต 20 ปี ในกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 อย่างละ 1 ชุดเหตุการณ์ นอกจากนี้โค้งควบคุมใหม่ที่สร้างจากเทคนิค GAs ยังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม เมื่อเกิดสถานการณ์เพิ่มความต้องการใช้น้ำในอนาคต เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ชลประทาน ร้อยละ 50 ยังลดความถี่ในการขาดแคลนน้ำเฉลี่ยต่อปี ลดค่าปริมาณการขาดแคลนน้ำเฉลี่ย รวมถึงลดช่วงเวลาในการขาดแคลนน้ำได้ดีกว่าโค้งควบคุมเดิม ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมเดิมด้วยเหตุผลนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าโค้งควบคุมที่พัฒนาจากเทคนิค GAs เชื่อมต่อการจำลองสถานการณ์อ่างเก็บน้ำ มีความเหมาะสม สามารถที่จะลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์น้ำขาดแคลนและน้ำที่ไหลล้นได้ในอนาคต ทั้งในสถานการณ์ A2 และ B2 ได้ดีกว่า โค้งควบคุมเดิมที่ใช้งานอยู่ในเวลานี้

จากผลการวิจัยจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทำที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำน้ำอันได้เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทำให้หากมีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะต้องมีการปรับปรุงโค้งควบคุมอีกครั้งเพื่อให้การบริหารจัดการน้ำเป็นไปโดยง่ายและตรงกับสภาพความเป็นจริงกับปริมาณ

น้ำทำที่ไหลเข้าสู่อ่างฯ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษารังนี้

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2559. คู่มือแผนที่เกษตรเพื่อการบริหารจัดการเชิงรุก. <http://agri-map-online.moac.go.th>
- จิรวัดณ์ ศุภโกศล. 2559. ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำสงคราม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ศุภกร ชินวรรณ. 2553. การจัดทำภาพถ่ายอนาคตการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของประเทศไทยจากผลของแบบจำลองภูมิอากาศระดับท้องถิ่น PRECIS. http://sites3.iwlearn3.webfactional.com/thailandadaptation/Documents/e-library/e-library_files/04ClimatechangescenarioThailandPRECIS.pdf
- โอพาร เวศอุไร. 2548. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อน้ำทำในพื้นที่ลุ่มน้ำน่านตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Hormwichian R. & Kangrang A. (2012) Coupled-operations model and a conditional differential evolution algorithm for improving reservoir management. *International Journal of Physical Sciences*, 7(42), 5701–5710.
- Hormwichian R, Kangrang A, Lamom A (2009). A-conditional genetic algorithm model for searching optimal reservoir rule curves. *Journal of Applied Sciences*, 9(19):3575-3580.
- Jones, R.G., Noguer, M., Hassell, D.C., Hudson, D., Wilson, S.S., Jenkins, G.J. and Mitchell, J.F.B. (2004). Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK, 40pp
- Kangrang A. & Chaleeraktragoon C. (2007). Genetic algorithms connected simulation with smoothing function for searching rule curves. *American Journal*

9. Kangrang A. & Lokham C. (2013). Optimal reservoir rule curves considering conditional ant colony optimization with simulation model. *American Journal of Applied Sciences*, 13(1), 154–160
10. Kumar D. and Baliarsingh F. (2003). Folded dynamic programming for optimal operation of multireservoir system. *Water Resour Manage*, 17, 337-353, 2003.
11. Leticia B. Rodriguez. (2008). Fully conservative coupling of HEC-RAS with MODFLOW to simulate stream–aquifer interactions in a drainage basin. *Journal of Hydrology*, 353, 129–142.
12. P. Pheerawat & P. Udmale (2017). Impacts of Climate Change on Rainfall Erosivity in the Huai Luang Watershed, Thailand. *Journal of Atmosphere*,
13. Saimuang K. & Kangrang A. (2016). Optimal Water Allocation Criteria using the Tabu Search Technique. *J Sci Technol MSU*. Vol 36. No 1, January - February 2017, 1-9
14. Stedinger. (1984), The Performance of LDR Models for Preliminary Design and Reservoir Operation. *Water Resources, Research*. Vol.20(2): 215-224
15. Yang, X.S. & Deb, S. (2009). Cuckoo search via Levy flights. In Deb, S., Abraham, A., & Herrera, F. (Eds.). *World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing*, 9-11 December 2009, pp. 210 – 214, Coimbatore, India.

การออกแบบและประเมินตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบหลายท่อสำหรับดักฝุ่นละอองขนาดเล็กจากโรงบ่มใบยาสูบ

Design and Evaluation of a Multiple-tube Electrostatic Collector for Particulate Matter Removal from Tobacco Monopoly Exhaust

วิสูตร อาสนวิจิตร^{1*}, ฐิติวัฒน์ ปันผาง², พานิช อินตะ¹

Visut Asanavijit^{1*}, Thitiwat Panpang², Panich Intra¹

Received : 17 April 2018 ; Accepted : 2 July 2018

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและประเมินทดสอบตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบหลายท่อสำหรับดักฝุ่นละอองขนาดเล็กจากโรงบ่มใบยาสูบ ตัวตกตะกอนที่ออกแบบประกอบด้วยอาคารอย่างง่ายของท่อทรงกระบอกซ้อนกันร่วมกับอิเล็กโทรดดิซชาร์จจำนวน 6 ท่อ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร ยาว 613.6 มิลลิเมตร และใช้เส้นลวดกลมเป็นอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร มีลูกถ้วยไฟฟ้าเป็นฉนวนกั้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและท่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร สูง 88.9 มิลลิเมตร ในการศึกษานี้ได้ทดสอบกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงขนาด 30 กิโลโวลต์ จ่ายไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดขนาด 0 ถึง 30 กิโลโวลต์ ขณะที่ท่อทรงกระบอกเป็นกราวด์ ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าร่วมกับตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต พบว่าค่ากระแสดิซชาร์จจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันอินพุตที่เพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วง 26 ถึง 332 ไมโครแอมป์ ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบที่มีผลศาสตร์เท่ากัน ที่อัตราการไหลของควัน 10 ลิตรต่อนาที ความดัน 1 บาร์ สุ่มเก็บตัวอย่างอนุภาคควันที่เวลา 15 นาทีต่อตัวอย่าง พบว่าได้ค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยรวมเฉลี่ย 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าตัวตกตะกอนที่ได้ออกแบบนี้มีแนวโน้มที่ดีสำหรับการกำจัดฝุ่นควันจากโรงบ่มใบยาสูบ

คำสำคัญ: อนุภาค ฝุ่น โรงบ่มใบยาสูบ ไฟฟ้าสถิต

Abstract

In this paper, a multiple-tube electrostatic collector for removal of particulate matter from the tobacco monopoly exhaust was designed and theoretically and experimentally evaluated. The designed collector consisted of a simple array of coaxial discharge electrodes placed along the axis of six cylindrical collection tubes with a diameter of 50.8 mm and 613.6 mm in length; the discharging electrode with diameters of 1.1 mm and the insulator was used to electrical insulate between electrodes and cylindrical collection. The diameter of the insulator was 80 mm and 88.9 mm in height. In this study, a 30 kV DC power supply was used to apply DC high voltage to the discharging electrode in the range of about 0 to 30 kV, while the collection electrode was grounded. The current-voltage characteristics of the multiple-tube electrostatic collector were analytically calculated. It was shown that the discharged current increased with increasing

¹ อาจารย์, รองศาสตราจารย์, วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

² นิสิตปริญญาตรี, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

¹ Lecturer, Assoc. Prof. College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, A.Doisaket, Chaing-Mai 50220.

² Bachelor degree student, Department of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang District, Chaing Mai, 50300.

* Corresponding author; Visut Asanavijit, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, A.Doisaket, ChaingMai 50220, Thailand. imavisut@gmail.com

applied corona voltage, in the range between 26 and 332 μA . In order to study the collection efficiency of the collector, the particulate mass concentration at inlet and outlet of the precipitator was sampled by the isokinetic sampling at the particulate flow rate of about 10 L/min and the operating pressure of about 1 bar for 15 min per sample. The overall collection efficiency of the present precipitator was found to be about 75 %. Finally, the designed electrostatic precipitator appeared to be a promising apparatus for collection of particulate matter from tobacco monopoly exhaust.

Keywords: Particle, Dust, Tobacco Monopoly, Electrostatic

บทนำ

การบ่มใบยาสูบจะมีขั้นตอนการบ่มเพื่อเปลี่ยนสภาพ ใบสดให้เป็นใบแห้งโดยการนำวัสดุเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ชังข้าวโพด ไม้พิน และอื่นๆ มาใช้ทำเป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน ในการบ่มใบยาเป็นระยะเวลาสั้นๆ น้อย 10 ถึง 14 ชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมเชื้อเพลิงในมีความร้อนตลอด จากกลไกขั้นตอนในการบ่มใบยาที่มีการเผาไหม้ส่งผลทำให้มีปัจจัยเสี่ยงด้านมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพจากการเผาไหม้ ที่ปล่อยออกมา ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารอินทรีย์ชนิดต่างๆ เขม่าควัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ขนาดเล็กกว่า 1 ใน 25 ส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นผมมนุษย์สามารถแพร่กระจายเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ถูกกลืนในปอดและกระแสเลือดโดยตรง ส่งผลอันตรายต่อกระบวนการทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกายและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเรื้อรังได้ จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของ อลงกรณ์ ผาทอง¹ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการบ่มใบยาสูบของสถานีบ่มใบยาสูบสันกลาง โดยเปรียบเทียบต้นทุนและปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดจากการใช้ถ่านหินลิกไนต์ ชังข้าวโพด และถ่านหินลิกไนต์ผสมกับชังข้าวโพด เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการบ่ม พบว่าใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ 252 พีพีเอ็ม การใช้ชังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียวไม่พบก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างถ่านหินลิกไนต์กับชังข้าวโพด ในสัดส่วน 1:2, 1:1, และ 2:1 มีปริมาณก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 9.50, 87.50 และ 182.50 พีพีเอ็ม ซึ่งในการศึกษาพบว่าจากกระบวนการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจะเกิดควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กออกมา คณะผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรมีการศึกษาเพื่อกำจัดควันและฝุ่นละอองขนาดเล็กก่อนปล่อยออกสู่สาธารณะ จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาของ สรวุฒิ พวงคต² ได้ศึกษาเกี่ยวกับอาการและอาการแสดงของระบบทางเดินหายใจและสมรรถภาพปอดของผู้สัมผัสการเผาไหม้ลิกไนท์ในกระบวนการบ่มใบยาสูบ หมู่บ้านร่องก้อ ตำบลแม่คำ อำเภ

แม่จัน จังหวัดเชียงราย จากการเผาไหม้ลิกไนต์ก่อให้เกิดฝุ่นละอองและก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ จึงได้ศึกษากับกลุ่มตัวอย่างผู้สัมผัสการเผาไหม้ลิกไนต์โดยตรงที่ประกอบอาชีพบ่มใบยาสูบนานเฉลี่ย 15.53 ปี ทำงานเฉลี่ยวันละ 10.3 ชั่วโมง จำนวน 82 คน และผู้สัมผัสทางอ้อมจำนวน 86 คน พบว่าผู้สัมผัสโดยตรงเสี่ยงต่อมีอาการระบบทางเดินหายใจ และสมรรถภาพปอดอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ผู้สัมผัสทางอ้อมมีผลใกล้เคียงกับผู้สัมผัสโดยตรง ผู้วิจัยเสนอแนะว่าควรมีการศึกษาหาเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่อันตรายต่อสุขภาพน้อยกว่ามาใช้ และหาวิธีกำจัดควันและฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมา

โดยปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีที่มีความหลากหลายสำหรับสามารถนำมาใช้ในการกำจัดควันและละอองฝุ่นขนาดเล็กได้ ซึ่งเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator; ESP) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สามารถกำจัดอนุภาคแขวนลอย (Particulate matter) โดยใช้หลักการทางไฟฟ้าสถิต³ นิยมนำมาใช้กำจัดอนุภาคอย่างแพร่หลาย เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรม เตาเผาซีเมนต์ เตาเผาชีวมวล และใช้ทำความสะอาดอากาศในที่อาศัย ซึ่งมีข้อดีที่กว่าอุปกรณ์ควบคุมอนุภาคอื่นๆ เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ มีค่าใช้จ่ายซ่อมบำรุงต่ำกว่า มีความดันสูญเสียของก๊าซต่ำ สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงถึง 800 องศาเซลเซียส ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดอนุภาคสูง 99 ถึง 99.99 เปอร์เซ็นต์ สำหรับขนาดอนุภาคระดับต่ำกว่า 1 ไมครอน จึงได้มีการประยุกต์ใช้กำจัดฝุ่นควันเพื่อลดปัญหาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองลอยขนาดเล็กที่ออกไปสู่บรรยากาศ โดยได้มีการศึกษาวิจัยต่างๆ เพื่อพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตกันอย่างต่อเนื่อง จากการวิจัยที่ผ่านมาของพานิช อินตะและคณะ³⁻⁵ ได้นำเสนอการออกแบบและทดสอบการทำงานเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับกำจัดอนุภาคแขวนลอยจากเตาเผาชีวมวล ประกอบด้วยอาร์เรย์ของท่อขนาดเล็ก 21 ท่อ พบว่าได้ประสิทธิภาพการตกตะกอนรวม 70 เปอร์เซ็นต์ มีรายงานที่ ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของขั้วอิเล็กโทรด ความเข้มข้นไฟฟ้า ความเข้ม

ชั้นไอออน และปริมาณประจุที่อนุภาคได้รับ คณะวิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่าต้องมีการพัฒนาตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ชญาศักดิ์ รัตนโชติและคณะ⁶ ได้ออกแบบและสร้างเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตชนิดเส้นลวด-แผ่นเรียบสำหรับดักเขม่าจากการเผาไหม้ไม้พิน ขนาด $0.5 \times 1 \times 0.5$ เมตร จำนวนแผ่นเรียบ 10 แผ่น จำนวนเส้นลวด 12 ต่อ 1 แถว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นลวด 1 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 58.43% ที่แรงดันสูงกระแสตรง 12 กิโลโวลต์ พทวีร์ ศรีโหมดและคณะ⁷ ได้การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องบำบัดกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ มีระดับแรงดันเอาต์พุต ถึง 30 กิโลโวลต์ มีหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (Fly back Transformer) ทำหน้าที่ให้แรงดันสูงเพื่อสร้างสนามไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำงานได้ดีกับเครื่องต้นแบบโดยมีการรายงานว่าการมีกรนำมาประยุกต์ใช้งานให้แพร่หลายมากขึ้น และ Jaworek และคณะ⁸ ได้สรุปเกี่ยวกับวิธีการทำความสะอาดก๊าซไอเสียโดยวิธีการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ระยะห่างแผ่นตกตะกอนที่เหมาะสมมีค่า 450 มิลลิเมตรจะได้ประสิทธิภาพและการใช้พลังงานที่เหมาะสม ได้นำเสนอวิธีการแบ่งช่วงของการอัดประจุและส่วนของการรวมตัวกันของอนุภาค (Agglomeration) จากผลงานวิจัยที่ผ่านมาสิ่งสำคัญที่จะทำให้สมรรถนะในการทำงานตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสูงขึ้น จะต้องมีการออกแบบและสร้างตัวตกตะกอนให้มีการไหลของควันได้สะดวก มีการเลือกลักษณะขนาดของอิเล็กโทรด การจัดวางขั้วอิเล็กโทรดให้เหมาะสม ออกแบบให้ตัวตกตะกอนใช้งานร่วมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อให้สามารถสร้างความเข้มสนามไฟฟ้า ความเข้มข้นไอออน และปริมาณประจุที่อนุภาคได้รับให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของควันและละอองฝุ่นได้สูงขึ้นตาม ควรมีการออกแบบและสร้างระบบการทำความสะอาดตะกอนที่สะสมที่ขั้วตัวตกตะกอนที่มีลักษณะเหนียวหนืด ซึ่งส่งผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงตามระยะเวลาการสะสมของตะกอน โดยให้มีระบบการทำงานที่ง่าย ทำการถอดล้างทำความสะอาดได้สะดวก

ดังนั้นบทความนี้จะนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องดักควันโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงสำหรับโรงบ่มใบยาสูบ โดยมีหลักการคือ เมื่อควันไหลผ่านปล่องควัน และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วดิสชาร์จ โดยที่ขั้วตกตะกอนเป็นกราวด์ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ (Corona discharge) ขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ จึงทำให้ไอออน (Ions) และอิเล็กตรอน (Electrons) จะถูกสร้างขึ้นที่จุดที่เกิดโคโรนาและทำให้เกิดการไหลของกระแสไอออน (Ionic

current) ผ่านช่องว่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน เมื่อมีฝุ่นละอองลอยไหลผ่านเข้ามาในช่องว่างนี้จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างอนุภาคกับไอออน โดยไอออนเกาะติดกับฝุ่นละอองลอยเหล่านั้นเป็นผลทำให้ฝุ่นละอองลอยได้รับประจุ และฝุ่นละอองลอยที่มีประจุ (Charged particulates) ถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตไปติดกับผิวท่อตัวตกตะกอน โดยจะมีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต และทดสอบสมรรถนะการทำงานตัวตกตะกอนอนุภาคควันจากโรงบ่มใบยาสูบ ผลทดสอบที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการกำจัดอนุภาคควันจากการโรงบ่มใบยาสูบ และสามารถขยายผลในการใช้งานต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. สนามไฟฟ้าและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส-แรงดัน (Current - Voltage relationship) สามารถอธิบายได้จากสมการของ Maxwell⁹ ในการศึกษาจะสมมุติให้การเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าเนื่องจากผลของประจุค้างของไอออน (Ion space charge) ในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต มีค่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นค่ากระแสโคโรนาเฉลี่ย (Average corona current) I_c ที่เป็นฟังก์ชันศักย์ไฟฟ้าขั้วดิสชาร์จอิเล็กโทรดเครื่องตกตะกอน⁹ ดังแสดงใน (Figure 1)

$$I_c = \frac{8\pi\epsilon_0 Z_i V(V - V_0)L}{r_2^2 \ln(r_2/r_1)} \quad (1)$$

เมื่อ Z_i คือความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของไอออน (Ion electrical mobility) สำหรับในการศึกษานี้จะใช้ไอออนลบ (Negative ion) เนื่องจากมีค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าสูง ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนสูงตามไปด้วย r_1 คือรัศมีของขั้วดิสชาร์จ r_2 คือรัศมีของขั้วตกตะกอนด้านนอก L คือความยาวของขั้วตกตะกอน E_c สนามไฟฟ้าเริ่มเกิด โคโรนา (Corona onset field) สำหรับโคโรนาในอากาศ V คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับขั้วดิสชาร์จอิเล็กโทรด และ V_0 คือแรงดันเริ่มเกิดโคโรนา⁹ (Corona onset voltage) คือ $V_0 = E_c r_1 \ln(r_2/r_1)$

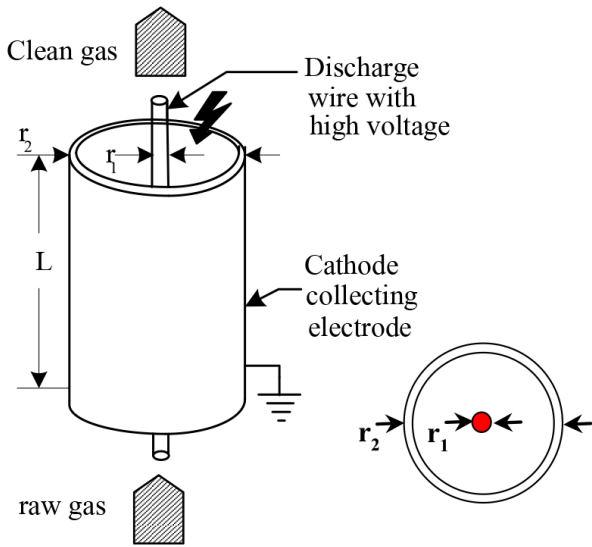


Figure 1 Electrode arrangements¹²

2. การอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาค

อนุภาคที่แขวนลอยในอากาศจะถูกอัดประจุ (Particle charging) ด้วยสัมผัสและการเกาะติดของไอออนที่ถูกสร้างขึ้นโดยปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จที่อิเล็กโทรด ไอออนจะถูกเคลื่อนย้ายโดยสนามไฟฟ้าและการแพร่เชิงความร้อน (Thermal diffusion) ในการศึกษานี้จำนวนของประจุที่อยู่บนอนุภาคจะได้รับการอัดประจุแบบสนาม (Field charging) เนื่องจากเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 0.1 ไมโครเมตร โดยการประมาณค่าจำนวนประจุอนุภาคนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการของ^{17,18}

$$n_p = \left(\frac{3\epsilon}{\epsilon + 2} \right) \left(\frac{Ed_p^2}{4K_E e} \right) \left(\frac{\pi K_E e Z_i N_i t}{1 + \pi K_E e Z_i N_i t} \right) \quad (2)$$

เมื่อ ϵ คือค่าคงที่ของการเป็นฉนวนของอนุภาค (Dielectric constant of particle) E คือสนามไฟฟ้า K_E คือค่าคงที่จากสมการของคูลอมป์ (มีค่าเท่ากับ $9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$) d_p คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค e คือค่าประจุของอิเล็กตรอน (มีค่าเท่ากับ $1.61 \times 10^{-19} \text{ C}$) N_i คือค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออน (Ion number concentration) และ t คือเวลาในการอัดประจุ (Charging time) สำหรับเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ค่าความเข้มข้นจำนวนของไอออนกับเวลาในการอัดประจุหาได้จาก³⁻⁵

$$N_i t = \frac{I_c (r_2^2 - r_1^2)}{2r Z_i e E Q} \quad (3)$$

3. การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้า

อนุภาคได้รับประจุไฟฟ้าสถิตสุทธิ (Net electrostatic charge) เมื่ออยู่ภายใต้สนามไฟฟ้าที่มีความเข้ม E อนุภาคที่มีประจุเหล่านั้นจะได้รับแรงเชิงไฟฟ้าสถิตสุทธิ (Net electrostatic force) F_E กระทำต่ออนุภาคสามารถคำนวณได้จาก^{10,11}

$$F_e = neE \quad (4)$$

โดยที่ n คือ จำนวนประจุที่อยู่บนอนุภาค e คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน เท่ากับ $(1.61 \times 10^{-19} \text{ C})$ E คือ ความเคียดสนามไฟฟ้า (V/m) ในการศึกษานี้จำนวนของประจุที่อยู่บนอนุภาค n จะได้มาจากการใส่ประจุด้วยวิธีการแพร่กระจาย (Diffusion charging) ซึ่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร การประมาณค่าการกระจายตัวประจุของอนุภาค (Particle charge distribution) ด้วยวิธีการนี้สามารถคำนวณได้จากสมการของไวท์¹¹

$$n(t) = \frac{d_p k T}{2K_E e^2} \ln \left[1 + \frac{\pi K_E d_p \bar{c}_i e^2 N_i t}{2k T} \right] \quad (5)$$

โดยที่ k คือ ค่าคงที่ของโบริทมานน์ (Boltzmann's constant) มีค่าเท่ากับ $1.3806 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ \bar{c}_i คือ ค่าความเร็วเฉลี่ยเนื่องจากผลของอุณหภูมิของไอออน (Mean thermal speed of ion) มีค่าเท่ากับ 240 m/s N_i คือ ค่าความเข้มข้นของไอออนอิสระ (Ions/m³) t คือ เวลาในการอัดประจุ (s) K_E คือ ค่าคงที่จากสมการของคูลอมป์ มีค่าเท่ากับ $9.0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ ถ้าไม่มีแรงภายนอกอื่นใด ๆ มากกระทำ (ปกติแล้ว $F_e \gg F_g$) แรงเชิงไฟฟ้าสถิตจะเร่งให้อนุภาควิ่งเร็วขึ้นจนถึงความเร็วสูงสุด ความสามารถของอนุภาคที่ได้รับประจุเคลื่อนที่ในสนามไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า ความสามารถในการเคลื่อนที่ตัวเชิงไฟฟ้าของอนุภาค (Electrical particle mobility) Z_p (m²/V.s) คือความเร็วของอนุภาคที่มีประจุต่อความเข้มของสนามไฟฟ้าสามารถหาได้จาก^{10,11}

$$Z_p = \frac{neC_c}{3\pi\mu d_p} \quad (6)$$

$$C_c = 1 + \frac{\lambda}{d_p} \left[2.514 + 0.8 \exp \left(-0.55 \frac{d_p}{\lambda} \right) \right] \quad (7)$$

โดยที่ d_p คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (m) C_c คือตัวชดเชยของคันทิงแอม λ คือ ค่าเฉลี่ยระยะการเคลื่อนที่อิสระของก๊าซ (μm) λ_r คือ ค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่อิสระของอากาศ ที่สภาวะมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ $0.0665 \mu\text{m}$

4. การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต

ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าจะสมมติให้อนุภาคมีประจุเป็นประจุบวก (Positive charge) เข้าไปในสนามไฟฟ้ามีลักษณะดังแสดงไว้ใน Figure 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นขั้วอิเล็กโทรดซ้อนแกนร่วม (Coaxial electrodes) ที่มีช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดด้านในและด้านนอกเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร มีการไหลภายในแบบราบเรียบในทิศทางแนวแกน z และตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าในทิศทางแนวรัศมี r เมื่ออนุภาคตัวอย่างเข้าไปในท่อด้วยการไหลของของไหลในแนวแกน z และอนุภาคที่มีประจุจะถูกทำให้เคลื่อนที่ไปตามแนวรัศมี r ด้วยแรงของสนามไฟฟ้าเข้าหาขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุ^{10,11} นี้คือ

$$\frac{dr}{dt} = u_r + Z_p E_r \text{ และ } \frac{dz}{dt} = u_z + Z_p E_z \quad (8)$$

โดยที่ u_r คือ ความเร็วในแนวรัศมี (m/s) u_z คือ ความเร็วในแนวแกน (m/s) E_r คือ สนามไฟฟ้าในแนวรัศมี (V/m) E_z คือ สนามไฟฟ้าในแนวแกน (V/m) ถ้าสมมติให้การสูญเสียของสนามไฟฟ้าที่ขอบมุมของขั้วอิเล็กโทรดมีค่าน้อยมาก ๆ และสนามไฟฟ้าภายในท่อทรงกระบอกสม่ำเสมอ (Uniform electric field) สนามไฟฟ้าจะหาได้จากความสัมพันธ์^{10,11}

$$E_r = \frac{V}{r \ln(r_2/r_1)} \text{ และ } E_z \approx 0 \quad (9)$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างด้านในและด้านนอกของทรงกระบอก (V) r_1 คือ ขนาดรัศมีของทรงกระบอกด้านใน (m) r_2 คือ ขนาดรัศมีทรงกระบอกด้านนอก (m) โดยสมมติให้การไหลภายในท่อเป็นการไหลแบบสมมาตรกับแกน (Axisymmetric) แบบราบเรียบ (Laminar) แบบรูปร่างของความเร็วพัฒนาไปจากเดิมอย่างเต็มที่ (Fully developed) และแบบไม่ยุบตัวตามความดัน (Incompressible) ดังนั้นความเร็วในแนวรัศมีสำหรับการไหลแบบราบเรียบมีค่าเท่ากับศูนย์และความเร็วในแนวแกนเท่ากับความเร็วของของไหลในท่อทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม^{10,11} คือ

$$u_r = 0 \text{ และ } u_z(r) = Ar^2 + B \ln(r) + C \quad (10)$$

$$A = \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} \quad (11)$$

$$B = -\frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} \frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln(r_2/r_1)} \quad (12)$$

$$C = \frac{1}{4\mu} \frac{dp}{dz} \left[\frac{r_2^2 - r_1^2}{\ln(r_2/r_1)} \ln(r_1) - r_1^2 \right] \quad (13)$$

และ $\frac{dp}{dz}$ คือ ค่าคงที่ของ Pressure gradient รวมสมการที่ (8) (9) และ (10) จะได้เส้นทางโคจรของอนุภาค (Particle trajectory)^{10,11} คือ

$$\frac{dr}{dz} = \frac{\frac{dr}{dt}}{\frac{dz}{dt}} = \frac{Z_p V}{ru_z \ln(r_2/r_1)} \quad (14)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (14) เพื่อหาเส้นทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่มีประจุจากความยาวของทรงกระบอก L ความเร็วของของไหล u_z และความเข้มของสนามไฟฟ้า^{10,11} E_r คือ

$$\int_r^{r_2} ru_z(r) dr = \int_0^L \frac{VZ_p}{\ln(r_2/r_1)} dz \quad (15)$$

จะได้เส้นทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่เข้าไปในท่อที่ตำแหน่งรัศมี^{10,11} r_1 คือ

$$z(r) = -\frac{1}{4Z_p V} \left[\ln(r_2/r_1) \left[Br_1^2 - 2Cr_1^2 - Ar_1^4 - Br^2 + 2Cr^2 \right] + Ar^4 - 2Br_1^2 \ln(r_1) + 2Br^2 \ln(r) \right] \quad (16)$$

Figure 2 แสดงอัลกอริทึมการวิเคราะห์ตำแหน่งระยะการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ตำแหน่งระยะในแนวแกนและในแนวรัศมีที่แต่ละโนดของตารางสามารถหาได้จากสมการที่ (16) โดยการรู้ตำแหน่งเริ่มต้นคือ ตำแหน่งระยะแนวแกนของขั้วอิเล็กโทรดด้านใน (Inner electrode) และตำแหน่งระยะรัศมีทางเข้าของอนุภาค (Particle inlet) และทำการจะคำนวณหาตำแหน่งระยะในแนวแกน และในแนวรัศมี

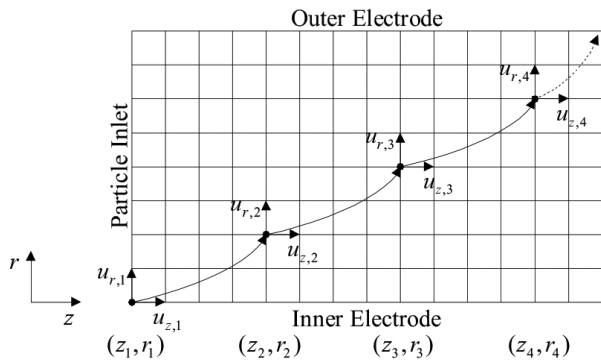


Figure 2 Algorithm for determining the particle trajectory^{10,11}

อนุภาคที่ตำแหน่งใหม่ และทำการคำนวณเข้าไปเรื่อยๆ ไปจนถึงตำแหน่งระยะรัศมีของขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก (Outer electrode) จะได้ระยะเคลื่อนที่อนุภาคจากจุดทางเข้าไปจนถึงจุดอนุภาคตกที่ขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก

5. ประสิทธิภาพการตกตะกอน

สำหรับประสิทธิภาพในการตกตะกอนของอนุภาค (collection efficiency) η ภายในตัวตกตะกอนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการ³⁻⁷ ดังนี้

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-2\pi r_2 L Z_p E}{Q}\right) \tag{17}$$

เมื่อ L คือความยาวของตัวตกตะกอน E คือสนามไฟฟ้าในตัวตกตะกอน Q คืออัตราการไหลของอนุภาค และ Z_p คือการเคลื่อนที่ทางไฟฟ้าของอนุภาค

การออกแบบเครื่องดักควันโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสำหรับโรงบ่มใบยาสูบ

1. วัตถุประสงค์และเป้าหมายในการออกแบบ

ในการออกแบบงานวิจัยนี้ จะการออกแบบและสร้างตัวตัวเก็บรวบรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตสำหรับดักจับกลุ่มควันที่เกิดจากการโรงบ่มใบยาสูบ โดยได้ทำการออกแบบโครงสร้างแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันร่วมลวดเส้นตรง เลือกใช้ท่ออะลูมิเนียมกลม ทรงกระบอก ซึ่งหาได้ง่าย มีการเกิดสนามไฟฟ้าภายในได้สม่ำเสมอ และทำความสะอาดได้ง่าย นำหลักการสร้างสัญญาณ พีดับเบิลยูเอ็ม มาควบคุมสัญญาณพัลส์สวิตซ์แรงดันไฟฟ้าผ่านวงจร ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าแรงสูง เพื่อสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูง สำหรับการออกแบบจะเลือก

Table 1 Design criteria for the electrostatic smoke collector for the tobacco monopoly exhaust

Design criteria	Details
Discharge electrode diameter	1.1 mm (6 line)
Collection electrode diameter	50.8 mm (6 pipes)
Distance of the discharge electrode and collection electrode	25.4 mm
Length of the precipitator	613.6 mm
Particle diameter range	10 nm - 2.5 μ m
Particle charge	Positive charge
Electric polarity	Positive
Discharge Voltage	~ 30 kV
Frequency	~ 40 kHz
Discharge electrode type	Wire
Smoke temperature	60 - 300 °C
Operating pressure	1 bar
Smoke characteristics	Solid and Liquid
Velocity	10 L/min
Electrical insulator	88.9 mm
Dimensions of the prototype	240x1320 mm

อุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการทำงานและราคา โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในประเทศ ออกแบบให้มีการซ่อมบำรุงหรือการถอดล้าง/เปลี่ยนอุปกรณ์ในขณะทำงานได้ง่ายและมีราคาต้นทุนในการสร้างถูก และที่สำคัญที่สุดจะต้องมีความปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูงในขณะทำงาน ดังนั้นเพื่อให้บรรลุเป้าหมายจึงได้มีการกำหนดรายละเอียดแสดงดังใน Table 1

2. การออกแบบตัวเก็บรวบรวมอนุภาค

ตัวเก็บรวบรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตจะมีลักษณะโครงสร้างดังแสดง(Figure 3) ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ขั้วดิสชาร์จ (Discharge electrode)และขั้วตกตะกอน (Collection electrode) ความต้องการพื้นฐานของการออกแบบตัวเก็บรวบรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตในการศึกษานี้คือจะต้องมีประสิทธิภาพในการตกตะกอน (Collection efficiency) ที่สูง โดยไม่มีการสูญเสียของความดันอากาศ (Pressure drop) ภายในและสามารถทำงานได้ตามเกณฑ์คุณสมบัติที่ได้กล่าวไว้ใน Table 1 ชุดตัวเก็บรวบรวมอนุภาคที่จะสร้างขึ้นนี้จะต้องมีการป้องกันหรือความปลอดภัยอันตรายจากไฟฟ้าแรงดันสูง

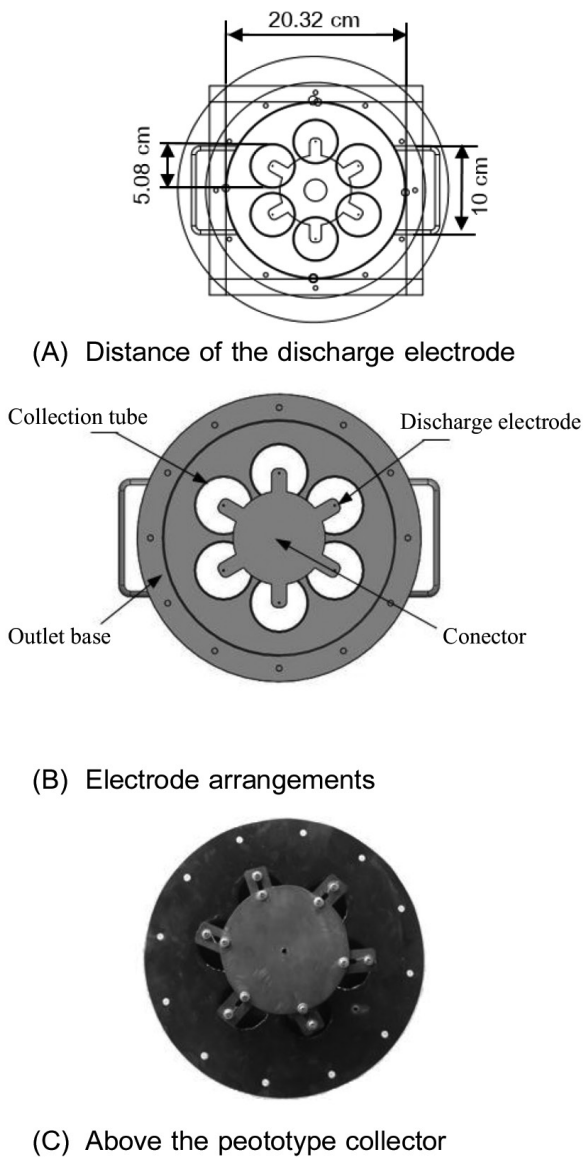


Figure 3 Schematic of the discharge electrode

ด้วยการฉนวนไฟฟ้าทั้งสายไฟฟ้าแรงสูงและจุดที่มีการเชื่อมต่อกัน การแยกอุปกรณ์ ไฟฟ้าแรงสูงใดๆ ออกจากกัน โดยเลือกใช้ฉนวนด้วยไฟฟ้าเป็นฉนวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร สูง 88.9 มิลลิเมตร เป็นฉนวนไฟฟ้าซึ่งเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟและการลัดวงจรไฟฟ้า ในการออกแบบชุดตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต ในการศึกษานี้จะเป็นชุดตัวเก็บรวบรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตแบบท่อทรงกระบอกซ้อนกันแนวนอน (Wire-to-cylinder collector) ที่ประกอบด้วยท่อตกตะกอนซึ่งมีลักษณะเป็นการนำท่อหลาย

อันมารวมกันวางเรียงกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการตกตะกอน (Collection area) ดังแสดงไว้ใน Figure 3 ชุดตัวเก็บรวบรวมอนุภาคด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ทำจากท่อสแตนเลส ที่ทนต่อการกัดกร่อนประกอบด้วยท่อตกตะกอนแบบหลายท่อ (Multiple-tube type) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร มีความยาว 613.6 มิลลิเมตร จำนวน 6 ท่อ ซึ่งจะมีพื้นที่ในการตกตะกอนเท่ากับ 0.0075 ตารางเมตร และแต่ละท่อตกตะกอนจะมีและขั้วดิสชาร์จ ที่ทำจากสแตนเลส เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.1 มิลลิเมตร มีความยาว 600 มิลลิเมตร วางซ้อนกันแบบแนวนอน ในการศึกษานี้จะออกแบบให้ขั้วดิสชาร์จ 1 เส้นต่อ 1 ท่อตกตะกอน ระยะรัศมีของระยะห่างระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอนเท่ากับ 25.4 มิลลิเมตร Figure 4 แสดงรูปของชุดตกตะกอนที่สร้างขึ้น โดยขั้วดิสชาร์จจะถูกเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าทุกขั้วและต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงที่แยกออกจากกันด้วยลูกถ้วยไฟฟ้า โดยขั้วดิสชาร์จจะถูกเชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและขั้วตกตะกอนจะถูกต่อลงกราวด์ ซึ่งจะทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จขึ้นโดยรอบๆ ขั้วดิสชาร์จ ทำให้ไอออนและอิเล็กตรอนถูกสร้างขึ้นและทำให้เกิดการไหลกระแสไอออน ผ่านช่องระหว่างขั้วดิสชาร์จกับขั้วตกตะกอน เมื่อมีฝุ่นผ่านเข้าในช่องนี้จะเกิดการชนกัน โดยไอออนเกาะติดกับฝุ่นทำให้ฝุ่นได้รับประจุ และถูกทำให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วตกตะกอนด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิต สะสมตัวอยู่บนขั้วตกตะกอน จะถูกกำจัดออกโดยการเคาะให้ฝุ่นหลุดออก¹² จากสมการที่ (10-16) สามารถคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าที่แรงดัน 20 และ 30 กิโลโวลต์ ดังแสดงใน Figure 5,6 ทำการทดสอบกับขนาดอนุภาค 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นช่วงของอนุภาคควันที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ และมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม²² พบว่าที่ระดับแรงดันสูงเพิ่มขึ้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ตกตะกอนได้เร็วขึ้น โดยเมื่อพิจารณาขนาดอนุภาคเล็ก 10 นาโนเมตร ที่ระยะรัศมีระหว่างผิวท่อและขั้วดิสชาร์จ 0.0253 เมตร แรงดันไฟฟ้า 20 และ 30 กิโลโวลต์สามารถทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปตกตะกอนที่ภายในท่อได้ตำแหน่ง 0.00202 และ 0.00112 เมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นระยะตำแหน่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปตกตะกอนได้ทั้งหมด จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้งานวิจัยนี้จึงเลือกออกแบบแหล่งจ่ายใช้งานที่ 20 กิโลโวลต์เป็นขนาดแรงดันไฟฟ้าใช้งาน

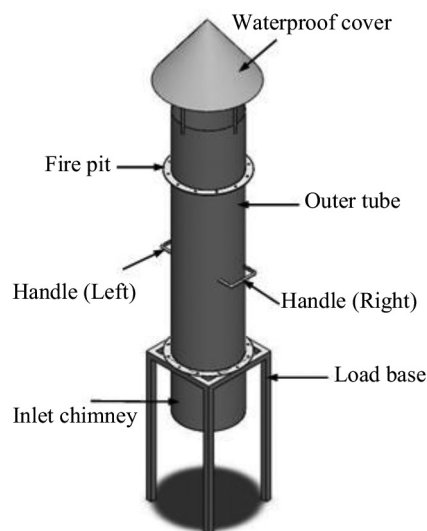


Figure 4 Schematic of the electrostatic particle collector and electrode arrangements

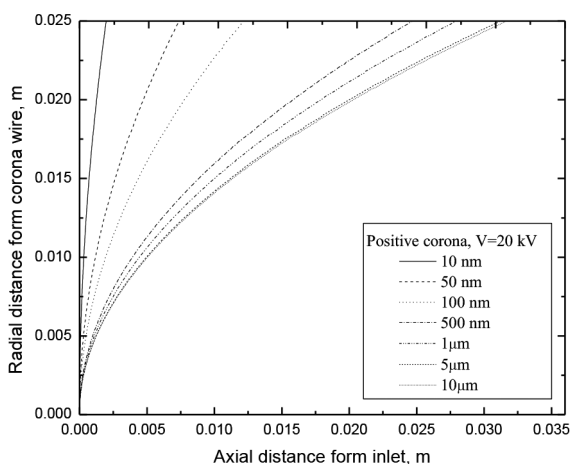


Figure 5 Particle trajectory at 20 kV

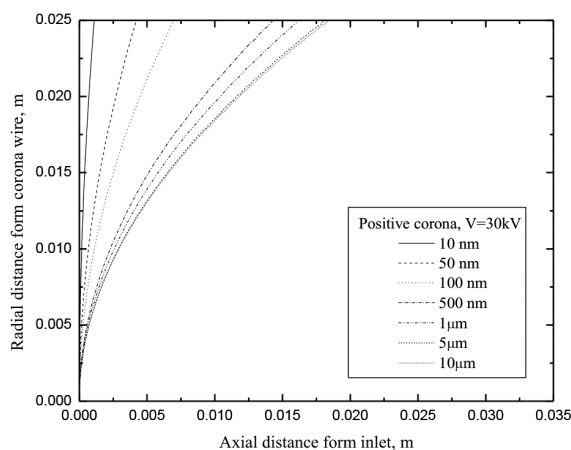


Figure 6 Particle trajectory at 30 kV

3. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

สำหรับการออกแบบจะเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมต่อการทำงานและราคา โดยใช้เทคโนโลยีที่ผลิตและจำหน่ายภายในประเทศ ออกแบบให้มีการซ่อมบำรุงได้ง่าย และปลอดภัยจากไฟฟ้าแรงสูงในขณะทำงาน จึงกำหนดรายละเอียดการออกแบบดัง Table 2

Table 2 Design requirements

Variable	Description
DC input voltage	12 V
Discharge voltage	0V - 30 kV
Frequency	~ 30 kHz
Corona discharge	Wire
Electric polarity	Positive
High Voltage Transformer	110 Watts
Electric insulator	Height 88.9 mm

ในการออกแบบสามารถหาได้จากสมการที่ (1) โดยคำนวณหาแรงดันเริ่มเกิดโคโรนา และค่ากระแสโคโรนา ซึ่งทำให้ทราบว่าที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 14.5 กิโลโวลต์ จะเริ่มเกิดปรากฏการณ์โคโรนา มีค่ากระแสเริ่มเกิดโคโรนา 88.65 ไมโครแอมป์ และที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ มีค่ากระแสโคโรนาประมาณ 870 ไมโครแอมป์ต่อ 1 ท่อ และให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 6 ท่อ $P=IV \times (6)$ เท่ากับ 104 วัตต์ มีพื้นที่สำหรับตกตะกอนเท่ากับ 0.0075 ตารางเมตร ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกได้ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงฟลายแบคของ TBE รุ่น TLF 14689 ที่มีขนาด 37.5 วัตต์ สามารถให้ค่าแรงดันเอาต์พุตขนาด 25 กิโลโวลต์ (± 0.4 เปอร์เซ็นต์) ให้ค่ากระแส 1.5 มิลลิ

แอมป์ จำนวน 3 ตัว ดังแสดงใน Figure 7 เพื่อให้สามารถจ่ายกำลังงานได้ $P=37.5 \times (3)$ เท่ากับ 112.5 วัตต์ มาต่อวงจรแบบขนานเพื่อใช้ในการสร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูง ความต้องการพื้นฐานของชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงคือ สร้างสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มสูงภายในตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดการโคโรนาดีสชาร์จ ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญอย่างหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต เพราะเป็นกระบวนการอัดประจุไฟฟ้าของอนุภาคตามสมการที่ (2-3) โดยสนามไฟฟ้าภายในตัวตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขั้วดีสชาร์จและลักษณะของรูปทรง (Geometry) ของตัวตกตะกอน ซึ่งสนามไฟฟ้าภายในตัวเก็บรวบรวมอนุภาคจะถูกจำกัดโดยแรงดันเบรกดาวนของแก๊สปกติแล้วที่แก๊สอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 1 บาร์เท่ากับ 3,000 โวลต์ ต่อ เซนติเมตร งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ TL494 เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณพีดีบีเบิลยูเอ็ม PWM (Pulse width modulation) มาใช้ในการ

ควบคุมการทำงานของเพาเวอร์มอสเฟส (Power MosFET) เบอร์ IRFP460 ที่ความถี่สูงผ่านวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ โดยทำงานในโหมดของการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้า ดังแสดงใน Figure 8 ซึ่งจะทำงานได้ตามการคำนวณในสมการ¹³

$$V_{out} = \frac{\left(\frac{N_s}{N_p}\right) \times (V_{in} - V_{SAT}) \times t_{ON}}{(T - t_{ON})} - V_D \quad (18)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการทำงานของมอสเฟต T_{ON} คือ ช่วงเวลาที่มอสเฟตนำกระแส N_p คือ จำนวนรอบปฐมภูมิ N_s คือ จำนวนรอบทุติยภูมิ V_{in} คือ แรงดันที่อินพุต V_{SAT} คือ แรงดันตกคร่อมมอสเฟตที่จุดอิ่มตัว V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด V_{out} คือ แรงดันเอาต์พุต โดยจะคำนวณเริ่ม

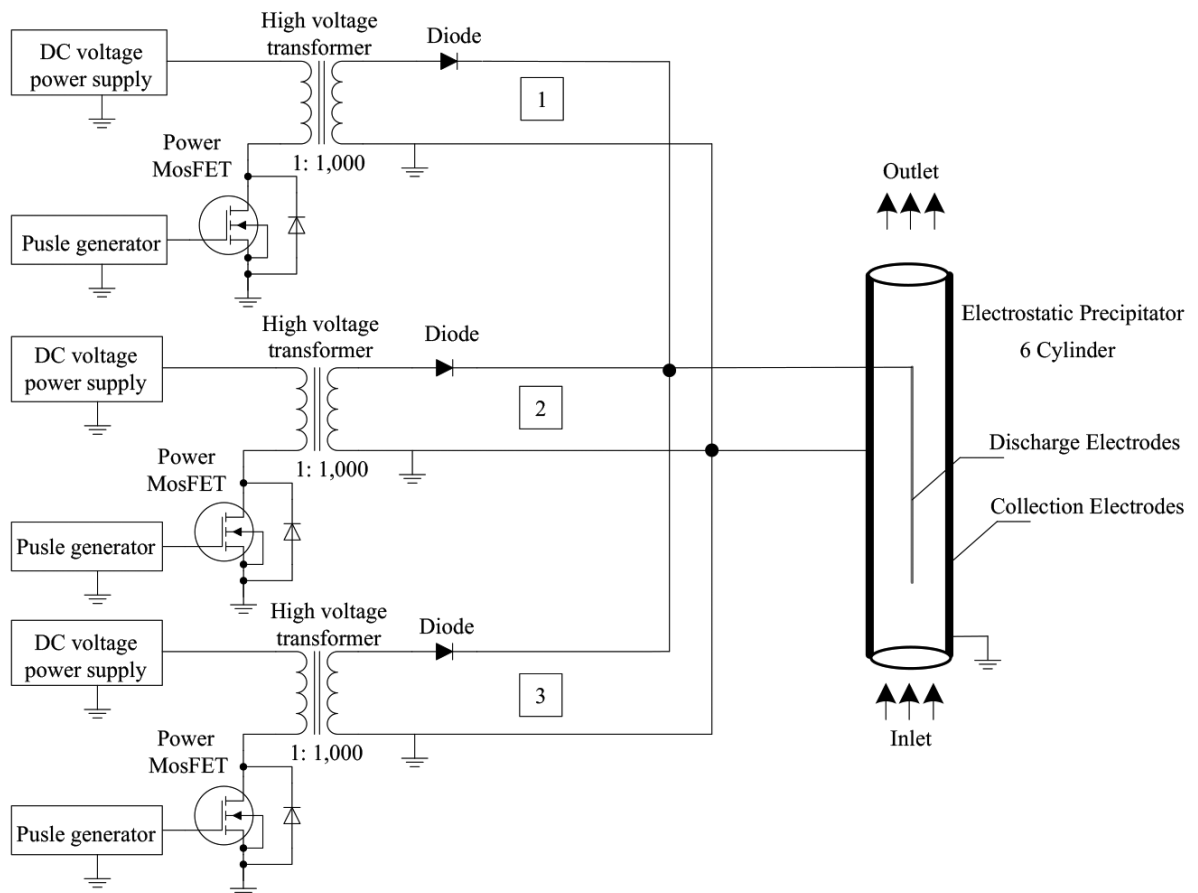


Figure 7 Schematic diagram of the DC high voltage power supply

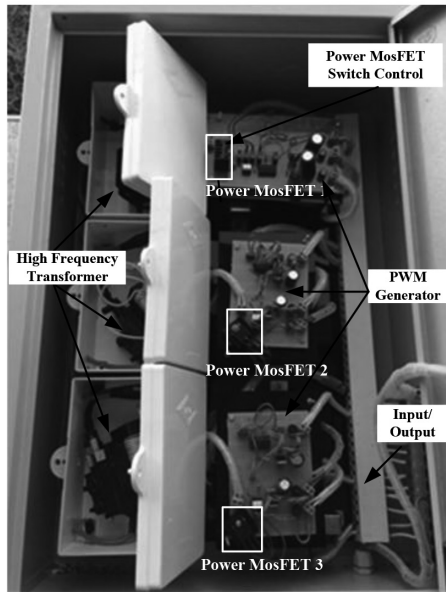


Figure 8 30 kV DC high voltage power supply

จากหาค่าจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ ด้วยสมการ $N_s = ((10 \times 10^3 V) \times 10) / 12V$ เท่ากับ 8,333 รอบ เนื่องจากวงจรไอซีเบอร์ TL494 ที่ใช้ในการออกแบบให้ค่า t_{ON} ได้สูงสุดเพียง 17 ไมโครวินาที จึงได้เลือกใช้งาน t_{ON} 15 ไมโครวินาที จึงนำค่ามาคำนวณหาแรงดันเอาต์พุต $V_{out} = [((8,333/10) \times (12 - (-16)) \times (15 \times 10^{-6})) / ((50 \times 10^{-6}) - (15 \times 10^{-6}))] - 1$ ได้ค่าเท่ากับ 10 กิโลโวลต์ จึงออกแบบใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 3 ตัว เพื่อให้ได้แรงดันขนาด 30 กิโลโวลต์ ในการทดสอบความสัมพันธ์ของความถี่และแรงดันเอาต์พุต ได้นำหลักวิธีการของพัลส์วิดท์มอดูเลชันมาใช้ ซึ่งเป็นการปรับความกว้างของพัลส์โดยการนำเอาสองสัญญาณมาเปรียบเทียบกับกันคือ สัญญาณสามเหลี่ยมและสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงจากขาที่ 3 ของไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งสามารถปรับความกว้างของสัญญาณพัลส์ได้จากการปรับค่าความต้านทาน R_{adjust} เพื่อทดสอบปรับรอบการทำงาน (Duty cycle) ตั้งแต่ 25 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่ารอบการทำงานที่ 65 เปอร์เซ็นต์ เป็นจุดทำงานที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้อุปกรณ์สวิตช์มอสเฟตกำลังเกิดความร้อน และออกแบบให้ขาที่ 6 ของไอซีเบอร์ TL494 มีความต้านทานขนาด 10 กิโลโอห์มเพื่อใช้สำหรับปรับค่าความถี่ใช้งานได้สูงสุดถึง 40 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสำหรับใช้งานวัดด้วยออสซิลโลสโคปของ Digital Oscilloscope (ยี่ห้อ GW Instek รุ่น GD5-1052-U) ความสัมพันธ์ของรอบการทำงานและความถี่ใช้งานจาก Figure 9 โดยการทดสอบวัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้กำหนดให้มีอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ เท่ากับ 10 กิโลโวลต์ พบว่าที่รอบทำงาน 65 เปอร์เซ็นต์ ที่ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ และที่สัญญาณขาขึ้น (Rise time) มีค่ากับ 17.64 ไมโครวินาที แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะแบบพัลส์ปลายแหลม วัดค่า

V_{pp} และ V_{rms} เท่ากับ 10.6 และ 3.43 กิโลโวลต์ ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณตามสมการที่ (18)

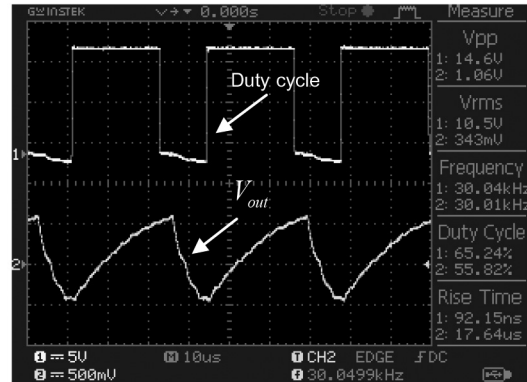


Figure 9 Output voltage - Duty cycle

4. ต้นแบบเครื่องดักควันโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสำหรับโรงบ่มใบยาสูบ

ต้นแบบเครื่องดักควันโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสำหรับโรงบ่มใบยาสูบโดยใช้เทคนิคเชิงไฟฟ้าสถิตที่ประกอบอุปกรณ์ต่างๆ รวมกันเสร็จสมบูรณ์ดัง (Figure 10) โดยโครงสร้างของเครื่องต้นแบบนี้ ออกแบบให้สามารถนำไปติดตั้งตรงปลายปล่องของโรงบ่มใบยาสูบได้ โดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนปล่องของเดิม เคลื่อนย้ายได้ง่าย และบำรุงรักษา ถอด ล้าง ทำความสะอาดได้สะดวก



Figure 10 Prototype of the developed electrostatic collector for tobacco monopoly exhaust

ระเบียบวิธีการทดลอง

1. การศึกษาคุณลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้า

ในการทดสอบคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า (Current - Voltage Characteristics) โดยมีไดอะแกรมของอุปกรณ์และการทดสอบ ดังแสดงใน Figure 11 เพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะการทำงานของแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับดักจับกลุ่มควันที่เกิดจากโรงบ่มใบยาสูบ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคควันโดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวัดค่ากระแสดีสชาร์จ (Discharge Current) จากขั้วดีสชาร์จและขั้วตกตะกอน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการปรากฏการณ์โคโรนาที่ขั้วดีสชาร์จของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบเส้นลวดตรง จะถูกวัดโดยตรงด้วยมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล True RMS Multimeter ของ Fluke โมเดล 289 ผลที่ได้ทำให้สามารถประมาณค่าความเข้มสนามไฟฟ้า ความเข้มข้นไอออน และปริมาณประจุที่อนุภาคจะได้รับตามการคำนวณสมการที่ (4-9) ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาคควันที่ทดสอบภายในผิวท่อได้ ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขั้วดีสชาร์จต่อการเกิดโคโรนาดีสชาร์จภายในตัวตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตแบบเส้นลวดตรง โดยกำหนดให้ขั้วอิเล็กโทรดด้านนอก มีความยาว 613.6 มิลลิเมตร จำนวน 6 ท่อ และขั้วดีสชาร์จมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตรต่อ 1 ท่อ โดยขั้วดีสชาร์จและขั้วอิเล็กโทรดด้านนอกจะถูกแยกจากกันทางไฟฟ้า (Electrical Isolation) ด้วยฉนวนลูกถ้วยไฟฟ้าที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ความสูง 88.9 มิลลิเมตร สำหรับอุปกรณ์และไดอะแกรมการทดสอบประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ขั้วดีสชาร์จทดสอบในช่วง 0 ถึง 30 กิโลโวลต์ เพื่อสร้างโคโรนาดีสชาร์จ (Corona Discharge) มีการทดสอบกับระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดกับท่อตกตะกอนระยะ 25 มิลลิเมตร เพื่อหา แรงดันไฟฟ้าเริ่มเกิดโคโรนา รอบ ค่ากระแสโคโรนา รอบการทำงาน และความถี่ ที่เหมาะสม ด้วยออสซิลโลสโคป Digital Oscilloscope (ยี่ห้อ GW Instek รุ่นGD5-1052-U) ส่งผลการวัดค่าผ่านทางสายสัญญาณแบบ RS232 เพื่อบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ สำหรับการนำมาวิเคราะห์

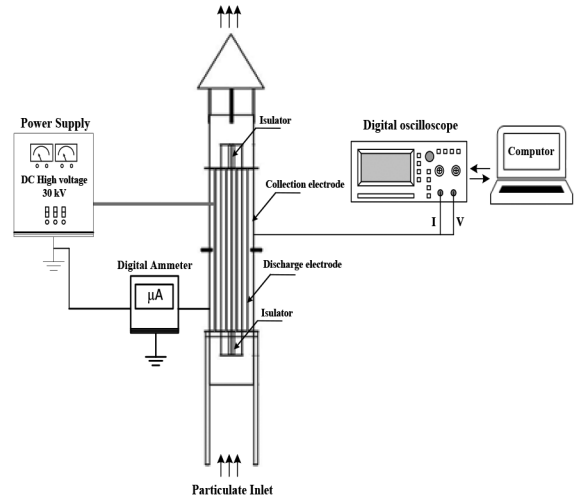


Figure 11 Experimental setup for investigating the current - voltage characteristics

2. การศึกษาประสิทธิภาพการตกตะกอนของควัน

ในการทดสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาค แสดงใน Figure 12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบนี้ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบมัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล True RMS Multimeter ของ Fluke โมเดล 289 ชุดปรับและวัดอัตราการไหลของ Dwyer แผ่นกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูง HEPA (High Efficiency Particulate-free Air Filter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นจำนวนอนุภาคเชิงมวล โดยในการศึกษานี้ใช้แผ่นกรองอนุภาคประสิทธิภาพสูงแบบใยแก้ว (glass fiber) ของบริษัท Whatman โมเดล EPM 2000 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร หนา 330 ไมโครเมตร มีอัตราการในการกักเก็บอนุภาค (Particle Retention Rating) ที่ 98 เปอร์เซ็นต์ และสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงถึง 500 องศาเซลเซียส และมีสมรรถนะของ Busch โมเดล SV 1003 ขั้นตอนในการทดสอบจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขั้วดีสชาร์จด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบที่ปรับแรงดันไฟฟ้าสำหรับทดสอบอยู่ในช่วงขนาด 0 โวลต์ ถึง 30 กิโลโวลต์ โดยจะทำการทดสอบกับอนุภาคของควันโรงบ่มใบยาสูบที่ใช้ชีวมวลแห้งจากเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาเป็นเชื้อเพลิงในการเผา มีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงประมาณ 6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จากนั้นจึงทำการเปิดแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงแบบให้ระบบทำงานและตรวจเช็คการทำงานของระบบว่ามีจุดรั่วไหลของควันหรือเกิดการเบรกดาวน์ในส่วนไหนของระบบ หากพบต้องทำการปรับแก้ไขเพื่อให้ระบบทำงานต่อไปได้ จากนั้นทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอนุภาคควันที่เวลา 1 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ เวลาในการดูดเข้ามา 15 นาที ในเวลาที่ 15, 30

, 45 และ 60 นาที ผุ่นที่เก็บอยู่ในช่วง 10 นาโนเมตร ถึง 10 ไมโครเมตร ทดสอบเก็บผุ่นในตำแหน่งทางเข้า (Inlet) และทางออก (Outlet) เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตติดตั้งแสดงใน (Figure 12) ด้วยวิธีการกรองอนุภาค โดยมีเงื่อนไขการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดัง Table 3

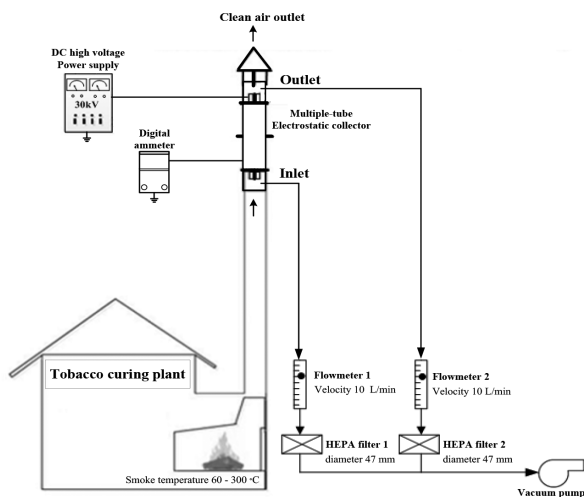


Figure 12 Experimental setup for testing the collection efficiency

Table 3 Condition variable used to analyze the collection efficiency of the developed collector from the tobacco

Variable	Description
Discharge voltage	0V - 30 kV
Frequency	~ 30 kHz
Corona discharge electrode	Wire
Electric polarity	Positive
Smoke temperature	60 - 300 oC
Operating pressure	1 bar
Smoke characteristics	Solid and Liquid
Velocity	10 L/min

สำหรับวิธีการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่าประสิทธิภาพใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบที่มีจลศาสตร์เท่ากัน (Isokinetic Sampling) คือ การดึงเอาบางส่วนของของไหลที่เราสนใจออกมาเพื่อวัดค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนของอนุภาค โดยทำการศึกษาตามมาตรฐานของ EPA (Environmental Protection Agency) ในที่นี้ค่าที่สนใจจะเป็นอนุภาคที่อยู่ภายในท่อตกตะกอน ที่ผ่านชุดปรับและวัดอัตราการไหล

ของควัน 10 ลิตรต่อหน้าที่ โดยใช้แผ่นกรองที่อยู่ภายในชุดเก็บตัวอย่างเป็นตัวดักจับ เมื่อได้ปริมาณของอนุภาคแล้วจึงนำชุดแผ่นกรองอนุภาคออกมาทำการชั่งน้ำหนักแผ่นกรองอนุภาคเพื่อนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพการตกตะกอนของระบบโดยประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยรวมทั้งหมด (Overall collection efficiency) $\eta_{overall}$ ของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิต¹² สามารถหาค่าได้จากมวลของอนุภาคที่แผ่นกรองทดสอบซึ่งวัดน้ำหนักได้จากทางขาเข้าและทางขาออก มาคำนวณดังสมการนี้¹²

$$\eta_{overall} = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100\% \tag{19}$$

เมื่อ c คือ Particulate Mass Concentration (mg/m^3) C_{inlet} คือ ความเข้มข้นมวลของอนุภาคที่ทางเข้า และ C_{outlet} คือ ความเข้มข้นมวลของอนุภาคที่ทางออกของเครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้า จากนั้นนำผลการทดสอบความเข้มข้นมวลของอนุภาคที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์เพื่อหาจุดการทำงานที่เหมาะสมต่อเวลาในการทำงาน และการเคาะทำความสะอาดต่อไป

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

1. การวิเคราะห์คุณลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้า ร่วมกับตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต

ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ กระแสและแรงดันโคโรนา แสดงใน Figure 13 ทดสอบกับจ่ายแรงดันไฟฟ้าอินพุตในช่วง 0 ถึง 30 กิโลโวลต์ จ่ายให้ขั้วดิสชาร์จขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 มิลลิเมตร ความยาว 613.6 มิลลิเมตร จำนวน 6 ท่อ ศักย์ไฟฟ้าชนิดขั้วบวก รอบการทำงาน 65 เฮอร์เซ็นต์ และปรับความถี่ทดสอบที่ 20, 30 และ 40 กิโลโวลต์ ตามลำดับ พบว่าค่ากระแสดิสชาร์จจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามแรงดันอินพุตที่เพิ่มขึ้น ค่ากระแสโคโรนาดิสชาร์จที่ได้ในช่วง 26 ถึง 332 ไมโครแอมป์ โดยที่ความถี่ 20, 30 และ 40 กิโลเฮิร์ตซ์ จะให้ค่ากระแสโคโรนาดิสชาร์จสูงสุดเท่ากับ 228 ไมโครแอมป์ 332 ไมโครแอมป์ และ 210 ไมโครแอมป์ ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นถึงช่วงแรงดัน 22 ถึง 24 กิโลโวลต์ จะเริ่มเกิดการเบรกดาวนภายในตัวตกตะกอน ซึ่งเป็นจุดใช้งานที่ควรระวัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการทำงานที่ 65 เฮอร์เซ็นต์ ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ที่ให้กระแสโคโรนาดิสชาร์จที่สูง

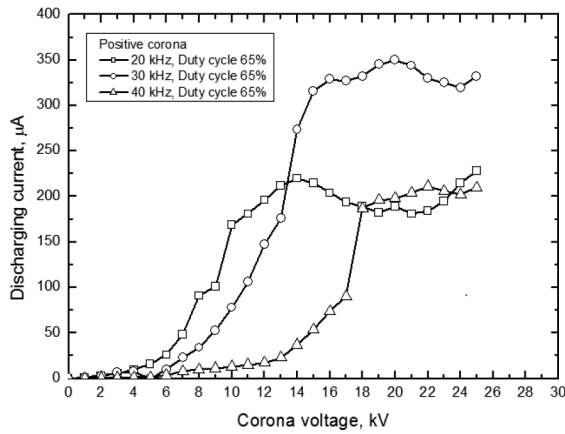


Figure 13 Variations of the charging current with corona voltage at different frequency

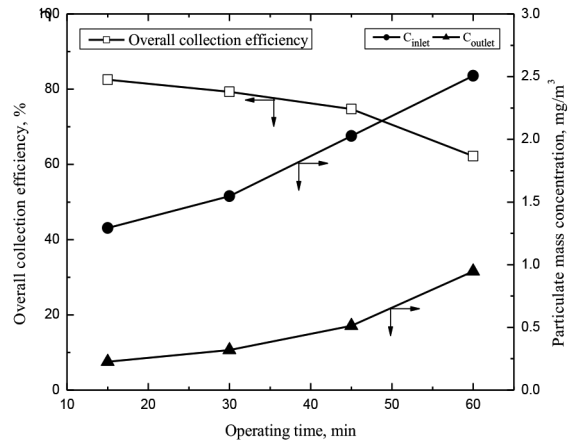


Figure 14 Variations of the particle mass concentration with particle diameter

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตกตะกอน

ผลการซึ่งนำหนักตัวอย่างอนุภาคก่อนและหลังผ่านตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต แสดงใน Figure 14 โดยนำสมการที่ (19) มาใช้ในการคำนวณหา พบว่าค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนที่เวลาทดสอบ 15, 30, 45 และ 60 นาที จะได้ค่าเท่ากับ 82.5, 79.3, 74.7 และ 62.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีค่าประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยรวมเฉลี่ย 74.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของพานิช อินต๊ะและคณะ³ ที่ผ่านมา พบว่าผลความเข้มข้นมวลอนุภาคทางเข้า C_{inlet} จะมีค่ามากกว่าความเข้มข้นมวลอนุภาคทางออก C_{outlet} หลังผ่านแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎีตามสมการที่ (17) และจากการทดสอบยัง พบว่ามีการสะสมของอนุภาคเกิดขึ้นที่ขั้วอิเล็กโทรดและผิวท่อตกตะกอน ที่มาจากการเผาไหม้ โดยมีทาร์และอนุภาครวมตัวกันเป็นคราบที่ผิวของท่อตกตะกอน ซึ่งเมื่อใช้งานไปการสะสมจะยิ่งมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนของตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิตลดลง ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปต้องมีการทำความสะอาด เพื่อให้ตัวเก็บรวบรวมอนุภาคทำงานได้ประสิทธิภาพสูงตลอดใช้งาน

สรุปและแนวทางพัฒนาต่อในอนาคต

บทความได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องดักควันโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงสำหรับโรงบ่มยาสูบที่เกิดจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงขนาด 30 กิโลโวลต์ ใช้งานกับตัวเก็บรวบรวมอนุภาคแบบไฟฟ้าสถิต ที่มีขนาด (กว้าง×สูง) 240 × 1,320 มิลลิเมตร มีลวดเป็นขั้วอิเล็กโทรดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.1 มิลลิเมตร จากการทดสอบความสัมพันธ์ของเวลาที่ กระแสและแรงดันเอาต์พุต พบว่าที่รอบทำงาน 65 เปอร์เซ็นต์ ความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ ให้ค่ากระแสโคโรนาดีซาร์จสูงสุดเท่ากับ 332 ไมโครแอมป์ เป็นจุดทำงานที่เหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งไม่ทำให้สวิตช์มอเตอร์กำลังเกิดความร้อน และได้ทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการตกตะกอนอนุภาคควันจากควันโรงบ่มยาสูบ พบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยรวมเฉลี่ย 74.6 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับผลงานวิจัยพานิช อินต๊ะและคณะ³ ที่ผ่านมา จากการทดสอบพบว่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงที่ได้ออกแบบใช้งานมีข้อจำกัดของหม้อแปลงไฟฟ้าด้านพลังงานที่จ่ายให้อิเล็กโทรด ทำให้สามารถสร้างสนามไฟฟ้าได้น้อย พบว่าความไม่สมดุลของผิวท่อภายในและการจัดวางตำแหน่งอิเล็กโทรดจะส่งผลทำให้การรั่วไหลระหว่างฉนวนบางตำแหน่งทำให้เกิดสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ และจากกระบวนการเผาไหม้จะเกิดความชื้นขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเกิด

สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนโดยรวมเฉลี่ยที่ได้โดยตรง ในการวิจัยต่อไปคณะผู้วิจัยจะได้ศึกษาถึงการเลือกหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงสูงให้ได้พลังงานที่เหมาะสม การเลือกอิเล็กทรอนิกส์ การจัดวางอิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาผลความชื้นต่อการเกิดสนามไฟฟ้า วิเคราะห์ถึงพลังงานที่ใช้ต่อชั่วโมงการทำงาน เพื่อจะนำมาใช้กับตัวเก็บรวบรวมอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัย พัฒนา และวิศวกรรมภายใต้โครงการนี้ ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ขอขอบคุณหน่วยวิจัยสนามไฟฟ้าประยุกต์ในทางวิศวกรรม ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- อลงกรณ์ ผาทอง. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดเพื่อลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในการบ่มไบโอบาสุบของสถานีบ่มไบโอบาสุบสันกลาง (การค้นคว้าแบบอิสระปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต การจัดการอุตสาหกรรมเกษตร). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2549.
- สรวิชัย พวงคต. อาการและอาการแสดงของระบบทางเดินหายใจและสมรรถภาพปอดของผู้สัมผัสมลพิษจากเผาไหม้ถ่านหินในกระบวนการบ่มไบโอบาสุบ อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย (การค้นคว้าแบบอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2547.
- Intra P, Limueadphai P and Tippayawong N. Particulate Emission Reduction from Biomass Burning in Small Combustion Systems with a Multiple Tubular Electrostatic Precipitator. *Particulate Science and Technology*. 2010; 28(6): 547-565.
- Intra P and Dussadee N. Approach to Predict the Total Collection Efficiency of a Wire-plate Electrostatic Precipitator for Particles Removal from Biomass Furnace. *The 22nd Conference on Mechanical Engineering Network of Thailand*. 2007; October, 17-19.
- Intra P and Dussadee N. Characterisation of Wire Cylinder Electrostatic Precipitator for Exhaust Gas Particles Removal of Biomass Furnace, *Engineering Journal Chiang Mai University*. 2007; 14(1), 29-39.
- ชญาศักดิ์ รัตนโชติ, พีระพงศ์ ทีฆสกุล และยุทธนา ภูริระวินิชย์กุล. เครื่องตกตะกอนเชิงไฟฟ้าสถิตสำหรับการดักจับเขม่าจากการเผาไหม้ไม้พื้น, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, จังหวัดปทุมธานี. 2551; ตุลาคม, 15-17. 59-63.
- พศวีร์ ศรีโหมด, เอกราช พลน้อย, ธนภัทร พรหมวัฒน์ ภัคดี และวิชุดา เครือสุข. การประยุกต์ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงสำหรับการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S). *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 32, จังหวัดปราจีนบุรี*, 2552; ตุลาคม, 28-30.
- Jaworek A, Krupa A and Czech T. Modern electrostatic devices and methods for exhaust gas cleaning A brief review, *Journal of Electrostatics*. 2006; 65, 133-155.
- Parker K.R. *Applied Electrostatic Precipitation*. Blackie Academic & Professional. New York, 1997.
- พานิช อินต๊ะ และ นคร ทิพย์าวงศ์. การวิเคราะห์พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคแขวนลอยในอากาศภายใต้สนามไฟฟ้า, การประชุมประจำปี สวทช. 2548, ศูนย์ประชุมอุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย. 2548; มีนาคม, 28-30.
- Kudpa C, Uppama O, Thatui A, Yodthip P, Fungom S, Yawootti A, and Intra P. Analysis of behavior and collection efficiency of particles in two-stage electrostatic precipitators for particulate matter removal from coffee roasting process. *Journal of KMUTNB*. 2016; 26(3): 359-374.
- Intra P. *Electrostatic System*, National Science and Technology Development Agency NSTDA Northern Network. 2010.
- John G, Martin F and George C. *Principles of Power Electronics*. Massachusetts Institute of Technology, Addison - Wesley Publishing Company. 1991.
- Hinds W.C. *Aerosol Technology*. John Wiley and Sons, New York, USA, 1999.
- USEPA, PM 2.5 general information, Office of Air Quality Planning and Standards, 1998.
- Chang J, Kelly A.J and Crowley J.M. *Handbook of Electrostatic Processes*. Marcel Dekker, Inc., New York, USA, 1995.
- White H.J. *Industrial Electrostatic Precipitation*. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts. 1963.

18. Haslerm P. and Nussbaumer T.H., Gas cleaning for IC engine applications from fixed bed biomass gasification, *Biomass & Bioenergy*. 1999; 16: 385-395.
19. Mizuno A. Electrostatic Precipitation. *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2000; 7(5): 615-624.
20. Nóbrega S.W, Arnosti Jr S and Coury J.R. Evaluation of the Performance of a wire-plate electrostatic precipitator. *Journal of Electrostatics*. 2001; 55: 3-25.
21. Saiyasitpanic P, Keener T, Khang S and Lu M. Removal of diesel particulate matter (DPM) in a tubular wet electrostatic precipitator, *Journal of Electrostatics*. 2007; 90: 1-7.
22. พานิช อินต๊ะ. เทคโนโลยีการวัดและความคุมฝุ่นละอองลอยด้วยไฟฟ้าสถิต. พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: เจริญก๊อปปี้ เซ็นเตอร์; 2557.

การพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน เพื่อคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย

Developing a Transportation Model based on 4-Steps Sequential Decision Method for Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in a University

เจษฎา โพธิ์จันทร์¹, วชิระ วิจิตรพงษา², ปรีดา พิชยาพันธ์³, นัฐพร นวกิจรังสรรค์⁴

Jessada Pochan¹, Wachira Wichitphongsa², Preda Pichayapan³, Nattaporn Nawakitranan⁴

Received : 17 April 2018 ; Accepted : 17 July 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ตามหลักการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน โดยวิธีดำเนินการแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง 2) การพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน 3) การปรับเทียบแบบจำลอง และ 4) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดยการวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวกับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม โดยผลการศึกษา พบว่า จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งสาธารณะประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน (9.41% ของการเดินทางทั้งหมดในมหาวิทยาลัย) จะส่งผลให้สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยมีการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น โดยระดับการให้บริการ (LOS) ในภาพรวมก่อนและหลังการมีรถขนส่งสาธารณะอยู่ในระดับ LOS B และ LOS A ตามลำดับ

คำสำคัญ: ขนส่งสาธารณะ วิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน ระดับการให้บริการ

Abstract

This research proposes an approach to developing the transportation model for passenger demand forecasting of public transportation in a university according to the 4-steps sequential decision principles. The method is divided into four steps: 1) studying travel behavior, 2) developing the 4-steps sequential model, 3) calibrating the model, and 4) applying the model. This research applied this approach to Pibulsongkram Rajabhat University. The result of the study shows that approximately 2,143 passenger trips using the public transportation per day (9.41% of total trips in university), which result in the improvement of traffic conditions in the University. The level of service (LOS) before and after the public transport is LOS B and LOS A respectively.

Keywords: Public Transport, 4-Steps Sequential Decision Method, Level of Service

¹ อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

² อาจารย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹ Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

² Lecturer, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

³ Asst. Professor, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

⁴ Asst. Professor, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

บทนำ

ปัจจุบันคงปฏิเสธไม่ได้ว่าการขนส่งเป็นเรื่องหนึ่งที่อยู่ควบคู่กับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในแต่ละวัน นับวันจำนวนยานพาหนะส่วนบุคคลทั้งรถยนต์และจักรยานยนต์ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานพาหนะนี้เองก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆ ตามมา อาทิเช่น ปัญหาการจราจรติดขัด ปัญหามลภาวะทางอากาศและทางเสียง ปัญหาความไม่เพียงพอของพลังงาน เป็นต้น ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของคนทั้งทางร่างกายและจิตใจ ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดการจัดการการขนส่งเพื่อให้เกิดระบบการขนส่งอย่างยั่งยืนขึ้น^{1,2} โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยส่งเสริมให้มีคุณภาพชีวิตของคนที่ดีขึ้น³ ซึ่งระบบการขนส่งอย่างยั่งยืนคือ ระบบการขนส่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของพื้นที่อย่างยั่งยืน โดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งมุ่งเน้นการใช้รูปแบบการเดินทางที่มีประสิทธิภาพสูงและก่อมลพิษต่ำ อาทิเช่น รถไฟฟ้า และรถขนส่งสาธารณะ เป็นต้น รวมไปถึงส่งเสริมให้มีการใช้รถยนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อาทิเช่น การใช้รถยนต์ร่วมกัน การขับขี้อย่างประหยัด และการใช้เชื้อเพลิงสะอาด เป็นต้น

รถขนส่งสาธารณะเป็นรูปแบบการเดินทางที่ตอบสนองต่อนโยบายการขนส่งอย่างยั่งยืน ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่เน้นการขนส่งคนในปริมาณมาก จึงมีการประหยัดพลังงานมากกว่ารูปแบบการขนส่งอื่นเมื่อขนย้ายคนในจำนวนที่เท่ากัน และมีความปลอดภัยมากกว่า โดยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของคนเพื่อให้หันมาใช้รถขนส่งสาธารณะเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนัก เนื่องจากทัศนคติของแต่ละคนที่มีต่อรถขนส่งสาธารณะนั้นมีความแตกต่างกัน บางคนคิดว่าการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะประหยัดทั้งเงินและพลังงาน แต่บางคนกลับมองว่าการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะเสียเวลามากกว่า ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการรถขนส่งสาธารณะให้มีความถี่ที่เหมาะสมหรือปัจจัยด้านอื่นๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้คนเกิดทัศนคติในแง่บวกต่อการเดินทางโดยรถขนส่งสาธารณะ⁴⁻⁸ เช่นเดียวกับการจัดการให้บริการรถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีพื้นที่ขนาดใหญ่และมีนักศึกษาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการรถขนส่งสาธารณะให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพของมหาวิทยาลัย อาทิเช่น รถมินิบัส รถราง หรือ รถไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อลดการใช้จักรยานยนต์ของนักศึกษา ซึ่งเป็นรูปแบบการเดินทางที่ได้รับความนิยมของนักศึกษาที่มาจากต่างจังหวัด

การพัฒนาการขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยได้รับความนิยมน้อยอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการจราจร และเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักศึกษาและบุคลากรของตนเอง โดยการพัฒนาจำเป็นต้องใช้งบประมาณในการลงทุนเป็นจำนวนมาก แต่จะคุ้มค่าที่จะลงทุนหรือไม่นั้นจะขึ้นกับจำนวนผู้ที่จะมาใช้บริการนั่นเอง ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (4-Steps Sequential Method) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อการวางแผนด้านการจราจรทั้งในประเทศ⁹⁻¹² และต่างประเทศ¹³⁻¹⁴

แต่เนื่องจากวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอนที่ใช้ในปัจจุบัน⁹⁻¹⁴ไม่ใช่อัลกอริทึมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับสถานการณ์หรือพื้นที่ที่แตกต่างกันได้ อาทิเช่น การวิเคราะห์ในระดับมหาวิทยาลัย การวิเคราะห์ในระดับจังหวัด และการวิเคราะห์ในระดับประเทศ ก็จะมีตัวแปรและรูปแบบการวิเคราะห์ที่ใช้ในแบบจำลองที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งให้มีตัวแปรและรูปแบบการวิเคราะห์ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพบริบทของมหาวิทยาลัย โดยมีการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งนี้เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยฯ มีแนวคิดที่จะพัฒนารถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยเพื่อช่วยลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลในการเดินทาง โดยผลจากการวิจัยนี้จะสามารถช่วยให้ผู้บริหารมีข้อมูลประกอบการตัดสินใจในการลงทุนและนำไปสู่การบริหารจัดการงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อนำเสนอวิธีการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งในการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย
2. เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่งเพื่อการคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปใน

มหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน และ ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ได้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูล สงคราม โดยวิธีดำเนินการแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1)

การการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง 2) การพัฒนาแบบ จำลอง และ 3) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง ดังแสดงใน Figure 1

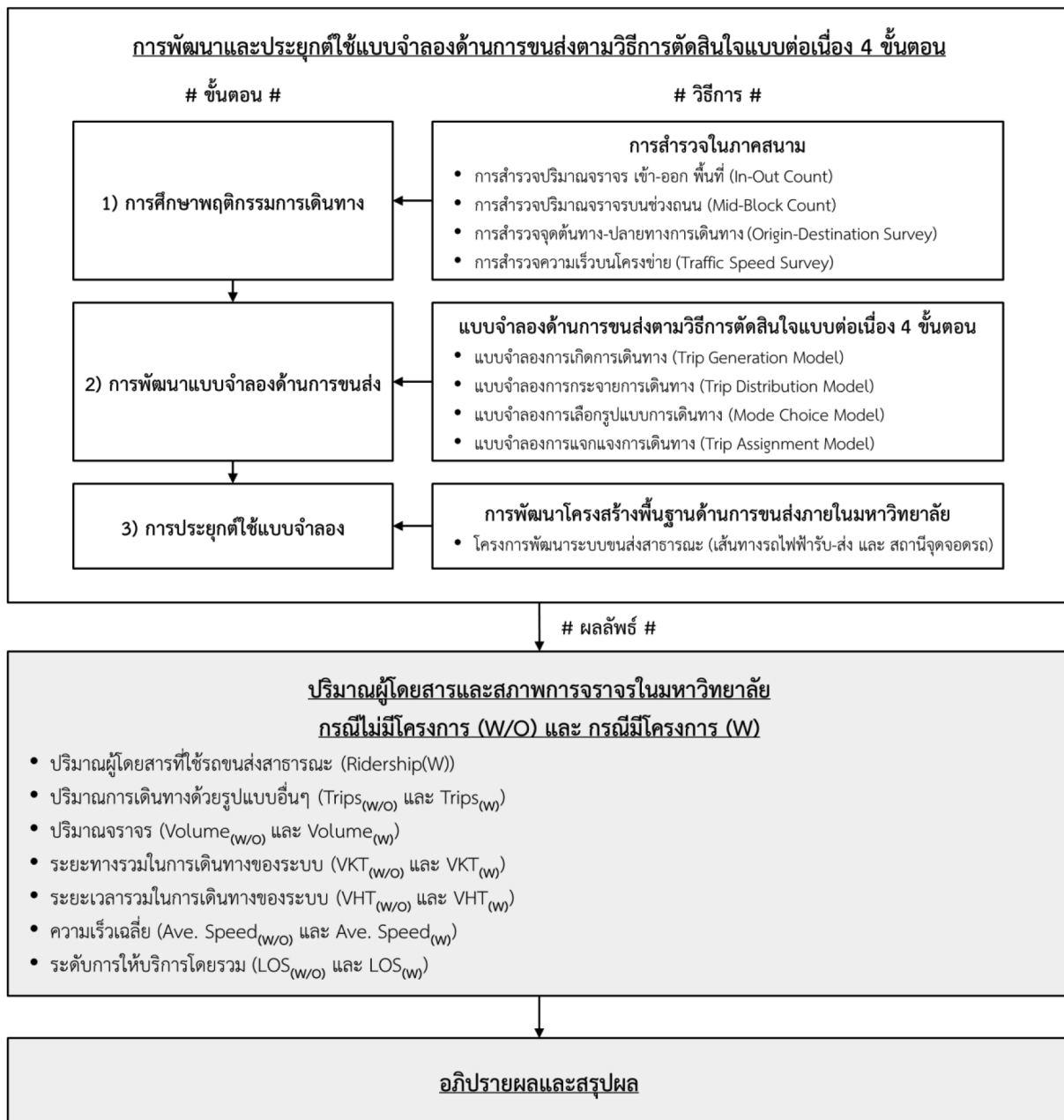


Figure 1 Developing Transportation Model Conceptual Framework for Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in University

1) การศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางของ นักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย โดยการสำรวจใน ภาคสนาม 4 อย่าง ครอบคลุมพื้นที่ทั้งมหาวิทยาลัย¹⁵ ได้แก่ 1) การสำรวจปริมาณจราจร เข้า-ออก พื้นที่ (In-Out Count) จำนวน 3 จุด และ 2) การสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน

(Mid-Block Count) จำนวน 9 จุด โดยการนับปริมาณรถแบบ แยกประเภท (7:00 น. – 19:00 น., 12 ชั่วโมง) ซึ่งครอบคลุม ช่วงเวลาที่มีการเดินทางภายในมหาวิทยาลัย โดยแบ่งประเภท รถออกเป็น 5 ประเภท ได้แก่ รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ/3 ล้อ รถ จักรยานยนต์/สามล้อเครื่อง รถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถตู้/ รถไฟฟ้า และ รถขนาดใหญ่ 3) การสำรวจจุดต้นทาง-ปลาย

ทางการเดินทาง (O-D Survey) ของนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย จำนวน 3,000 ชุด หรือประมาณ 18 % ของประชากร (16,372 คน) ซึ่งมากกว่าการสุ่มตัวอย่างโดยใช้ความน่าจะเป็นแบบง่าย (Simple Random Sampling) ที่อ้างอิงตามคำแนะนำของ Taro Yamane (1973) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 97 % (1,041 ชุด หรือ 6 % ของประชากร) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ และ 4) การสำรวจความเร็วบนโครงข่าย (Traffic Speed Survey) จำนวน 9 จุด ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน โดยสำรวจจำนวน 100 ข้อมูล/จุด (จำนวนขั้นต่ำสำหรับหาความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์) ด้วยปืนตรวจจับความเร็วเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) ให้มีความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย

2) การพัฒนาแบบจำลองด้านการขนส่ง

ขั้นตอนนี้เป็น การนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาพฤติกรรมการเดินทางมาพัฒนาเป็นแบบจำลองด้านการขนส่งตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและนิยมใช้เพื่อการวางแผนด้านการจราจรทั้งในประเทศ⁹⁻¹² และต่างประเทศ¹³⁻¹⁴ โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองให้มีความสอดคล้องกับสภาพการจราจรในพื้นที่ตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของ Comsis Corporation¹⁶ เพื่อได้แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ไรด์ขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย¹⁷ ซึ่งในการพัฒนาแบบจำลองแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 23 พื้นที่ย่อย ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย พื้นที่ย่อยภายในพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ย่อยภายนอกพื้นที่ศึกษา จำนวน 20 และ 3 พื้นที่ย่อยตามลำดับ โดยแบบจำลองที่พัฒนาประกอบด้วย 4 แบบจำลองย่อยที่ต่อเนื่องกัน มีรายละเอียดดังนี้

1. แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการเดินทางออกและเข้าพื้นที่ย่อย (Trip Production and Trip Attraction) ที่สัมพันธ์กับข้อมูลพื้นฐานของแต่ละพื้นที่ย่อย อาทิเช่น จำนวนหลังคาเรือน ปริมาณการรองรับผู้ใช้งาน (ที่นั่งนักเรียน) เป็นต้น โดยวิธีการคาดการณ์ปริมาณการเกิดการเดินทางนี้มีหลายวิธี อาทิเช่น วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) วิธีอัตราการเดินทาง (Trip Rate Analysis) และวิธีการจำแนกข้ามพวก (Cross Classification Analysis) เป็นต้น ซึ่งวิธีที่ได้รับการยอมรับในปัจจุบันคือวิธีสมการถดถอย เนื่องจากเป็นวิธีที่แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ทำให้เกิดและดึงดูดการเดินทาง¹⁷ โดยในกรณีศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการเกิดการเดิน

ทางด้วยวิธีวิเคราะห์ความถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Linear Regression) ดังสมการที่ (1) เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกในการปรับแก้ และสามารถตรวจสอบเปรียบเทียบอัตราการเดินทางที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแปรที่ใช้สร้างความสัมพันธ์ได้อย่างมีเหตุผลและน่าเชื่อถือ โดยระดับความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการแบบจำลองประเมินได้จากค่า Coefficient of Determination (R^2) และมีการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากับศูนย์ (T-Test) ที่ช่วงความเชื่อมั่น (Level of Confident) ที่ 95 %

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n + C \quad (1)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม ในที่นี้คือ ปริมาณการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย (PCU/วัน)

X_1, \dots, X_n = ตัวแปรอิสระ ในที่นี้คือ ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ เช่น จำนวนหลังคาเรือน ที่นั่งนักเรียน

$$a_1, \dots, a_n = \text{สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระ}$$

2. แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model) เป็นการวิเคราะห์ว่าปริมาณการเดินทางที่เกิดขึ้นต้องการจะเดินทางไปไหนและเดินทางมาจากที่ใด โดยทั่วไปวิธีการสร้างแบบจำลองการกระจายการเดินทางมี 2 วิธี คือ วิธีตัวประกอบความเติบโต (Growth Factors) และ วิธีความโน้มถ่วง (Gravity Model) โดยวิธีความโน้มถ่วงเป็นเทคนิคการกระจายการเดินทางที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวางแผนการจราจร¹⁷ โดยในกรณีศึกษาได้พัฒนาแบบจำลองการกระจายการเดินทางด้วยวิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัด 2 ทาง (Doubly Constrained Gravity Model) ซึ่งเป็นเทคนิคการกระจายการเดินทางด้วยค่าความต้านทาน (Friction) คล้ายกับกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน ได้แก่ เวลา และระยะทาง ในการเดินทางของคู่พื้นที่ย่อยใดๆ ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$T_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_i \cdot A_j \cdot F(c_{ij}) \quad (2)$$

$$F(c_{ij}) = c_{ij}^{-b} \cdot \exp(-b \cdot c_{ij}) \quad (3)$$

โดยที่ T_{ij} = ปริมาณการเดินทางจากพื้นที่ย่อย i ไปยังพื้นที่ย่อย j (PCU/วัน)

P_i = ปริมาณการเกิดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย i (PCU/วัน)

A_j = ปริมาณการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อย j (PCU/วัน)

- $F(c_{ij})$ = ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย i และ พื้นที่ย่อย j (บาท)
- α_i, β_j = ค่าเฉพาะการปรับสมดุล (Balancing Factor) ของแถว i และ สดมภ์ j
- c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อย i และพื้นที่ย่อย j (บาท/นาที)
- a, b = ค่าปรับเทียบแบบจำลอง

3. แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง (Mode Choice Model) เป็นการวิเคราะห์หาสัดส่วนการเลือกรูปแบบ (Mode) การเดินทางต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การเดินทางโดยรถยนต์ส่วนบุคคล (Private Transport) และรถขนส่งสาธารณะ (Public Transport) โดยทฤษฎีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมตัดสินใจเลือกรูปแบบการเดินทาง คือ วิธีการวิเคราะห์โลจิสติก (Logit Method) ซึ่งเป็นการพิจารณาอรรถประโยชน์หรือความพึงพอใจ (Utility) ของผู้เดินทางที่ได้รับจากแต่ละทางเลือก¹⁶ โดยในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบการเลือกรูปแบบการเดินทางด้วยวิธีการวิเคราะห์โลจิสติก โดยมีรูปแบบการเดินทางประกอบด้วย เดิน จักรยาน จักรยานยนต์ รถยนต์ และ รถขนส่งสาธารณะ ดังสมการที่ (4) และ (5)

$$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_m} e^{U_{jn}}} \quad (4)$$

$$U = aT + bC + c \quad (5)$$

- โดยที่ $P_n(i)$ = ความน่าจะเป็นของผู้ที่เลือกเดินทางลำดับที่ n ของทางเลือก i
- U_{in} = อรรถประโยชน์ของทางเลือก i ของผู้เลือกคนที่ n
- U_{jn} = อรรถประโยชน์ของทางเลือก j ของผู้เลือกคนที่ n
- C_m = จำนวนของทางเลือกทั้งหมด
- j = ทางเลือก j (เช่น เดิน จักรยาน รถยนต์ เป็นต้น)
- T = ระยะเวลาในการเดินทางของทางเลือก (นาที)
- C = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของทางเลือก (บาท)
- a, b = ค่าสัมประสิทธิ์ (ค่าปรับเทียบแบบจำลอง)
- c = ค่าคงที่

4. แบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment Model) เป็นการวิเคราะห์เพื่อจัดแบ่ง (Assignment) ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ย่อยใดๆ ที่เกิดขึ้นลงในโครงข่ายถนนและระบบขนส่งที่มีอยู่ โดยเทคนิควิธีการจัดแบ่งการ

เดินทางลงในโครงข่ายถนนในแบบจำลองที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ได้แก่ วิธี All-or-Nothing, Incremental, Capacity Restraint, User Equilibrium, Stochastic User Equilibrium และ System Optimum เป็นต้น¹⁷ โดยในการศึกษานี้ได้พัฒนาแบบจำลองการแจกแจงการเดินทางด้วยวิธีสมดุลของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่ทำให้เวลาการเดินทาง (หรือ ค่าใช้จ่าย) บนเส้นทางต่างๆ ระหว่างคู่โหนดเดียวกันให้อยู่ในสภาพสมดุล และจะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าที่แท้จริง (Exact Solution) ในขณะที่วิธีอื่นๆ เช่น วิธี Incremental จะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (Approximate Solution) ดังสมการที่ (6)

$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} C_a(\omega) d\omega \quad (6)$$

โดยที่ C_a = ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง บน Link a

3) การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ขั้นตอนนี้เป็นกรนำแบบจำลองที่ผ่านการปรับเทียบและตรวจสอบความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยแล้วมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้ใช้รถขนส่งสาธารณะ (Ridership) และวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัย ได้แก่ ปริมาณจราจร (Volume), ระยะทางรวมในการเดินทางของระบบ (Vehicle-Kilometers of Travel: VKT), ระยะเวลาในการเดินทางของระบบ (Vehicle-Hours of Travel: VHT), และ ความเร็วเฉลี่ย (Average Speed) ทั้งในกรณีไม่มีโครงการ (Without Project: W/O) และ กรณีมีโครงการ (With Project: W) ซึ่งสามารถนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับให้ผู้บริหารนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจการลงทุนและนำไปสู่การบริหารจัดการงบประมาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในกรณีศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถานการณ์ที่มีโครงการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ประกอบด้วย การจัดเส้นทางเดินรถไฟฟ้าที่ได้จากการประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลส์แมน หรือ Travel Salesman Problem¹⁹ จำนวน 2 เส้นทาง เพื่อให้บริการรับ-ส่งบุคลากรในมหาวิทยาลัย ดังแสดงใน Figure 2 โดยเส้นทางวงรอบเล็ก (สายที่ 1) มีระยะทาง 2.3 กิโลเมตร ใช้รถไฟฟ้าจำนวน 2 คัน และ เส้นทางวงรอบใหญ่ (สายที่ 2) มีระยะทาง 6.0 กิโลเมตร ใช้รถไฟฟ้าจำนวน 6 คัน โดยมีระยะเวลารอคอยสูงสุดของผู้ใช้บริการ (Headway) 6 นาที รวมถึงการก่อสร้างสถานีจุดจอดรถและสถานีซ่อมบำรุง จำนวน 14 จุด และ 1 จุด ตามลำดับ

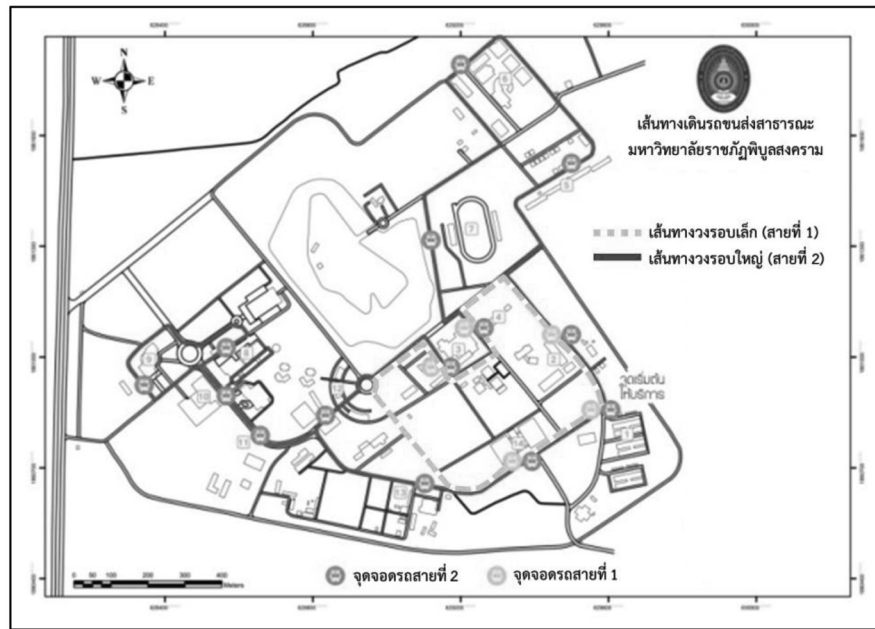


Figure 2 Routes and Stations of Public Transport in Pibulsongkram Rajabhat University

ผลการวิจัย

ผลการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านการขนส่งในกรณีศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามมีรายละเอียดดังนี้

1) ผลการศึกษาพฤติกรรมการเดินทาง

ปัจจุบันมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามมีปริมาณการเดินทางประมาณ 22,777 เที่ยวคน/วัน หรือ เมื่อคูณด้วยค่าเทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคลของรถแต่ละประเภท (Passenger Car Equivalent Factor : PCE) ที่อ้างอิงจากกรมทางหลวง¹⁰ จะมีปริมาณการเดินทาง เทียบเท่ารถยนต์ส่วนบุคคล

บุคคล (Passenger Car Unit: PCU) ประมาณ 14,325 PCU/วัน ระยะทางรวมในการเดินทางของระบบ (VKT) เท่ากับ 17,432 PCU-กิโลเมตร/วัน ระยะเวลารวมในการเดินทางของระบบ (VHT) เท่ากับ 348 PCU-ชั่วโมง/วัน ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 50.04 กิโลเมตร/ชั่วโมง และมีสภาพการจราจรหรือระดับการให้บริการโดยรวมอยู่ในระดับ LOS B ซึ่งเป็นระดับที่กระแสดจราจรมีสภาพอยู่ตัว ผู้ขับขี่สามารถเลือกใช้ความเร็วได้ตามสมควร โดยมีทิศทางการเดินทางและสภาพการจราจรดังแสดงใน Figure 3 และ Figure 4 ตามลำดับ

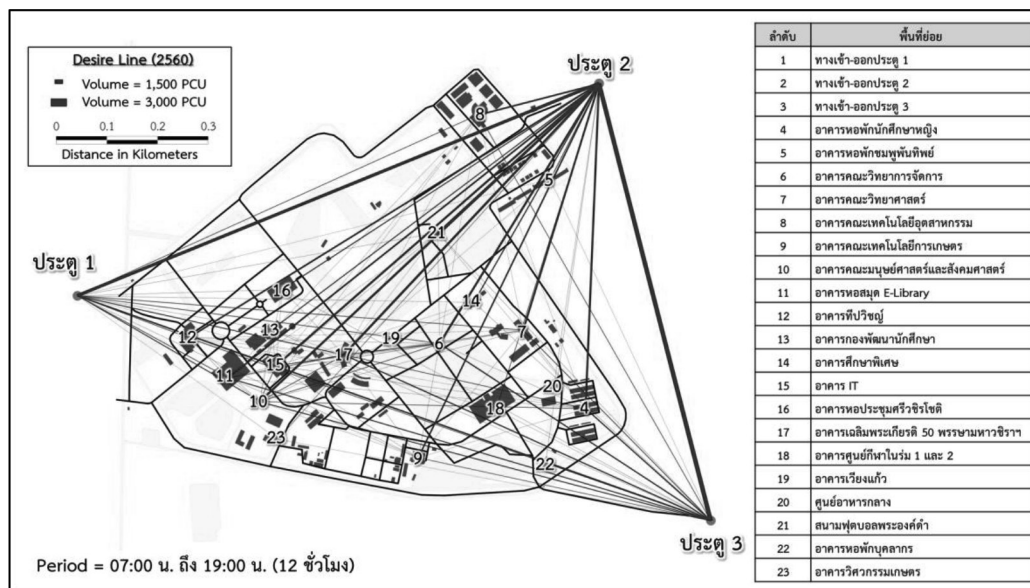


Figure 3 Travel Direction (Desire Line) in Pibulsongkram Rajabhat University

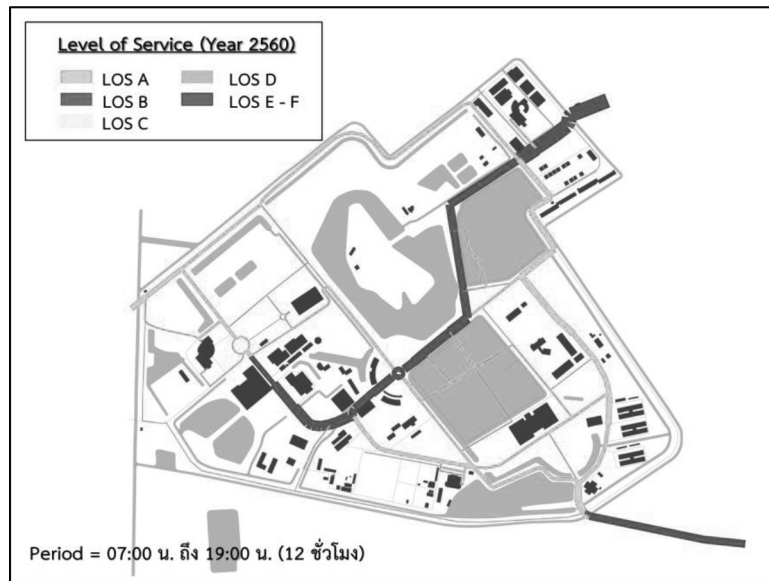


Figure 4 Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

2) ผลการพัฒนาแบบจำลอง

เมื่อนำผลสำรวจในภาคสนามมาพัฒนาและปรับเทียบแบบจำลอง ได้แบบจำลองดังนี้

1. ผลการพัฒนาแบบจำลองการเกิดการเดินทาง

(Trip Generation Model) พบว่า ปริมาณการเกิดการเดินทางและปริมาณการดึงดูดการเดินทางทั้งหมดของพื้นที่ย่อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณการรองรับผู้ใช้งาน (ที่นั่งเรียน) ซึ่งมีความสัมพันธ์ของตัวแปร (R^2) อยู่ในเกณฑ์ดี โดยมีค่า 0.8931 และ 0.7826 ตามลำดับ ส่วนผลการตรวจสอบค่าสัมประสิทธิ์ไม่เท่ากับศูนย์ (T-Test) พบว่า ผ่านเกณฑ์ โดยมีค่า 9.5812 และ 6.4568 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเกิน 1.96 ที่ช่วงความเชื่อมั่น (Level of Confident) ที่ 95 % โดยผลการพัฒนาแบบจำลองแสดงใน Table 1

Table 1 Trip Generation Model

Model	Equation	R^2	T-Statistic
Trip Production	$P_i = 0.1965 X_i + 265.7311$	0.8931	9.5812
Trip Attraction	$A_i = 0.3468 X_i + 228.4750$	0.7826	6.4568

By P_i = Total trip production of zone i, (PCU/Day)
 A_i = Total trip attraction of zone i, (PCU/Day)
 X_i = Total student seat of zone i, (Seats)

T-Statistic = Coefficient of 95 % Confidence, 2-tails $> |t_{0.025}|$ (1.96)

Remark: PCU = Passenger Car Unit

2. ผลการพัฒนาแบบจำลองการกระจายการเดินทาง

(Trip Distribution Model) พบว่า แบบจำลองแบบ Doubly Constrained Gravity Model ที่ใช้เคราะห์หาปริมาณการเดินทางระหว่างคู่โซน และ ฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

ระหว่างพื้นที่ย่อย (Exploit Form of Impedance Function) ที่ได้จากการปรับเทียบ (Calibrate) กับพฤติกรรมการเดินทางในปัจจุบัน มีรูปแบบสมการดังแสดงใน Table 2

Table 2 Trip Distribution Model

Model	Equation
Trip Distribution	$T_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot P_i \cdot A_j \cdot F(c_{ij})$
Load Impedance Function	$F(c_{ij}) = c_{ij}^{0.0002} \cdot \exp(-0.1513 \cdot c_{ij})$

By T_{ij} = Total trip from zone i to zone j, (PCU/Day)
 P_i = Total trip production of zone i, (PCU/Day)
 A_j = Total trip attraction of zone j, (PCU/Day)
 $F(c_{ij})$ = Load impedance function between zone i and zone j
 α_i, β_j = Balancing factor of row i and column j
 c_{ij} = Travel cost between zone i and zone j, (Baht)

3. ผลการพัฒนาแบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทาง

(Mode Choice Model) พบว่า แบบจำลอง ให้ค่า Likelihood Ratio Index (ρ^2) ดีที่สุด ที่ระดับ 0.3065 และสามารถอธิบายพฤติกรรมการเดินทางได้เป็นอย่างดี ดังแสดงใน Table 3

Table 3 Mode Choice Model

Model	Equation
Mode Choice	$P_n(i) = \frac{e^{U_{in}}}{\sum_{j \in C_m} e^{U_{jn}}}$
Utility function for walk	$U_w = - 0.0007 T_w$
Utility function for bike	$U_b = 0.8903 - 0.0097 T_b$
Utility function for motorcycle	$U_m = 4.0222 - 0.0650 T_m - 0.0342 C_m$
Utility function for car	$U_c = 2.2768 - 0.1145 T_c - 0.0413 C_c$
Utility function for public transport	$U_p = 1.5770 - 0.0224 T_p - 1.5770 C_p$

By $P_n(i)$ = Probability for traveller n by mode i
 U_{in} = Utility function of alternative i for traveller n
 C_m = Number of alternative
j = Alternative j (ex. walk, bike, car, etc.)
T = Travel time of alternative (Min)
C = Travel cost of alternative (Baht)

4. ผลการพัฒนาแบบจำลองการแจกแจงการเดินทาง (Trip Assignment Model) พบว่า แบบจำลอง จะแจกแจงปริมาณจราจรบนโครงข่ายระบบคมนาคมต่าง ๆ ด้วยวิธีการแจกแจงแบบ User Equilibrium โดยมีรูปแบบสมการดังแสดงใน Table 4

Table 4 Trip Assignment Model

Model	Equation
Trip Assignment	$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{V_a} C_a(\omega) d\omega$ $\sum_{r \in R_j} f_r^{ij} = q_{ij}, \forall ij \in I, J$ $f_r^{ij} \geq 0, \forall ij \in R_{ij}, ij \in I, J$

By C_a = Travel cost on link a
A = Set of a
 f_r^{ij} = Volume between zone i and zone j on route r
 q_{ij} = Trip between zone i and zone j

3) ผลการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

เมื่อนำแบบจำลองที่ได้มาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์ที่มีโครงการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่า สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม โดยผลคาดการณ์ปริมาณผู้ใช้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะ และผลคาดการณ์สภาพการจราจรของถนนและของระบบขนส่งสาธารณะในกรณีไม่มีโครงการและมีโครงการแสดงใน Table 5 และ Figure 5 ถึง Figure 7 ตามลำดับ

Table 5 Passenger Demand Forecasting of Public Transportation and Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

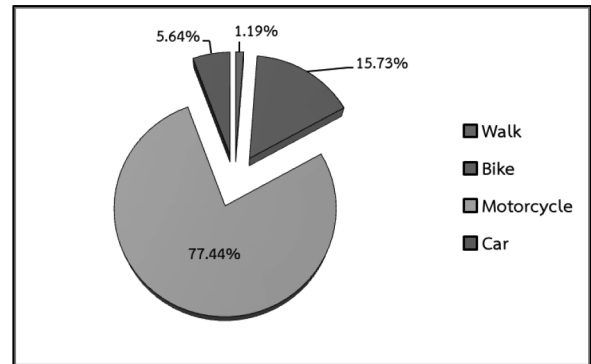
Traffic Condition	Unit	Case		Comparison
		Without Project (W/O)	With Project (W)	
Ridership (PT)	Trip/Day	-	2,143	Up 2,143
Others Trips	Trip/Day	22,777	20,634	Down 2,143
Volume	PCU/Day	14,325	12,977	Down 1,348
- Motorcycle	PCU/Day	13,353	12,408	Down 945
- Car	PCU/Day	972	569	Down 403
VKT	PCU-Km./Day	17,432	15,792	Down 1,640
VHT	PCU-Hr./Day	348	314	Down 34
Average Speed	Km./Hr.	50.04	50.29	Up 0.25
LOS	-	LOS B	LOS A	Up 1 Level

หมายเหตุ: PCU = Passenger Car Unit

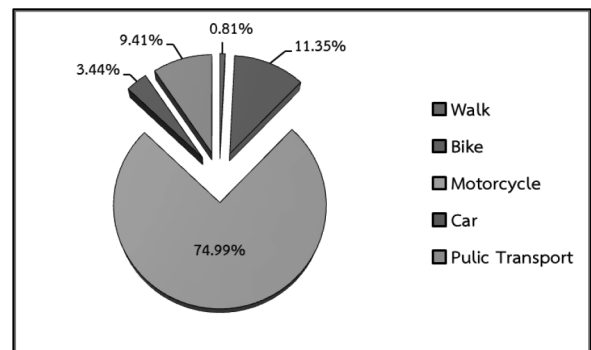
VKT = Vehicle Kilometer of Travelled

VHT = Vehicle Hour of Travelled

LOS = Level of Service



(a) Proportion of Travel Mode (Without Project)



(b) Proportion of Travel Mode (With Project)

Figure 5 Proportion of Mode Choice in Pibulsongkram Rajabhat University

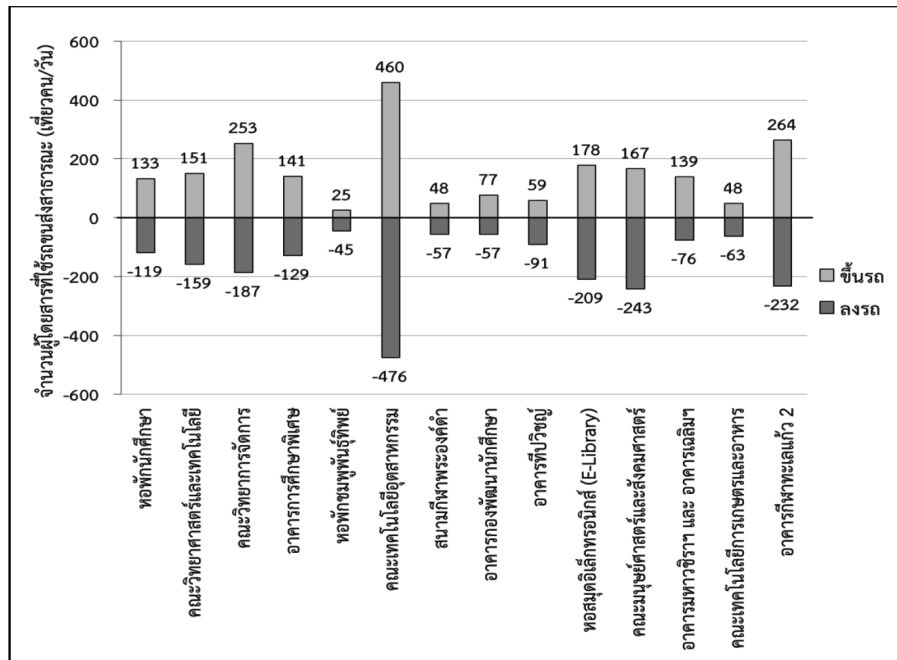
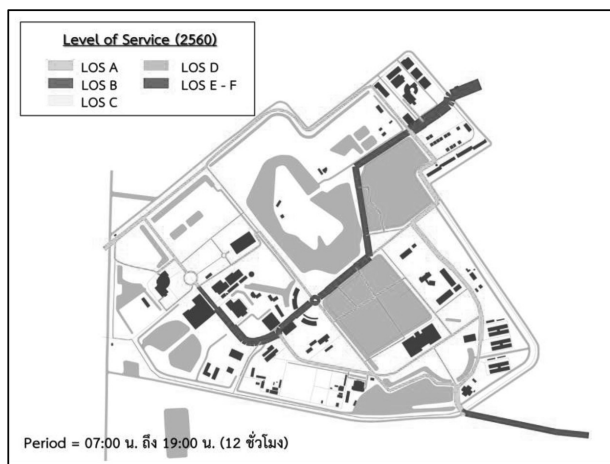
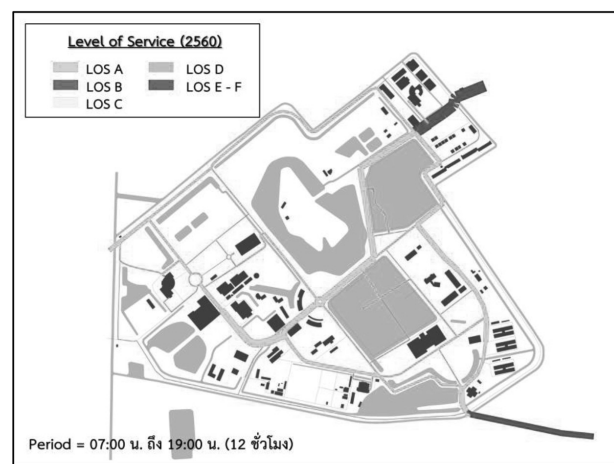


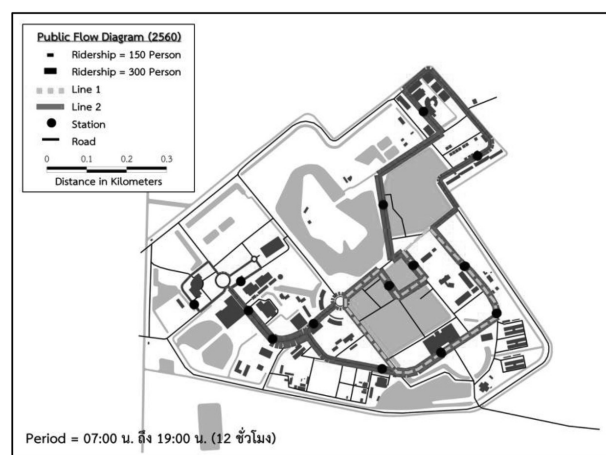
Figure 6 Passenger Demand Forecasting of Public Transportation in Pibulsongkram Rajabhat University



(a) Traffic Condition of Road Network (W/O)



(b) Traffic Condition of Road Network (W)



(c) Traffic Condition of Public Transportation

Figure 7 Traffic Condition in Pibulsongkram Rajabhat University

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัย ตามวิธีการตัดสินใจแบบต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน สามารถวิเคราะห์คาดการณ์ปริมาณผู้โดยสารที่ใช้รถขนส่งสาธารณะและวิเคราะห์สภาพการจราจรที่จะเปลี่ยนแปลงไปในมหาวิทยาลัยได้ และนำไปสู่ข้อมูลที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการลงทุนได้ โดยแบบจำลองที่พัฒนาในการวิจัยนี้มีความแตกต่างจากการศึกษาเดิม⁹⁻¹⁴ อันเนื่องมาจากสภาพบริบทของมหาวิทยาลัย ดังนี้ 1) แบบจำลองการเกิดการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) โดยมีตัวแปรต้นเป็นจำนวนที่นั่งนักเรียน เนื่องจากสามารถจำลองการเกิดการเดินทางได้ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด โดยดูได้จากค่า R^2 ที่ค่อนข้างสูง (0.8931 และ 0.7826) ซึ่งแตกต่างกับแบบจำลองการวิเคราะห์ระดับอื่นๆ ที่ส่วนใหญ่ใช้ตัวแปรต้นเป็น จำนวนประชากร และรายได้ 2) แบบจำลองการกระจายการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัด 2 ทาง (Doubly Constrained Gravity Model) เนื่องจากสามารถจำลองพฤติกรรมการเดินทางได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจุดต้นทางและปลายทางที่ได้จากการสำรวจมากที่สุด ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมาที่นิยมใช้วิธีความโน้มถ่วงแบบข้อจำกัดทางเดียว (Singly Constrained Gravity Model) และ วิธีตัวประกอบความเติบโต (Growth Factors) ส่วน 3) แบบจำลองการเลือกรูปแบบการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีวิเคราะห์โลจิสติก (Logit Method) ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์เหมือนกับการศึกษาที่ผ่านมา แต่มีค่าสัมประสิทธิ์ของสมการแตกต่างกัน และ 4) แบบจำลองการแจกแจงการเดินทางในการวิจัยนี้ใช้วิธีสมดุลของผู้เดินทางของผู้เดินทาง (User Equilibrium) ซึ่งเป็นเทคนิควิธีที่ทำให้เวลาการเดินทาง (หรือ ค่าใช้จ่าย) บนเส้นทางต่างๆ ระหว่างคู่โชนเดียวกันให้อยู่ในสภาพสมดุล และจะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าที่แท้จริง (Exact Solution) ในขณะที่การศึกษาที่ผ่านมานิยมใช้ วิธี Incremental ที่จะให้ลักษณะคำตอบเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง (Approximate Solution)

อย่างไรก็ตามเมื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองกับสถานการณ์ที่มีการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม พบว่า จะมีผู้โดยสารที่ใช้บริการรถขนส่งสาธารณะประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน หรือคิดเป็น 9.41% ของการเดินทางทั้งหมด ซึ่งจะช่วยลดการใช้รถส่วนบุคคลได้ประมาณ 2,143 เที่ยวคน/วัน หรือ 1,348 PCU/วัน โดยจะช่วยลดการใช้รถจักรยานยนต์ และ รถยนต์ประมาณ 945 PCU/วัน (2,863 คัน/วัน) และ 403 PCU/วัน (403 คัน/วัน) ตามลำดับ นอกจากนี้การพัฒนาระบบขนส่งสา

ธารณะ ยังช่วยให้สภาพการจราจรภายในมหาวิทยาลัยดีขึ้น เนื่องจากระดับการให้บริการโดยรวมเปลี่ยนจากระดับ LOS B เป็น ระดับ LOS A ซึ่งเป็นระดับการให้บริการที่กระแสรถจรมีสภาพอิสระ มีความเร็วสูง ปริมาณการจราจรน้อย ผู้ขับที่สามารถเลือกใช้ความเร็วได้อย่างอิสระ และไม่มีการจราจรติดขัด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและองค์ความรู้ต่างๆ ตลอดจนข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Richardson, B. C. (2005). Sustainable Transport: Analysis Frameworks. *Journal of Transport Geography*, 13(1), 29-39.
- Qureshi, I. A., & Lu, H. (2007). Urban Transport and Sustainable Transport Strategies: A Case Study of Karachi, Pakistan. *Tsinghua Science & Technology*, 12(3), 309-317.
- Steg, L., & Gifford, R. (2005). Sustainable Transportation and Quality of Life. *Journal of Transport Geography*, 13(1), 59-69.
- Wen, C.-H., Lan, L., & Cheng, H.-L. (2005). Structural Equation Modeling to Determine Passenger Loyalty Toward Intercity Bus Services. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1927(-1), 249-255.
- Eboli, L., & Mazzulla, G. (2007). Service Quality Attributes Affecting Customer Satisfaction for Bus Transit. *Journal of Public Transportation*, 10(3), 21-34.
- Stradling, S., Carreno, M., Rye, T., & Noble, A. (2007). Passenger Perceptions and the Ideal Urban Bus Journey Experience. *Transport Policy*, 14(4), 283-292.
- dell'Olio, L., Ibeas, A., & Cecin, P. (2010). Modelling User Perception of Bus Transit Quality. *Transport Policy*, 17(6), 388-397.

8. González-Díaz, M., & Montoro-Sánchez, Á. (2011). Some Lessons from Incentive Theory: Promoting Quality in Bus Transport. *Transport Policy*, 18(2), 299-306.
9. กรมทางหลวง. (2545). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายเชียงใหม่-เชียงใหม่, กระทรวงคมนาคม.
10. กรมทางหลวง. (2550). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการทางหลวงแนวใหม่สายเชียงใหม่-ลำพูน, กระทรวงคมนาคม.
11. กรมทางหลวง. (2553). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการทางหลวงพิเศษระหว่างเมืองสายพัทธยา-มาบตาพุด, กระทรวงคมนาคม.
12. กรมทางหลวง. (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการเร่งรัดขยายทางหลวงสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจรโครงการทางหลวงเชื่อมโยงสายลำปาง-อ.เด่นชัย จ.แพร่, กระทรวงคมนาคม.
13. Brustlin, V.H. (2007). *Transportation Demand Management Plan*, Virginia: University of Virginia.
14. Steinhoff, M. and Harpring, J. (2008). *Transportation and Sustainability on the Indiana University*, Bloomington: Bloomington Campus, Indiana University.
15. Craig, S. (2009). *A Survey of Transportation Demand Management at Colleges and Universities in British Columbia*, Camosun.
16. Comsis Corporation. (1983). *UTPS Highway Network Development Guide*, Federal Highway Administration, US Department of Transportation.
17. Ortúzar, J.D. and Willumsen, L.G. (1990). *Modeling Transport*, New York: John Wiley & Sons.
18. McFadden, D. (2001). *Economic Choices*, *American Economic Review*, vol. 91, pp. 351-378.
19. เสกสรรค์ วินยางค์กุล และคณะ. (2557). การประยุกต์ตัวแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน กรณีศึกษาการจัดการเส้นทางรถรางนำเที่ยวของเทศบาลนครเชียงใหม่. *วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 7(2), 85-97.

ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ ในผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

Factors Associated with the Intension to Receive Influenza Vaccination among Elderly People with Chronic diseases: Warinchamrab District, Ubon Ratchathani Province

ปณิตา ครองยุทธ^{1*}, จินดา คำแก้ว², ปฐวี สารระติ³, วรินรัตน์ สุขศรี³

Panita Krongyuth^{1*}, Jinda Khumkaew¹, Patawee Sarati², Wirinrat Sukaree²

Received : 5 April 2018 ; Accepted : 25 July 2018

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรังในจังหวัดอุบลราชธานี เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีแบบแผนความเชื่อ (Health Belief Model). วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Chi-Square และ Binary Logistic Regression

ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ร้อยละ 85.66 ตัดสินใจไปฉีดวัคซีน ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง คือ ระดับการศึกษา (OR=0.35; 95%CI: 0.13-0.94), โรคประจำตัว (OR=7.00; 95%CI: 2.98-16.44), การรับรู้โอกาสเสี่ยงและความรุนแรงของโรค (OR=0.43; 95%CI: 0.22-0.84), การรับรู้ประโยชน์ (OR=0.32; 95%CI: 0.14-0.71) และการรับรู้ข้อมูลข่าวสารจากสื่อต่างๆ (OR=0.12; 95%CI: 0.04-0.39)

ผลการวิจัยครั้งนี้เป็นแสดงให้เห็นว่า การให้ข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อประชาสัมพันธ์ เช่น ไลน์ โดยเน้นเรื่องความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่ รวมถึงประโยชน์ของวัคซีนโรคไข้หวัดใหญ่ จะช่วยกระตุ้นให้ผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรังเห็นความสำคัญในการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการป้องกันโดยวัคซีน

คำสำคัญ: การรับวัคซีน ผู้สูงอายุ โรคไข้หวัดใหญ่ แบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ โรคเรื้อรัง

Abstract

This study aimed to examine the factors associated with the intentions to take influenza vaccination among elderly people with chronic diseases in Ubon Ratchathani Province. A questionnaire based on the Health Belief Model was used to assess factors. Univariate and multivariate analyses were carried out by using the chi-square test and logistic regression analysis respectively.

The study found that 85.66 % of elderly people intended to take influenza vaccination (85.66 %). Factors associating with the intention to receive influenza vaccination were; education level (OR=0.35; 95%CI: 0.13-0.94), the presence of chronic diseases (OR=7.00; 95%CI: 2.98-16.44), the perceived risk of susceptibility and severity of disease (OR=0.43; 95%CI: 0.22-0.84), the perceived benefit (OR=0.32; 95%CI: 0.14-0.71) and information from social media (OR=0.12; 95%CI: 0.04-0.39).

This study suggests that publication on social media such as Line and focused on the severity of influenza and benefit of influenza vaccination may influence elderly people. They can see the importance of influenza prevention especially through influenza vaccination

Keywords: Influenza, Vaccination, Elderly, Health Belief Model, Chronic Disease

¹ วิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี

² นักศึกษาหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขชุมชน

¹ Sirindhorn College of Public Health Ubon Ratchathani

² Student, Bachelor of Public Health Major in Community Public Health,

* Corresponding Author: Panita Krongyuth, Email: cherpkg@gmail.com

บทนำ

โรคไข้หวัดใหญ่เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญ ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกรายงานว่ามีผู้ป่วยการติดเชื้อไข้หวัดใหญ่มากกว่า 400,000 ราย และเสียชีวิตเกือบ 5,000 ราย¹ โดยผู้ป่วยที่เสียชีวิตมักเป็นประชากรกลุ่มเฉพาะ ได้แก่ ผู้สูงอายุ หญิงตั้งครรภ์ เด็กเล็ก และผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัว ในประเทศไทยเมื่อปี พ.ศ. 2558 มีรายงานผู้ป่วยด้วยโรคไข้หวัดใหญ่ จำนวน 75,114 ราย อัตราป่วย 115.34 ต่อประชากรแสนเสียชีวิตจากโรคไข้หวัดใหญ่จำนวน 28 ราย อัตราป่วยตาย 0.04 ต่อแสนประชากร และยังคงพบการป่วยและตายสูงต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2559 มีผู้ป่วยด้วยโรคไข้หวัดใหญ่จำนวน 167,220 ราย และเสียชีวิตจากโรคไข้หวัดใหญ่ 44 ราย อัตราป่วยตาย 0.07 ต่อแสนประชากร² จังหวัดอุบลราชธานีเป็นจังหวัดหนึ่งที่มีรายงานอัตราป่วยด้วยโรคไข้หวัดใหญ่สูงที่สุดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในปี 2558 มีรายงานผู้ป่วยโรคไข้หวัดใหญ่จำนวน 2,365 ราย อัตราป่วย 102.39 ต่อแสนประชากร โดยพบการระบาดรุนแรงในอำเภอดอนมดแดง อำเภอวารินชำราบ และอำเภอบุณฑริก³

สถานการณ์การติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ พบว่าอัตราป่วยได้ลดลงทุกปี แต่ในปี 2559 ที่ผ่านมามีผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้นและมีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มสูงขึ้นกว่าปี พ.ศ. 2558 ประมาณ 2.15 เท่า โดยกลุ่มอายุที่เสียชีวิตมากที่สุด คือ อายุ 65 ปี อัตราป่วยตายเท่ากับร้อยละ 0.03 ในกลุ่มผู้สูงอายุ สาเหตุการเสียชีวิตส่วนใหญ่เกิดจากการติดเชื้อไข้หวัดใหญ่ชนิด A สายพันธุ์ H1 (2009) รองลงมาเป็นไข้หวัดใหญ่ชนิด A (H3N2)⁴ จำนวนอัตราผู้ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคไข้หวัดใหญ่ในภาพรวมร้อยละ 60 ยังคงเป็นผู้สูงอายุที่มีอายุ 65 ปีขึ้นไป และในกลุ่มเด็กแรกเกิดถึง 4 ปี มีอัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลสูงเป็นอันดับ 2 ในบางรายจะมีอาการรุนแรงหากได้รับเชื้อสายพันธุ์ H3N2⁴ จำนวนผู้ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจำนวนอัตราผู้ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคไข้หวัดใหญ่ในภาพรวม ร้อยละ 60 ยังคงเป็นผู้สูงอายุที่มีอายุ 65 ปี ขึ้นไป และในกลุ่มเด็กแรกเกิดถึง 4 ปี มีอัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลสูงเป็นอันดับ 2 ในบางรายจะมีอาการรุนแรงหากได้รับเชื้อพันธุ์ H3N2⁵

การฉีดวัคซีนป้องกันที่ดีที่สุดที่ป้องกันไข้หวัดใหญ่⁶ องค์การอนามัยโลกแนะนำควรฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่โดยเฉพาะกลุ่มเสี่ยงต่าง ๆ โดยเฉพาะกลุ่มผู้สูงอายุและกลุ่มผู้ป่วยเรื้อรัง 7 กลุ่ม ได้แก่ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง หอบหืด หัวใจ ไตวาย หลอดเลือดสมอง เบาหวาน และผู้ป่วยมะเร็งที่ได้รับการบำบัด เพื่อลดอัตราป่วย⁷ จากการศึกษาของพจนานและคณะ⁷ ได้ศึกษาประสิทธิผลของวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่

ในผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรังจังหวัดพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2551-2552 พบว่าการฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ ช่วยลดอัตราการนอนโรงพยาบาลจากโรคไข้หวัดใหญ่ และโรคที่มีภาวะแทรกซ้อนรุนแรงโดยเฉพาะปอดบวม ปอดอักเสบ และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเจ็บป่วยด้วยโรคไข้หวัดใหญ่ซึ่งส่งผลทำให้โรคเรื้อรังที่อยู่มีอาการเลวร้ายลงได้

ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยจึงได้กำหนดแบบแผนยุทธศาสตร์และนโยบายเตรียมความพร้อมกับการป้องกันโดยบริการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ฟรีสำหรับผู้สูงอายุโดยมีเป้าหมายร้อยละ 90 ของผู้สูงอายุอายุ 65 ปีขึ้นไปมารับบริการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ตามฤดูกาล ซึ่งผลการดำเนินงานในการให้บริการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ในปี พ.ศ. 2558 พบว่า ร้อยละ 65.3 ของผู้สูงอายุอายุ 65 ปีขึ้นไปมารับบริการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ตามฤดูกาล ซึ่งผลการดำเนินงานต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้⁸ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าสาเหตุที่เกี่ยวข้องการตัดสินใจฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ คือปัจจัยส่วนบุคคลและการรับรู้^{9,10,11}

การศึกษาครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจมารับวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ในผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง โดยใช้กรอบแนวคิดจากทฤษฎีแบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ The Health Belief Model¹² ได้แก่ ปัจจัยร่วม (Modification Factor) การรับรู้โอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคและการรับรู้ความรุนแรงของการเกิดโรค (Perceived to disease severity and disease severity) และปัจจัยชักนำให้เกิดการปฏิบัติตัว (Cue to Action) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่การฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง ตามนโยบายของกระทรวงสาธารณสุข ในการป้องกันการระบาดของโรคไข้หวัดใหญ่ในผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรัง และลดอัตราป่วยและอัตราการตายของประชากร

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ภาคตัดขวาง (Cross-Sectional research study) โดยประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ผู้สูงอายุที่มีอายุตั้งแต่ 65 ปี ขึ้นไปที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าป่วยเป็นโรคเรื้อรังอาศัยในอำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี คำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรคำนวณขนาดตัวอย่างของ Hsieh¹³ ได้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 300 คน และคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติ ดังนี้ 1) ผู้สูงอายุ 65 ปีขึ้นไป, 2) ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่าป่วยเป็นโรคเรื้อรัง 7 กลุ่มโรค ได้แก่ โรคเบาหวาน โรคไตเรื้อรัง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง หอบหืด โรคหลอดเลือดสมอง โรคหัวใจ

และโรคเมะเร็งที่อยู่ระหว่างการได้รับเคมีบำบัด โดยอาจมีโรคใดโรคหนึ่งหรือหลายโรครวมกันได้, 3) สามารถอ่านออก เขียนหรือสื่อสารภาษาไทยได้ และ 4) มีความสมัครใจและยินดีให้ความร่วมมือในการศึกษา เก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ (face to face interview) โดยใช้แบบสอบถามโดยการศึกษานี้ได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการวิจัยในมนุษย์จากวิทยาลัยการสาธารณสุขสิรินธร จังหวัดอุบลราชธานี เลขที่ SCPHUB S002/2559

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยพัฒนามาจากณิชากรันต์ พิภูล¹⁴ ประกอบด้วย 6 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคล ส่วนที่ 2 การรับรู้โอกาสเสี่ยงและความรุนแรงของโรค ส่วนที่ 3 การรับรู้ประโยชน์ของการป้องกันโรค ส่วนที่ 4 การรับรู้อุปสรรคของการป้องกันโรค ส่วนที่ 5 ปัจจัยชักนำให้มีการตัดสินใจมาฉีดวัคซีน และส่วนที่ 6 การตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ จำนวน 1 ข้อ โดยให้เลือกตอบ ไปฉีดวัคซีน ไม่ไปฉีดวัคซีน และไม่แน่ใจ โดยแบบสอบถามมีค่าความเชื่อมั่นระหว่าง 0.75 - 0.79

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS ใช้สถิติเชิงพรรณนา แสดงผลร้อยละ ค่าเฉลี่ย (Means) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และสถิติวิเคราะห์ (Analysis Statistics) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ทางสถิติมาวิเคราะห์ต่อโดยใช้การวิเคราะห์แบบถดถอยโลจิสติก (Binary Logistic Regression) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลพื้นฐาน

ผู้สูงอายุส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 67.0 อายุน้อยกว่า 69 ปี ร้อยละ 56.3 สมรส ร้อยละ 91.7 ได้รับการศึกษา ร้อยละ 91.7 ไม่ได้ประกอบอาชีพ ร้อยละ 50.7 ไม่สูบบุหรี่ ร้อยละ 88.0 ไม่ดื่มสุรา ส่วนใหญ่มี มีประวัติเคยรับวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ และร้อยละ 83.3 ป่วยเป็นโรคเบาหวาน (Table 1)

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจไปฉีดวัคซีน พบว่า การศึกษา อาชีพ และโรคเรื้อรังมีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจไปฉีดวัคซีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) (Table 1)

Table 1 Demographic characteristic of Elderly people with chronic diseases

Variable	Vaccinated n (%) n = 257	Unvaccinated n (%) n = 43	Total n (%) n=300	p-value
Gender				0.182
Male	81(31.5)	18(41.9)	99 (99.0)	
Female	176(68.5)	25(58.1)	201(67.0)	
Age Group				0.191
≤ 69	157 (61.1)	12 (27.9)	169 (56.3)	
70-79	75 (29.2)	21 (48.8)	96 (32.0)	
≥ 80	25 (9.7)	10 (23.3)	35 (11.7)	
Mean=69.49, SD. =6.88,				
Marital Status				0.112
Single	8(3.1)	3(7.0)	11 (3.7)	
Married	171(66.5)	22 (51.2)	193 (64.3)	
Widowed/ Divorced	78 (29.4)	18 (41.8)	93 (32.0)	
Education				0.001*
No	15 (5.8)	10 (23.3)	25 (8.3)	
Yes	242 (94.2)	33 (76.7)	275 (91.7)	

Table 1 Demographic characteristic of Elderly people with chronic diseases (continue)

Variable	Vaccinated n (%) n = 257	Unvaccinated n (%) n = 43	Total n (%) n=300	p-value
Occupation				0.002*
No	121 (47.1)	31(72.1)	152 (50.7)	
Yes	136(52.9)	12(27.9)	148 (49.3)	
Smoking Diseases				0.182
Non smoker	230 (89.5)	34 (79.1)	264 (88.0)	
Smoker	27 (10.5)	9 (20.9)	26(12.0)	
Alcohol Intake				0.189
No	228 (88.7)	35 (81.4)	263(87.7)	
Yes	29 (11.3)	8 (18.6)	37 (12.3)	
Influenza Vaccine in any of the previous seasons				0.282
No	23 (8.9)	11 (25.6)	34 (11.3)	
Yes	234 (91.1)	32 (74.4)	266 (88.7)	
Presence Chronic Diseases				0.000*
Diabetes	228 (88.7)	22 (7.3)	250 (83.3)	
Others	29 (11.3)	21 (7.0)	50 (16.7)	
CKD	9 (3.5)	11 (25.7)	20 (6.7)	
Asthma	9 (3.5)	4 (9.3)	13 (4.3)	
Hearth Disease	7 (2.7)	3 (6.9)	10 (3.3)	
COPD	2 (0.8)	3 (6.9)	5 (1.7)	
Cancer	2 (0.8)	0 (0.0)	2 (0.7)	

*p-value by Chi Square test

2. การรับรู้เกี่ยวกับโรคและวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ พบว่า ผู้สูงอายุมีระดับการรับรู้ความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (35.07 ± 4.54) และการรับรู้ประโยชน์ในการมารับวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่อยู่ในระดับปานกลาง (41.56 ± 4.48) ส่วนการรับรู้อุปสรรคในการมารับวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่อยู่ในระดับต้องปรับปรุง (29.83 ± 4.93) (Table 2)

การรับรู้ด้านที่มีความสัมพันธ์กับการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ คือ การรับรู้ความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่และการรับรู้ประโยชน์ (p-value

< 0.05 และคะแนนเฉลี่ยด้านการรับรู้ พบว่า กลุ่มที่ตัดสินใจฉีดวัคซีนจะมีคะแนนเฉลี่ยการรับรู้ความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่สูงกว่ากลุ่มที่ตัดสินใจไม่ฉีดวัคซีน เท่ากับ 35.53 ± 4.34 และ 31.16 ± 4.15 ตามลำดับ และคะแนนเฉลี่ยการรับรู้ประโยชน์ พบว่า กลุ่มที่ตัดสินใจไปฉีดวัคซีนสูงกว่ากลุ่มที่ตัดสินใจไม่ไปฉีดวัคซีน เท่ากับ 45.35 ± 5.00 และ 40.74 ± 3.48 ตามลำดับ ส่วนการรับรู้อุปสรรค พบว่า กลุ่มที่ตัดสินใจไม่ไปฉีดวัคซีนมีคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่ตัดสินใจไปฉีดวัคซีน เท่ากับ 31.55 ± 4.46 และ 29.67 ± 5.04 ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Perceptions about Vaccination and Intention to Obtain Influenza Vaccination

Variable	Vaccinated n (%) n = 257	Unvaccinated n (%) n = 43	Total n (%) n = 300	p-value
Perception of Risk and Severity				0.000*
Good	34 (13.2)	23 (53.5)	57 (19.0)	
Moderate	140(54.5)	16 (37.2)	156 (52.0)	
Poor	83 (32.3)	4 (9.3)	87(29.0)	
Mean ± SD	35.53±4.34	31.16±4.15	35.07±4.54	
Perception of Benefit				0.001*
Good	22 (8.6)	15 (34.9)	37 (12.3)	
Moderate	174 (67.7)	27 (62.8)	201(67.0)	
Poor	61 (23.7)	1 (2.3)	62 (20.7)	
Mean ± SD	45.35± 5.00	40.74±3.48	41.56±4.48	
Perception of Barriers				0.224
Good	29 (11.3)	3 (8.0)	32 (12.3)	
Moderate	198 (77.0)	29 (67.4)	201 (67.0)	
Poor	30 (11.7)	11 (24.6)	62 (20.7)	
Mean ± SD	29.67±5.04	31.55±4.46	29.83±4.93	

*p-value by Chi Square test

ในกลุ่มผู้ที่จะไปรับวัคซีนพบว่า สิ่งชักนำที่ทำให้ตัดสินใจไปฉีดวัคซีนคือ การสนับสนุนวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ฟรีจากกระทรวงสาธารณสุข (ร้อยละ 98.4) รองลงมาคือ การประชาสัมพันธ์ที่ดี (ร้อยละ 97.7) และได้รับการรณรงค์จากสื่อต่างๆ (ร้อยละ 96.5) ตามลำดับ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจไปฉีดวัคซีน พบว่า การสนับสนุนวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ฟรีจากกระทรวงสาธารณสุข การประชาสัมพันธ์ที่ดี การได้รับข้อมูลข่าวสารจากสื่อ และการเดินทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.05) (Table 3)

Table 3 Clues to Action and Intention to Obtain Influenza Vaccination (n = 300)

Variable	Vaccinated n (%) n = 257	Unvaccinated n (%) n = 43	p-value
Free Vaccination	253 (98.4)	4 (1.6)	0.004*
Advice and Social Support	251 (97.7)	6 (2.3)	0.000*
Information from Social Media	248 (96.5)	9 (3.5)	0.000*
Health Behavior	243 (94.6)	14 (38.5)	0.325
Access to Health Care Setting	158 (61.5)	99 (38.5)	0.033*

*p-value by Chi Square test

3. การวิเคราะห์ Logistic Regression Analysis

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ โดยใช้การวิเคราะห์ Logistic Regression ด้วยวิธี Enter โดยเลือกตัวแปรต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนไปฉีดวัคซีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) จากการใช้สถิติทดสอบไคสแควร์ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัด

ใหญ่ของผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรัง ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ การศึกษา (OR=0.27, 95%CI = 0.10 - 0.75) โรคประจำตัว (OR=7.00, 95%CI=2.98 - 16.44) การรับรู้โอกาสเสี่ยงและความรุนแรงของโรค (OR=0.43, 95% CI = 0.22 - 0.84) การรับรู้ประโยชน์ (OR=0.32, 95% CI = 0.14 - 0.71) และการรณรงค์จากสื่อต่างๆ (OR = 0.12, 95%CI = 0.04 - 0.039) (Table 4)

Table 4 Factors affecting to with Intention to Obtain Influenza Vaccination

Factors	OR	95%CI	p-value
Education	0.27	0.10 - 0.75	0.003*
Occupation	0.51	0.22 - 1.15	0.101
Chronic Diseases	7.00	2.98 - 16.44	0.000*
Perception of Risk and Severity	0.43	0.22 - 0.84	0.010*
Perception of Benefit	0.32	0.14 - 0.71	0.005*
Free Vaccination	0.30	0.06-1.50	0.142
Good Public Relation	0.33	0.07-1.47	1.491
Information from Social Media	0.12	0.04 - 0.39	0.000*
Transportations	1.18	0.55-2.52	0.631

* Binary Logistic Regression (p -value<0.05)

อภิปรายผล

ในการศึกษารั้งนี้ พบว่า ผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรังมีอัตราการตัดสินใจไปฉีดวัคซีน ร้อยละ 85.66 ซึ่งเป็นไปตามนโยบายที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ ความครอบคลุมของการได้รับวัคซีนร้อยละ 75 ของผู้สูงอายุตั้งแต่ 65 ปีขึ้นไปที่เป็นกลุ่มเสี่ยง 7 โรคได้รับบริการวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ อาจจะเป็นเพราะการให้บริการเชิงรุก โดยการส่งจดหมายเชิญ หรือการแจ้งผ่านเครือข่ายอาสาสมัครสาธารณสุขชุมชน และการประชาสัมพันธ์เชิญชวนให้บริการฉีดวัคซีนตามสื่อต่างๆ ซึ่งใกล้เคียงกันกับอัตราการยอมรับการฉีดวัคซีนในประเทศจีน งานวิจัยของ ธนชัยและคณะ¹⁵ พบว่าผู้สูงอายุไปรับวัคซีนร้อยละ 67.9 และสอดคล้องกับงานวิจัยของมนัสนันท์และคณะ¹⁶ พบว่าอัตราการยอมรับวัคซีนไขหวัดใหญ่ ร้อยละ 65.4

ผู้สูงอายุที่ได้รับการศึกษามีผลต่อการตัดสินใจไปฉีดวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่มากกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการศึกษา 3.5 เท่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผู้สูงอายุที่ได้รับความรู้ก็มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับโรคไขหวัดใหญ่ การป้องกันโรคไขหวัดใหญ่และประสิทธิภาพของวัคซีนเพื่อป้องกันโรคไขหวัดใหญ่¹⁷ ส่งผลให้ผู้สูงอายุเกิดความตระหนักและเตรียมพร้อมป้องกันตนเองเพื่อไม่ให้ป่วยเป็นโรคไขหวัดใหญ่ด้วยการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ อาจกล่าวได้ว่าผู้ที่ได้รับการศึกษา

จะมีความมั่นใจและเข้าถึงแหล่งของข้อมูล รวมถึงมีความมั่นใจในการสอบถามบุคลากรทางสาธารณสุขในเรื่องวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่^{18,19} สอดคล้องกับการศึกษาของ Zheng et al.²⁰ พบว่า ระดับการศึกษามีความสัมพันธ์กับการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ Yu et al²¹ พบว่ากลุ่มที่ปฏิเสธการฉีดวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ เนื่องจากขาดความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการฉีดวัคซีนไขหวัดใหญ่

ผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัว โดยเฉพาะโรคเบาหวาน มีโอกาสที่จะตัดสินใจไปฉีดวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่มากกว่าผู้สูงอายุที่มีโรคประจำตัวอื่นๆ ถึง 7 เท่า เพราะผู้สูงอายุที่ได้รับความรู้เกี่ยวกับโรคเบาหวาน รวมถึงประสิทธิภาพของวัคซีนและอาการข้างเคียงของวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ ซึ่งใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ Yu et al²¹ ที่ศึกษาการฉีดวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ในผู้ป่วยโรคเบาหวานในได้หวั่น โดยเก็บข้อมูลในปี 2009-2010, 2010-2011, 2011-2012 พบว่า อัตราการฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ เท่ากับ 31, 33 และ 35 ตามลำดับ

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจไปฉีดวัคซีนป้องกันโรคไขหวัดใหญ่ในผู้สูงอายุ โดยการประยุกต์ใช้แบบแผนความเชื่อด้านสุขภาพ (Health Belieed Model) พบว่า การรับรู้ภาวะเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไขหวัดใหญ่และการรับรู้ประโยชน์ของการฉีดวัคซีนป้องกันไขหวัดใหญ่ มี

อิทธิพลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ในผู้สูงอายุ ส่วนการรับรู้อุปสรรคไม่มีผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ ซึ่ง Becker¹² ได้กล่าวไว้ว่า “บุคคลที่มีการรับรู้และโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคและรับรู้ถึงความรุนแรงของโรคจะเห็นความสำคัญของการมีสุขภาพดี โดยให้ความร่วมมือในการปฏิบัติตนเพื่อป้องกันโรคและส่งเสริมสุขภาพ” ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของโชติระวี อินจำปา²² เรื่องปัจจัยการทำงานการยอมรับวัคซีนป้องกันโรคมะเร็งจากเชื้อ ไวรัสเอชพีวี (Human Papilloma Virus) ในกลุ่มชายรักชาย พบว่าการรับรู้โอกาสเสี่ยงและการรับรู้ความรุนแรง มีความสัมพันธ์ทางบวกกับการยอมรับวัคซีนป้องกันมะเร็งจากเชื้อ HPV

ปัจจัยชักนำที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ พบว่าการรณรงค์การฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ผ่านสื่อประชาสัมพันธ์ มีอิทธิพลกับการตัดสินใจฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่ ซึ่งแบบแผนความเชื่อมีความสมบูรณ์นั้นจะต้องพิจารณาถึงสิ่งชักนำให้เกิดการปฏิบัติซึ่งมี 2 ด้าน คือ สิ่งชักนำภายในหรือสิ่งกระตุ้นภายใน (Internal Cues) ได้แก่ การรับรู้สภาวะของร่างกายตนเอง เช่น อาการของโรคหรือ การเจ็บป่วย ส่วนสิ่งชักนำภายนอกหรือสิ่งกระตุ้นภายนอก (External Cues) ได้แก่ การให้ข่าวสารผ่านทางสื่อมวลชนหรือการเตือนจากบุคคลที่เป็นที่ไปรับบริการฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ และงานวิจัยที่ชี้ให้เห็นว่า การประชาสัมพันธ์และการรณรงค์ผ่านสื่อโดยชี้ให้เห็นถึง ประโยชน์ของวัคซีนและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่ เป็นทางเลือกที่ดีในการกระตุ้นให้ผู้สูงอายุเห็นความสำคัญของฉีดวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่²⁴

ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับการตัดสินใจไปรับวัคซีนของผู้สูงอายุที่ป่วยด้วยโรคเรื้อรัง และเป็นแนวทางในการดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัย คือ

1. หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรมีการให้ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับโรคไข้หวัดใหญ่และการฉีดวัคซีนเพิ่มเติม โดยเน้นให้เกิดการรับรู้โอกาสเสี่ยงและความรุนแรงของโรครวมไปถึงอาการข้างเคียงของวัคซีน การปฏิบัติตนเมื่อมีอาการสงสัยว่าเป็นโรคไข้หวัดใหญ่ ผ่านช่องทางสื่อสารให้ถึงตัวผู้สูงอายุในชุมชนมากขึ้น (เสียงตามสาย) และควรเน้นในกลุ่มผู้สูงอายุที่ไม่เคยรับวัคซีนไข้หวัดใหญ่มาก่อนให้เกิดความมั่นใจในความปลอดภัยของวัคซีน

2. การเปิดโอกาสผู้สูงอายุแสดงความคิดเห็นหรือการประเมินความพึงพอใจต่อขั้นตอนการให้บริการการฉีดวัคซีน เพื่อปรับปรุงการให้บริการฉีดวัคซีนในปีต่อไป

3. การรณรงค์ประชาสัมพันธ์ผ่านสื่อประชาสัมพันธ์ เช่น ไลน์ โดยเน้นเรื่องความเสี่ยงและความรุนแรงของโรคไข้หวัดใหญ่ รวมถึงประโยชน์ของวัคซีนโรคไข้หวัดใหญ่ จะช่วยกระตุ้นให้ผู้สูงอายุที่ป่วยเป็นโรคเรื้อรังเห็นความสำคัญในการป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่

การวิจัยที่ควรศึกษาต่อไปในอนาคต

1. ผลการวิจัยในเรื่องนี้ พบว่ากลุ่มที่เคยฉีดวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ตัดสินใจไม่ไปฉีดวัคซีน ดังนั้นควรมีการศึกษาเชิงคุณภาพ เพื่อศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องการรับรู้ด้านต่างๆ ที่เกี่ยวกับโรคและวัคซีนป้องกันไข้หวัดใหญ่
2. ควรทำการศึกษาวิเคราะห์ผลแยกในแต่ละกลุ่มโรค ให้มีความจำเพาะยิ่งขึ้น อาจทำให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการวางแผนพัฒนาการให้บริการวัคซีนได้ตรงจุดและเหมาะสมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการจัดทำแผนยุทธศาสตร์โรคติดต่ออุบัติใหม่แห่งชาติ. แผนยุทธศาสตร์และนโยบายเตรียมความพร้อมกับการป้องกัน และแก้ไขปัญหาโรคติดต่ออุบัติใหม่แห่งชาติ (พ.ศ. 2556-2559). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มณฑุสการณการเกษตรแห่งประเทศไทย. 2555.
2. กลุ่มวิชาการและเตรียมความพร้อมฉุกเฉิน สำนักงานโรคติดต่ออุบัติใหม่ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. สถานการณ์โรคไข้หวัดใหญ่. สืบค้นจาก http://beid.ddc.moph.go.th/beid_2014/sites/default/files/flu_weekly_report_35_-_59.pdf. 4 พฤศจิกายน 2559.
3. งานระบาดวิทยา กลุ่มงานควบคุมโรค สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี. สถานการณ์โรคติดต่อภัยสุขภาพที่เป็นปัญหาในจังหวัดอุบลราชธานี. สืบค้นจาก www.cdc.phoubon.in.th. สืบค้นเมื่อวันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2560
4. สำนักโรคติดต่ออุบัติใหม่ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข (ม.ป.ป.). รายงานการพยากรณ์โรคและภัยสุขภาพ กรณีโรคไข้หวัดใหญ่ในประเทศไทย ปี 2559. สืบค้นจาก http://odpc12.ddc.moph.go.th/dpc_12/data/Download/D21958.pdf. 18 มกราคม 2559
5. Center for Disease Control and Prevention (CDC). Prevention and control of influenza recommendations of the advisory committee on Immunization Practices (ACIP), 2010. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2010; 57: 1-60
6. กองโรคป้องกันด้วยโรควัคซีน กรมควบคุมโรค. แนวทางการดำเนินงานให้บริการวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่

- ตามฤดูกาล พ.ศ. 2560
7. พจมาน ศรีอารยภรณ์, จงกล เลิศเรียวรัง, เบญจวรรณ ระลึก, และคณะ การศึกษาประสิทธิผลของวัคซีนป้องกัน ไข้หวัดใหญ่ในผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรังจังหวัดพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2551-2552. รายงานการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา ประจำสัปดาห์.
 8. สำนักโรคติดต่ออุบัติใหม่ กรมควบคุมโรค กระทรวง สาธารณสุข (ม.ป.ป.). รายงานการพยากรณ์โรคและภัย สุขภาพ กรณีโรคไข้หวัดใหญ่ในประเทศไทย ปี 2559. สืบค้นจาก http://odpc12.ddc.moph.go.th/dpc_12/data/Download/D21_9_58.pdf. 18 มกราคม 2559.
 9. Vlahov D, Bond KT, Jones KC, Ompad DC. Factors associated with differential uptake of seasonal influenza immunizations among underserved communities during the 2009-2010 influenza season. *J Community Health*. 2012; 37(2): 282-287.
 10. World Health Organization (WHO). Barriers of influenza vaccination intention and behaviors-A systematic review of influenza vaccine hesitance 2005-2016. Available from: URL: http://www.who.int/influenza_vaccines_plan/news/gab3_Nov16/en/. Accessed on 16 January 2016.
 11. Yeung MP, Lam FLY, Coker R. Factors associated with the uptake of seasonal influenza vaccination in adults: a systematic review. *J Public Health*. 2016; 38(4): 746-753.
 12. Backer MH. The Health Belief Model and personal health behavior. *Health Education Monographs*. 1974; 2: 324-508.
 13. Hsieh FY. Sample size formulae for intervention studies with the cluster as unit of randomization. *Statistics in Medicine*. 1988; 7(11): 1195-1201.
 14. นิชาภานต์ พิกุล. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจฉีดวัคซีนไข้หวัดใหญ่ของบุคลากรสาธารณสุขอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยพะเยา. 2555.
 15. ธนชัย แสนล้ง, กรกช สร้อยทอง, กฤษณา ทวีทรัพย์, ชีรินทร์ ลาน้ำเที่ยง, ภฤศ อารีย์สว่างวงศ์, วรณิศา โกมลไพศาล และคณะ. ปัจจัยที่สัมพันธ์กับการได้รับวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ของบุคลากรสังกัดคณะ แพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. *ศรีนครินทร์เวชสาร*. 2556; 28(2): 229-238.
 16. มั่นสนันท์ ธนวิกรานต์กุล, นวรัตน์ สุวรรณผ่อง, มธุรส ทิพย์ มงคลกุล และนพพร โหวธีระกุล. การยอมรับวัคซีนป้องกันโรคไข้หวัดใหญ่ตามฤดูกาลของบุคลากรทางการแพทย์ในโรงพยาบาลระดับตติยภูมิแห่งหนึ่ง กรุงเทพมหานคร. *วารสารการพยาบาล*. 2558; 17(2): 15-30.
 17. Kwong EW, Lam IO, Chan TM. What factors affect influenza vaccine uptake among community-dwelling older Chinese people in Hong Kong general outpatients clinic? *J Clin Nurs*. 2009; 18; 960 -971.
 18. VanEssen GA, Palache AM, Forleo E, Fedson DS. Influenza vaccination in 2000: Recommendations and vaccine use in 50 developed and rapidly developing countries *Vaccine*. 2003; 21: 1780-1785.
 19. Zimmerman RK, Mieczkowski TA, Wilson SA. Immunization rates and beliefs among elderly patients of inner-city neighborhoods health centers. *Health Promot Pract*. 2002; 3: 197-2006.
 20. Zheng Y, Yang P, Wu S et al. (2013). A Cross-sectional study of factors associated with uptake of vaccination against influenza among older residents in the post pandemic season in Beijing, China. *BMJ Open*. 2013; 34(20): 2329-2333.
 21. Yu MC, Chou YL, Lee PL, Yang YC, Chen KT. Influenza vaccination coverage and factors affecting adherence to influenza vaccination among patients with diabetes in Taiwan. 2014. *Hum Vaccin Immunother*; 10(4): 1028-1035.
 22. โชติระวี อินจำปา. ปัจจัยการทำงานการยอมรับวัคซีนป้องกันโรคเริมจากเชื้อ HPV ในชายรักชาย. *วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีกองเทพ*. 2554; 20(1): 10-20
 23. Matsui D, Shigeta M, Ozasa K, Kuriyama N, Watanabe I, Watanabe. Factors associated with Influenza Vaccination Status of Residents of a Rural Community in Japan. 2011; 11: 149-158.
 24. Malosh R, Ohmit SE, Petrie JG, Thompson MG, Aiello AE, Monto AS. Factors associated with influenza vaccine receipt in community dwelling adults and their children. *Vaccine*. 2014; 32(16): 1841-1847.

ความชุกของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กในจังหวัดอุบลราชธานี

The Prevalence of Musculoskeletal Pain and Factors Related to Musculoskeletal Disorders Among Small Drivers of Buses in Ubon Ratchathani Province.

บุษบา บุญทน¹, ลักษณีย์ บุญขาว^{2*}

Butsaba Bunthon¹, Laksanee Boonkhao^{2*}

Received : 8 June 2018 ; Accepted : 1 August 2018

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก และหาปัจจัยเสี่ยงที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกในคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก 10 สายเดินรถ จำนวน 100 คน ในเขตตัวเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี เก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ สถิติ Chi-square ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเสี่ยงและการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกอันเนื่องมาจากการทำงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และคำนวณ Odd Ratio พร้อมประมาณช่วงเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ด้วยสถิติ Simple logistic regression กำหนดระดับนัยสำคัญของการประมาณค่าที่ 0.05 ผลการศึกษาพบว่าคนขับรถมีอาการผิดปกติของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก ร้อยละ 56.0 (95%CI=46.0-65.0) โดยบริเวณอวัยวะที่มีอาการผิดปกติ มากที่สุด คือ หลังส่วนล่าง ร้อยละ 30.4 (95%CI=10.0-25.0) รองลงมา คือ สะโพกต้นขาและเข่า ร้อยละ 26.8 (95%CI=8.0-23.0) และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก ได้แก่ ดัชนีมวลกายระหว่าง 25.0 ถึง 29.9 (OR=7.2, 95%CI=2.14-24.23) และลักษณะการทำงานที่ทำการยกสัมภาระของผู้โดยสารห่างจากลำตัว (OR=3.6, 95%CI=1.38-9.44) ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ควรมีการส่งเสริมให้ความรู้กับคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก เกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้องและเหมาะสม รวมถึงส่งเสริมให้มีกิจกรรมการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับกล้ามเนื้อสามารถลดความรุนแรงของอาการบาดเจ็บได้

คำสำคัญ: ปัจจัยเสี่ยง การเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก จังหวัดอุบลราชธานี

Abstract

This investigated the prevalence of musculoskeletal pain and factors related to musculoskeletal disorders among 100 small drivers of busses at ten stations in Ubon Ratchathani Province. Data were collected using a questionnaire. Chi-square analysis was used to determine the correlation coefficient between risk factors and musculoskeletal disorders due to work at significant level 0.05 and Odd Ratio was calculated at 95 percent confidence interval of the correlated factors by using simple logistic regression coefficients with set at 0.05. The study found that small bus drivers had musculoskeletal disorders at 56.0% (95%CI=46.0-65.0). The most abnormal organs were lower back; 30.4 %

¹ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาสาธารณสุขศาสตร์, ² อาจารย์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี 34190

¹ Bachelor degree student, ² Lecturer, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani 34190, Thailand.

* Email: luksanee.b@ubu.ac.th

(95%CI=10.0-25.0), hips and knees; 26.8% (95%CI=8.0-23.0) and factors related with musculoskeletal disorders include body mass index between 25.0 to 29.9 (OR = 7.2, 95%CI = 2.14-24.23), and the behavior of small bus drivers who lifted passenger luggage far away from their body (OR = 3.61, 95%CI = 1.38-9.44). Therefore the concern agencies should promote a basis knowledge of work posture correction include regular exercise activities for strengthening and increase flexibility of the driver muscles that could be reduce the severity of injuries.

Keywords: Risk factor, Musculoskeletal disorders, Small bus drivers, Ubon Ratchathani Province

บทนำ

จังหวัดอุบลราชธานีมีแหล่งท่องเที่ยวที่เป็นที่รู้จักมากมาย ทั้งแหล่งท่องเที่ยวทางศาสนาและวัฒนธรรม และแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ทำให้เศรษฐกิจของจังหวัดมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง มีประชากรเพิ่มจำนวนมากขึ้นทุกปีจึงเป็นเหตุให้ระบบขนส่งมวลชนและการคมนาคมได้รับการพัฒนามากขึ้นเช่นเดียวกัน การขนส่งในเมืองอุบลราชธานีจำเป็นต้องรองรับจำนวนประชากรและภาคธุรกิจอุตสาหกรรมที่เติบโต การขนส่งที่ติจะช่วยให้การเดินทางมีความต่อเนื่องไม่ติดขัดหรือเสียเวลา ทำให้การประกอบกิจกรรมต่างๆ สามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่องและคล่องตัว ดังนั้นการขนส่งจึงส่งผลต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของจังหวัดอุบลราชธานีในภาพรวมด้วย การขนส่งทางบกในจังหวัดอุบลราชธานีมีหลายวิธี เช่น รถประจำทาง รถไฟ รถแท็กซี่ รถตุ๊กตุ๊ก และรถจักรยานยนต์ เป็นต้น สำหรับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กเป็นการโดยสารสาธารณะของผู้โดยสารกลุ่มเล็กๆ มีผู้โดยสารไม่เกิน 12 ที่นั่ง ซึ่งผู้ประกอบอาชีพขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กนี้จัดเป็นแรงงานนอกระบบอยู่นอกขอบเขตที่จะได้รับความคุ้มครอง และได้หลักประกันทางสังคมจากหน่วยงานภาครัฐ เพียงหลักประกันทางสุขภาพพื้นฐานในฐานะประชาชนทั่วไปเท่านั้น ดังนั้นการดูแลสุขภาพตนเองของคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง ในปัจจุบันการเดินทางภายในเขตตัวเมืองอุบลราชธานี - วารินชำราบ และบริเวณโดยรอบนั้นมีการบริการด้วยรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กที่ให้บริการโดยเอกชน จำนวนทั้งสิ้น 10 เส้นทาง ซึ่งทุกสายได้ให้บริการแก่นักศึกษา นักท่องเที่ยวและประชาชนทั่วไปทั้งในและนอกพื้นที่ที่ต้องการเดินทางในเขตตัวเมืองอุบลราชธานี - วารินชำราบ ในการขับรถให้บริการนี้จะใช้เวลาการทำงานนานกว่า 8 ชั่วโมง ในแต่ละวัน ซึ่งอาจส่งผลต่อสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพขับรถประจำทางได้ ดังเช่นจากการศึกษาสถิติผู้ขับรถแท็กซี่ส่วนใหญ่จากภาคอีสาน มีระยะเวลาเฉลี่ยในการขับรถแต่ละวัน เท่ากับ 12.3 ชั่วโมง ร้อยละ 53.7 ผู้ขับรถแท็กซี่ส่วนใหญ่ช่วยผู้โดยสารยกสัมภาระ 1 - 2 ครั้งต่อวัน ผู้ขับรถแท็กซี่ส่วนใหญ่เคยเจ็บปวด

บริเวณหลังส่วนล่าง และคอ มีร้อยละ 7.4 ที่ต้องพักรักษาตัวที่โรงพยาบาล ในขณะที่อีกร้อยละ 12.7 เคยไปพบแพทย์หรือนักกายภาพบำบัด และพบว่าความเจ็บปวดบริเวณหลังส่วนล่างมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการขับรถแต่ละวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ² อาการปวดหลังส่วนล่างอาจเกิดจากหลายสาเหตุเช่น เกิดจากการเสื่อมของเซลล์กระดูก กล้ามเนื้อ และเอ็น การเสื่อมของเซลล์เหล่านี้ยังส่งผลให้เกิดปุ่มกระดูกงอกเล็กๆ (Osteophyte) ซึ่งเป็นกลไกที่ร่างกายใช้ซ่อมแซมเนื้อเยื่อกระดูกสันหลังที่เสื่อมถอย ส่งผลให้เกิดการเบียดกดประสาทไขสันหลัง ทำให้เกิดอาการปวด เจ็บ ชาที่กล้ามเนื้อหลังและกล้ามเนื้อขาอ่อนแรง ซึ่งจะมีอาการมากในผู้ที่มีอายุมากกว่า 30 ปีขึ้นไป ผู้ที่มีภาวะน้ำหนักเกินและผู้ที่ทำกรยกของหนักเกินไป³ เมื่ออายุมากขึ้นเซลล์ต่างๆ ของร่างกายจะเสื่อมลง และยังส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนลดลงกระทบต่อกระบวนการเผาผลาญ การสะสมของไขมัน และยังส่งผลต่อการสร้างเซลล์กระดูกและกล้ามเนื้อ⁴ และจากการศึกษาของ Somnath Gangopadhyay และ Somrat Dev (2012) พบว่าพนักงานขับรถใน Kolkata ใช้เวลาประมาณ 8-10 ชม. ต่อวันในการขับรถ จะมีอาการบาดเจ็บที่หลังส่วนล่าง ซึ่งทำทางการนั่งและการยึดตัวเป็นปัจจัยส่งเสริมทำให้เกิดอาการดังกล่าว⁵ นอกจากนี้ Grace P.Y. Szeto และ Peggo Lam (2007) ก็พบว่าปัจจัยทางด้านอาชีพอาจมีผลต่อการนั่งเป็นเวลานาน และทำทางการทำงานที่ไม่ถูกต้องส่งผลเกี่ยวข้องกับการเกิดการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อและกระดูกได้จากการทบทวนวรรณกรรม ไม่พบว่ามีรายงานการศึกษาในเรื่องดังกล่าวในกลุ่มผู้ประกอบอาชีพขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาเกี่ยวกับปัญหาสุขภาพของผู้ประกอบอาชีพคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับคนขับรถแท็กซี่ ซึ่งจะทำให้ทราบปัญหาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกที่เกิดขึ้นระหว่างการทำงาน เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้ประกอบอาชีพดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อสำรวจความชุกของการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกและหาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการบาดเจ็บกล้ามเนื้อและกระดูกอันเนื่องจากการขับรถกับคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก ในเขตตัวเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี วิธีการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจแบบภาคตัดขวาง (A cross-sectional survey research) ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วงเดือน มกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

2. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กในเขตเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 10 สายการเดินรถ จำนวน 297 คน ที่มีอายุการทำงานไม่ต่ำกว่า 1 ปี คำนวณหาขนาดตัวอย่างในการศึกษานี้ โดยใช้สูตรคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อการประมาณค่าสัดส่วนประชากร (Lemeshow S et al., 1990)⁷ ดังนี้

$$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}p(1-p)}{[e^2(N-1)] + [Z^2_{\alpha/2}p(1-p)]}$$

ได้ n = 91

การศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างกับ คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก 10 สายการเดินรถ จำนวน 100 คน เลือกกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มแบบใช้ความน่าจะเป็น (Probability sampling) ด้วยวิธีการหยิบ แบบจับฉลาก (Simple Random Sampling)

การศึกษาในครั้งนี้ ได้รับการรับรองจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2560 รหัส UBU-REC-50/2560

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาคือแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยเสี่ยงและการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกอันเนื่องมาจากการทำงาน ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง⁸ แบ่งเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไป ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง สถานภาพสมรส ระดับการศึกษาสูงสุด โรคประจำตัว การหลับพักผ่อน การออกกำลังกาย การตั้งครุฑ การประสบอุบัติเหตุ การสูบบุหรี่ และการดื่มแอลกอฮอล์ จำนวน 13 ข้อ

ส่วนที่ 2 ลักษณะการทำงาน ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ ระยะเวลาการทำงาน ความถนัดของมือ การยกสัมภาระ บริบทในการทำงาน และลักษณะของงานที่ทำ จำนวน 21 ข้อ

ส่วนที่ 3 การสำรวจการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก จำนวน 6 ข้อ ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ กลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในช่วง 7 วัน ลักษณะการวัดเป็นแผนภาพให้ระบุตำแหน่งที่เกิดอาการผิดปกติ ระยะเวลาที่เกิดอาการและการรักษา

4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

- ผู้วิจัยทำการขอจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ จากคณะกรรมการจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เมื่อได้รับการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์แล้ว จึงเก็บรวบรวมข้อมูลแบบสอบถาม กับคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก

- ตรวจสอบความครบถ้วนของเนื้อหาแบบสอบถามที่ได้รับมา

- ทำการบันทึกผล สรุปและวิจารณ์ผล

5. การวิเคราะห์ข้อมูล

- วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวแปรเชิงคุณภาพ (nominal scale, ordinal scale) โดยใช้การแจกแจง ความถี่ และร้อยละ

- วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (interval scale, ratio scale) โดยการใช้ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด

- วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ปัจจัยเสี่ยงด้านบุคคลและปัจจัยเสี่ยงด้านลักษณะการทำงาน กับกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อโดยใช้การทดสอบ Chi-square test หรือ Fisher's Exact test และคำนวณ Odds Ratio พร้อมประมาณช่วงเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยสถิติ Simple logistic regression กำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ 0.05

โดยข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างพบว่าส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ร้อยละ 96.0 มีภาวะน้ำหนักเกิน ร้อยละ 28.0 มีโรคประจำตัวร้อยละ 63.0 เป็นโรคความดันโลหิตสูงมากที่สุด ร้อยละ 64.9 อวัยวะที่ได้รับบาดเจ็บมากที่สุด คือ แขน ร้อยละ 41.2 มีเวลานอนหลับพักผ่อน ใน 1 วัน มากกว่า 8 ชั่วโมง ร้อยละ 66.0 ไม่ออกกำลังกาย ร้อยละ 74.0 และดื่มแอลกอฮอล์ ร้อยละ 58.0 (Table 1)

Table 1 Number and percentage of general data among small bus drivers (n = 100)

General data	Number	Percentage
Genders		
male	96	96.0
female	4	4.0
Age (year)		
< 31	2	2.0
31 – 60	76	76.0
> 60	22	22.0
Mean = 52.5, S.D. = 10.7, Max = 77, Min = 21		
BMI		
< 18.5	3	3.0
18.5 - 22.9	41	41.0
23.0 - 24.9	16	16.0
25.0 - 29.9	28	28.0
≥ 30.0	12	12.0
Median = 23.8, P ₂₅ = 20.8, P ₇₅ = 27.3		
Education levels		
Did not study	1	1.0
Elementary education	62	62.0
Secondary school	20	20.0
High School / Vocational or equivalent	13	13.0
Bachelor's Degree or higher	4	4.0
Congenital disease		
No	37	37.0
Yes	63	63.0
Can choose more than one choice		
Diabetes	9	24.3
Obesity	2	5.4
Bone or structural deformities	1	2.7
Gout	3	8.1
High blood pressure	24	64.9
Osteoarthritis or inflammation	4	10.8
Hypercholesterolemia	5	13.5
Accident		
No	83	83.0
Yes	17	17.0
Organ injuries		
Leg	6	35.3
Knee	4	23.5
Arm	7	41.2
Duration of sleep in one day (hours)		
< 8	34	34.0
≥ 8	66	66.0
Median = 8, P ₂₅ = 7, P ₇₅ = 8		

Table 1 Number and percentage of general data among small bus drivers (n = 100) (ต่อ)

General data	Number	Percentage
Exercise		
No	74	74.0
Yes	26	26.0
Smoke		
No	55	55.0
Have been smoked	12	12.0
Smoking	33	33.0
Drink		
No	42	42.0
Yes	58	58.0

ผลการศึกษา

คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการขับรถน้อยกว่า 15 ปี ขับรถมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน ร้อยละ 60.0 เคยยกสัมภาระช่วยผู้โดยสาร ร้อย

ละ 85.0 โดยมีความถี่ในการยกสัมภาระ 1-2 ครั้งต่อวัน กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีท่าทางการนั่งติดต่อกันเป็นเวลานานมากกว่า 4 ชั่วโมงขณะทำงานขับรถ ร้อยละ 59.0 รองลงมาคือ นั่งสลับยืนพอกๆ กัน ร้อยละ 32.0 (Table 2)

Table 2 Number and percentage of driving experience among small bus drivers (n = 100)

Data	Number	Percentage
Duration for drive (year)		
< 15	47	47.0
15-30	45	45.0
> 30	8	8.0
Mean = 15.5, S.D. = 10.9, Max = 40, Min = 1		
Daily duration for drive (hour)		
≤ 8	40	40.0
> 8	60	60.0
Mean = 9.8, S.D. = 2.4, Max = 16, Min = 2		
Lifting the passenger's luggage		
No	15	15.0
Yes	85	85.0
Lifting frequency (time/day)		
1-2	65	76.5
3-4	17	20.0
≥5	3	3.5
The body posture while driving		
Consecutive sat for more than 4 hours.	59	59.0
Stand for more than 4 hours	9	9.0
Sit-Stand alternately	32	32.0

ลักษณะการทำงานของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ มีช่วงเวลาพักระหว่างทำงานมากที่สุด ร้อยละ 82.0 รองลงมาคือทำงานในท่าเดิมๆ ซ้ำๆ ในระยะเวลามากกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน

ร้อยละ 78.0 และมีการยก แบก หาม เคลื่อนย้ายสิ่งของที่มึนน้ำหนักร้อยละ 82.0 รองลงมาคือทำงานในท่าเดิมๆ ซ้ำๆ ในระยะเวลา

มากกว่า 10 กิโลกรัมบ่อยๆ ร้อยละ 62.0 (Table 3)

Table 3 Number and percentage of work characteristics among small bus drivers (n = 100)

Item	Description	Number	Percentage
1	Working in the same position repeatedly over a period of 3 hours / day.	78	78.0
2	Lifting, carrying, transporting or moving objects weighing more than 30 kg.	61	61.0
3	During work; use to lift, carry or move items weighing more than 10 kg frequently.	62	62.0
4	When lifting the passenger's luggage, lift the luggage far away from the body.	40	40.0
5	Drive while the body is injured / painful.	36	36.0
6	The body had been in the stretch posture during work	46	46.0
7	Use vibration tools.	30	30.0
8	Inadequate work space to limit movement	52	52.0
9	Tilt or twist the body during work	51	51.0
10	Have a break during work.	82	82.0
11	Sit for at least more than half of all working hours.	57	57.0
12	This job caused your stress	56	56.0

จากการสำรวจการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ในช่วง 7 วันที่ผ่านมากลุ่มตัวอย่างมีอาการปวด อ่อนแรง แข็ง/ตึง/ขัด/เคล็ด ร้อน ชา และเจ็บเหมือนมีเข็มเล็กๆ ที่มึนในตำแหน่งของร่างกายมากที่สุด ร้อยละ 56.0 (95%CI=46.0-65.0) โดยบริเวณอวัยวะที่มีอาการผิดปกติมากที่สุด คือ หลังส่วนล่าง ร้อยละ 30.4 (95%CI=10.0-

25.0) รองลงมา คือ สะโพกต้นขาและเข่า ร้อยละ 26.8 (95%CI=8.0-23.0) โดยมีความถี่ในการปวดสัปดาห์ละครั้งหรือมากกว่า ร้อยละ 34.8 ระดับความรุนแรงของอาการปวดแต่ละครั้งน้อยที่สุด (ไม่ต้องหยุดพัก ทำงานต่อไปได้) ร้อยละ 55.1 และส่วนใหญ่เมื่อมีอาการปวดจะชื้อยามาทาหรือชื้อยามารับประทานเอง ร้อยละ 65.2 (Table 4)

Table 4 Number and percentage of the musculoskeletal disorders among small bus drivers (n = 100)

Description	Number	Percentage	95%CI
During the past 7 days, you have severe pain / stiffness / abrasion / stiffness and numbness in the position (1 or more points) of the body			
No	44	44.0	35.0-54.0
Yes	56	56.0	46.0-65.0
Symptoms (Can select more than one choice)			
Neck	11	19.6	5.0-17.0
Shoulder	13	23.2	7.0-20.0
Elbow and arm	7	12.5	2.0-12.0
Hand and wrist	6	10.7	2.0-11.0
Finger	1	1.8	0-3.0
Upper back	7	12.5	2.0-13.0
Lower back	17	30.4	10.0-25.0
Hips, thighs and knees	15	26.8	8.0-23.0

Table 4 Number and percentage of the musculoskeletal disorders among small bus drivers (n = 100) (ต่อ)

Description	Number	Percentage	95%CI
Lower leg	13	23.2	7.0-20.0
Ankle and foot	13	23.2	7.0-20.0
The frequency of pain			
Every day	7	10.1	2.0-12.0
Once a week or more	24	34.8	16.0-33.0
Once a month or more	11	15.9	5.0-17.0
2-3 months/ time	22	31.9	23.0-41.0
The severity of skeletal and muscular system disorders.			
Minimal (without a break time working).	38	55.1	28.0-47.0
Less (Rest for 1 hour and then can continue working)	22	31.9	14.0-30.0
Moderate (Rest to 1 day)	10	14.5	5.0-16.0
High (Rest more than 1 days)	2	2.9	0-5.0
High with can not bear (Stop to work for see a physician)	2	2.9	0-5.0
Management of abnormalities occurs. (Can select more than one choice)			
Don't have	1	1.5	0-3.0
Let the injury heal itself	16	23.2	9.0-23.0
Staying at the pain area.	5	7.3	1.0-10.0
Eat or take medicine by yourself.	45	65.2	34.0-55.0
Consult a physician	17	24.6	10.0-25.0
Massage	5	7.3	2.0-10.0
physical therapy and others	5	7.3	1.0-10.0

ผลการศึกษานี้พบว่ามีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูก พบว่า ดัชนีมวลกายและการยกสัมภาระของผู้โดยสารที่มีการยกของห่างจากลำตัว

มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p\text{-value} = 0.001$ และ 0.007 ตามลำดับ (Table 5)

Table 5 The relationship between risk factors and musculoskeletal pain among small bus drivers (n = 100)

Factors	musculoskeletal disorders Number (Percentage)		Total	χ^2	p-value	OR	95% CI
	No	Yes					
Gender				0.04	0.597**		
Male	31 (32.3)	65 (76.7)	96 (100)			Ref.	
Female	2 (50.0)	2 (50.0)	4 (100)			0.5	0.06-3.55
Age (year)				0.25	0.620		
< 50	13 (63.9)	23 (36.1)	36 (100)			Ref.	
≥ 50	20 (31.2)	44 (68.8)	64 (100)			1.2	0.53-2.94
BMI				16.59	0.001*		
≤ 22.9	24 (54.5)	20 (45.5)	44 (100)			Ref.	
23.0-24.9	3 (18.8)	13 (81.2)	16 (100)			5.2	1.30-20.85
25.0-29.9	4 (14.3)	24 (85.7)	28 (100)			7.2	2.14-24.23
≥ 30.0	2 (16.7)	10 (83.3)	12 (100)			6.0	1.78-30.62
Lift the luggage far away from the body				7.24	0.007*		
No	26 (43.3)	34 (56.7)	60 (100)			Ref.	
Yes	7 (17.5)	33 (82.5)	40 (100)			3.6	1.38-9.44
While driving, to work in a posture that stretch body				3.18	0.074		
No	22 (40.7)	32 (59.3)	54 (100)			Ref.	
Yes	11 (23.9)	35 (76.1)	46 (100)			2.2	0.92-5.21
Working in the same position repeatedly over a period of 3 hours / day.				0.80	0.372		
No	9 (40.9)	13 (59.1)	22 (100)			Ref.	
Yes	24 (30.8)	54 (69.2)	78 (100)			1.6	0.59-4.14
Drive while the body is injured / painful.				0.003	0.958		
No	21 (32.8)	43 (67.2)	64 (100)			Ref.	
Yes	12 (33.3)	24 (66.7)	36 (100)			1.0	0.41-2.33
Tilt or twist the body during work				0.25	0.619		
No	15 (30.6)	34 (69.4)	49 (100)			Ref.	
Yes	20 (35.3)	33 (64.7)	51 (100)			0.8	0.35-1.87

หมายเหตุ * มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

** ค่า Fisher's Exact test

วิจารณ์และสรุปผล

พบว่า ในช่วง 7 วันที่ผ่านมา คนขับรถมีอาการปวด อ่อนแรง แข็ง/ตึง/ขัด/เคล็ด ร้อน ชา และเจ็บเหมือนมีเข็มเล็กๆ ทิ่มในตำแหน่งของร่างกายมากที่สุด ร้อยละ 56.0 (95%CI=46.0-65.0) โดยบริเวณอวัยวะที่มีอาการผิดปกติมากที่สุด คือ หลังส่วนล่าง ร้อยละ 30.4 (95%CI=10.0-25.0) จากการศึกษาจะ

พบว่าคนขับรถส่วนใหญ่มีอายุเฉลี่ย 52 ปี มีภาวะอ้วน ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย และมีการยก แบก หาม หรือเคลื่อนย้ายสิ่งของของผู้โดยสาร ที่มีน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัม บ่อยๆ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คนขับรถมีอาการปวดหลังส่วนล่างมากที่สุด ซึ่งอาการปวดหลังดังกล่าวอาจส่งผลต่อการทำกิจกรรมประจำวันต่างๆ ทำให้เกิดการบาดเจ็บซ้ำได้ง่ายจน

อาการปวดหลังเข้าสู่ระยะเรื้อรัง (มากกว่า 12 สัปดาห์) ที่ยากต่อการรักษา ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตในระยะยาวได้ เช่น เกิดภาวะทุพพลภาพและการหยุดงาน เป็นต้น⁹ การศึกษานี้ยังพบว่าดัชนีมวลกายมีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของคนขับรถสองแถวประจำทางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ผู้ที่เริ่มมีน้ำหนักเกินมีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกมากเป็น 5.2 เท่า ของผู้มีภาวะน้ำหนักปกติ (OR = 5.2, 95%CI = 1.30-20.85) ผู้ที่มีน้ำหนักเกินมีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกมากเป็น 7.2 เท่า ของผู้มีภาวะน้ำหนักปกติ (OR = 7.2, 95%CI = 2.14-24.23) และผู้ที่มีภาวะอ้วนมีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกมากเป็น 6.0 เท่า ของผู้มีภาวะน้ำหนักปกติ (OR = 6.0, 95%CI = 1.78-30.62) ซึ่งจะเห็นว่าคนขับรถมีการทำงานในท่าเดิมๆ ซ้ำๆ เป็นระยะเวลามากกว่า 3 ชั่วโมงต่อวัน คือ มีการนั่งขับรถติดต่อกันเป็นเวลานาน อยู่ในพื้นที่ที่จำกัด และไม่ชอบออกกำลังกาย จึงทำให้เกิดภาวะเริ่มอ้วนสอดคล้องกับการศึกษาของ ภิชรุจีจริชัย พัทธกุลธนา และกมลทิพย์ ชลัษฐธรรมนิยม (2558)¹⁰ ทำการศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคอ้วนในกลุ่มวัยผู้ใหญ่ เขตเทศบาลตำบลบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ พบว่าอาชีพที่มีการนั่งทำงานอยู่กับที่หรือทำงานเกี่ยวกับการใช้แรงกาย ความเหนื่อยล้าจากการทำงานทำให้ต้องการเวลาในการพักผ่อนและลดความต้องการที่จะออกกำลังกายไปโดยปริยาย จึงทำให้มีดัชนีมวลกายสูง ซึ่งองค์การอนามัยโลกได้กล่าวถึงปัญหาของผู้ที่มีน้ำหนักเกิน คือ มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 25 และเป็นโรคอ้วน คือ มีค่าดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 30 ว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อในกลุ่มอาการข้อเสื่อม โดยเฉพาะข้อเข่าเสื่อม และพบว่าดัชนีมวลกายมากกว่า 30 มีโอกาสเกิดความผิดปกติของระบบของโครงร่างและกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนบนมากถึง 1.9 เท่า ของผู้ที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อยกว่า¹¹ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Nilsen TIL และคณะ¹² ทำการศึกษาการออกกำลังกาย ดัชนีมวลกายและความเสี่ยงต่อการเกิดอาการปวดเรื้อรังในหลังส่วนล่างและคอ / ไหล่ พบว่าผู้ที่มีดัชนีมวลกายมากกว่าหรือเท่ากับ 30 มีความเสี่ยงต่อการปวดหลังส่วนล่าง คอ และไหล่ และสอดคล้องกับการศึกษาของ Samartzis และคณะ (2554)¹³ พบว่าในกลุ่มผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักเกินและเป็นโรคอ้วนมีความสัมพันธ์กับการเกิดความเสี่ยงของกระดูกสันหลังค่อมข้างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่เป็นโรคอ้วนจะมีโอกาสเสี่ยงของกระดูกมากกว่าผู้ที่มีค่าดัชนีมวลกายน้อย ถึง 5 เท่า

อาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อและกระดูก ของคนขับรถเกิดกับผู้ที่มิดัชนีมวลกายที่มาก อาจเนื่องมาจากน้ำหนักตัวที่มากขึ้น จะเพิ่มความดันของกระดูกซึ่งอาจส่งผลทำให้หมอนรองกระดูกทับเส้นประสาทได้¹⁴

ด้านลักษณะท่าทางการทำงานพบว่า ลักษณะการยกของห่างจากลำตัวมีความสัมพันธ์กับกลุ่มอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบว่า ผู้มีท่าทางการทำงานดังกล่าว มีโอกาเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกมากเป็น 3.6 เท่า ของผู้ที่ไม่ยกของห่างจากลำตัว (OR = 3.6, 95%CI = 1.38-9.44) โดยปกติแล้วคนงานขับรถมีการยกสัมภาระช่วยผู้โดยสาร 1-2 ครั้งต่อวัน สัมภาระที่ยกมีน้ำหนักมากกว่า 10 กิโลกรัม หากท่าทางการยกสิ่งของไม่ถูกต้อง อาจทำให้มีอาการผิดปกติทางการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ ซึ่งจะเห็นว่าท่าทางของร่างกายหรือตำแหน่งของร่างกายส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งร่างกายมีการทรงตัวที่ไม่สมดุล จะส่งผลต่อการกดทับหรือการยึดตัวของเนื้อเยื่อบริเวณข้อต่อ ทั้งการเอี้ยวลำตัวขณะยกของ การยกของเหนือระดับหน้าอก ตำแหน่งของท่าทางที่ใช้มีความสำคัญ เพราะท่าทางที่ผิดปกติอาจนำไปสู่อาการเมื่อยล้าและการปวดอันเป็นผลที่ตามมา และท่าทางที่ทำให้แนวของร่างกาย เช่น รยางค์ ข้อต่อ หลัง มีการเอียงออกจากแนวธรรมชาติ เช่น การบิดตัว การงอหรือเหยียดมากเกินไปทำให้กล้ามเนื้อ ข้อต่อและเส้นเอ็น ต้องทำงานมากขึ้นเพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย ทำให้เกิดกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ¹⁵ ท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมจึงเป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญของการเกิดกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ¹⁶ สอดคล้องกับการศึกษาของวิลาวัลย์ ชัยแก่นและคณะ (2550)¹⁷ พบว่าการทำงานในท่าทางที่ไม่เหมาะสมร่วมกับท่าทางการทำงานซ้ำซากมีความสัมพันธ์กับการเกิดอาการผิดปกติของโครงร่างและกล้ามเนื้ออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งในการยกของ ควรพยายามให้ของชิดลำตัวมากที่สุด โดยที่หลังยังตรงอยู่ เพื่อให้น้ำหนักของวัสดุสิ่งของผ่านลงที่ต้นขาทั้งสองข้าง เพื่อป้องกันอาการบาดเจ็บที่จะเกิดขึ้นกับกระดูกสันหลัง¹⁸

การศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลกับกลุ่มแรงงานนอก ระบบที่ไม่มีหลักประกันสุขภาพอื่นใด นอกจากหลักประกันสุขภาพพื้นฐานของรัฐซึ่งหากไม่มีการป้องกันอาการเจ็บปวดในคนกลุ่มดังกล่าวภาวะค่าใช้จ่ายของรัฐที่เกิดขึ้นอาจจะสูงขึ้นได้ในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามการคำนวณ Odds Ratio ในการค้นหาตำแหน่งของอาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก นั้นจะเห็นว่าค่าประมาณช่วงเชื่อมั่นร้อยละ 95 ค่อนข้างกว้างแสดงให้เห็นถึง

ความแปรปรวนของข้อมูลค่อนข้างมาก ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปอาจจำเป็นต้องพิจารณาเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างให้มากขึ้นเพื่อให้ค่าประมาณช่วงเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ การศึกษาในครั้งนี้จะพบว่าคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กยังมีพฤติกรรมสุขภาพที่ค่อนข้างเสี่ยง ไม่ว่าจะเป็น การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ การสูบบุหรี่ การไม่ออกกำลังกาย ส่งผลให้คนขับรถกลุ่มดังกล่าวมีภาวะอ้วนค่อนข้างสูง ดังนั้น การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาพฤติกรรมสุขภาพของคนขับรถในเชิงลึกเพิ่มขึ้น รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติพฤติกรรมดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถนำไปพิจารณาแก้ไขปัญหาสุขภาพของคนงานขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กต่อไป

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์

จากผลการวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการดูแลและป้องกันปัญหาการยศาสตร์ สำหรับคนขับรถสองแถวประจำทาง โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควร:

1. ส่งเสริมให้คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กหันมาให้ความสำคัญในการดูแลสุขภาพเบื้องต้น โดยเฉพาะการควบคุมน้ำหนักให้เหมาะสม การออกกำลังกาย และการมีพฤติกรรมสุขภาพในทางที่จะส่งผลดีต่อสุขภาพ เช่นลดการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์และการสูบบุหรี่
2. จัดให้มีการให้ความรู้เป็นพื้นฐานสำหรับ คนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็กเกี่ยวกับท่าทางการทำงานที่ถูกต้องและเหมาะสม โดยเฉพาะการให้ความรู้และออกแบบท่าทางการยืดเส้นยืดสาย ป้องกันและแก้ไขอาการปวดหลัง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดอาการผิดปกติบ่อยและรบกวนการทำงานของคนงานมากที่สุด เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติในระบบกล้ามเนื้อและโครงร่างและป้องกันไม่ให้เกิดการบาดเจ็บจากการทำงานซ้ำๆ
3. ควรมีการกำหนดเวลาการทำงานและกำหนดช่วงเวลาหยุดพัก รวมถึงส่งเสริมให้มีกิจกรรมการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความยืดหยุ่นให้กับกล้ามเนื้อ เป็นการลดความรุนแรงของอาการบาดเจ็บลงได้ และคนขับรถควรได้รับการตรวจสุขภาพประจำปีเพื่อเป็นการเฝ้าระวังอาการเจ็บป่วยลดปัญหาการเจ็บปวดกล้ามเนื้อแบบเรื้อรัง ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความพิการในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานขนส่งจังหวัดอุบลราชธานี และคนขับรถสองแถวประจำทางขนาดเล็ก ในเขตตัวเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี ที่ให้ความร่วมมือในการให้

ข้อมูลตอบแบบสอบถาม ขอขอบพระคุณผู้บริหารและคณาจารย์จากวิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุขที่สนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้จนแล้วเสร็จโครงการ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. สถิติประชากรในจังหวัดอุบลราชธานี. 2556 ได้จาก: URL; https://www.dopa.go.th/main/web_index วันที่ 20 สิงหาคม 2560
2. พรศิริ จงกล. การสืบค้นการเจ็บปวดกล้ามเนื้อและกระดูกของคนขับรถแท็กซี่ และปัจจัยเสี่ยงอันเนื่องจากการทำงาน. กรุงเทพมหานคร : ฐานข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานภาครัฐด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี; 2552.
3. เกียรติคุณ ไกรพิบูลย์ และพวงทอง ไกรพิบูลย์. ปวดหลังช่วงล่าง (Low back pain) [อินเทอร์เน็ต]. 2553 [สืบค้นเมื่อ 17 พฤษภาคม 2561]. แหล่งสืบค้น <http://haamor.com/th/>
4. รัชฎา จอปา. ผลของโปรแกรมการจัดการตนเองต่อพฤติกรรมความคุมกลุ่มอาการเมตาบอลิกในประชาชนวัยกลางคน. วารสารการพยาบาลและสุขภาพ 2553 : 36-45
5. S.Gangopadhyay and S. Dev. Effect of low back pain on social and professional life of drivers of Kolkata. IOS Press(2012) Work 41: 2426-2433.
6. Grace P.Y. Szeto and Peggo Lam. Work-related musculoskeletal disorders in Urban bus drivers of Hong Kong. J Occup Rehabil (2007) 17:181-198.
7. Lemeshow S, Hosmer DW, Klar J, Lwanga SK. Adequacy of sample size in health studies. 1sted. Chichester: John Wiley & Sons;1990.
8. พรทิพย์ ใจจง. ปัจจัยเสี่ยงของกลุ่มอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของรยางค์ส่วนบนในผู้ประกอบอาชีพกรีดยางพารา. พิมพ์ครั้งที่ 1 ชลบุรี : มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557
9. รุ่งทิพย์ เฉลิมแสน และคณะ. ผลของโปรแกรมการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างความมั่นคงของลำตัวในผู้ที่มีอาการปวดหลังแบบไม่จำเพาะเจาะจงที่อยู่ในระยะกึ่งเฉียบพลัน: การศึกษานำร่อง. วารสารพยาบาลศาสตร์และสุขภาพ 2559 : 48-60
10. ภิษฐ์จิรัชญ์ พัชรกุลธนา และกมลทิพย์ ชลัษฐธรรมเนียม. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคอ้วนในกลุ่มวัยผู้ใหญ่ เขตเทศบาลตำบลบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ.

- วารสารพยาบาลทหารบก 2558 : 131-139
11. Werner RA, Robert A, Franzblau A, Nancy Gell N, Ulin SS, Armstrong TJ. A longitudinal study of industrial and clerical workers: predictors of upper extremity tendonitis. *J Occup Rehabil* 2005 ; 15 (1) : 37-46
 12. Nilsen TIL, Holtermann A, Mork PJ. Physical exercise, body mass index, and risk of chronic pain in the low back and neck/shoulders:longitudinaldata from the nord-trondelag health study. *Am J Epidemiol* 2011;174(3):267-73.
 13. Samartzis D, Karppinen J, Luk KDK, Cheung KMC. Body mass index and its association with disc degeneration of the lumbar spine in adults. *AACN Advanced critical Care*. Available at http://journals.lww.com/spinejournalabstracts/Citation/2010/00001/Body_Mass_Index_and_Its_Association_With_Disc.17.aspx, accessed May 17, 2018.
 14. ณัชชา แซ่เจิ้น และคณะ. ความชุกและปัจจัยพื้นฐานส่วนบุคคลที่มีผลต่ออาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อของพนักงานขับรถตู้โดยสารประจำทาง : กรณีศึกษา สถานีขนส่งอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology* 2557: 107-118.
 15. Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (2000). Ergonomics program; Final Rule. FedRegister:65:68261-68870.Retrievedfromhttps://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=FEDERAL_REGISTER&p_id=16311, accessed May 17, 2018.
 16. Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (2003). Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders guidelines for retail grocery stores. Retrieved from <http://www.osha.gov/ergonomics/guidelines/retailgrocery.html>, accessed May 17, 2018.
 17. วิลาวัลย์ ชัยแก่น และคณะ. ปัจจัยด้านการยศาสตร์และอัตราความชุกของอาการปวดทางโครงร่างและกล้ามเนื้อในคนงานโรงงานผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำ ในนิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ. *วารสารวิชาการสาธารณสุข* 2550 : 226-233.
 18. ศูนย์กายภาพบำบัด. การยกและการเคลื่อนย้ายสิ่งของ [อินเทอร์เน็ต. 2552]. [สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2560]. แหล่งสืบค้น URL;<http://www.pt.mahidol.ac.th/knowledge/?p=186>

ลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์

Characteristics and Some Qualities of Clear Plastic Bottled Drinking Water Sold in Surin Province

สุบัตินทิธ นิมรัตน์^{1*}, พัชรารวรรณ สมบัติวงศ์², วีรพงษ์ วุฒิพันธ์ชัย³

Subuntith Nimrat^{1*}, Phatcharawan Sombutwong², Verapong Vuthiphandchai³

Received : 3 July 2018 ; Accepted : 2 October 2018

บทคัดย่อ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาถึงลักษณะและคุณภาพบางประการของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ จำนวน 30 ตัวอย่าง จากผลการศึกษาพบว่าส่วนฉลากบนผลิตภัณฑ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดขวดพลาสติกใสมีการระบุรายละเอียดของวันหมดอายุเท่ากับ 80 % ของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่อยู่ในช่วง 6.5-8.0 เท่ากับ 30 % และปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มที่พบในตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดมีค่าน้อยกว่า 2.2 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่างของน้ำดื่มบรรจุขวด ดังนั้นจากการประเมินคุณภาพของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ ประเทศไทย พบว่า 70 % ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านมาตรฐานของน้ำบริโภคในภาชนะที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) ของประเทศไทย เนื่องจากไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านความเป็นกรด-ด่าง

คำสำคัญ: น้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใส แบคทีเรียโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม *E. coli*

Abstract

In this study, characteristics and some qualities of 30 samples of clear plastic bottled drinking water sold in Surin Province, Thailand were investigated. The results showed that 80% of the samples had label information containing the expiry date. Water samples (30%) exhibited pH value in range of 6.5-8.0. Numbers of coliform and fecal coliform bacteria in all water samples were less than 2.2 MPN/100 mL and *E. coli* was not found in all samples. When considering quality of clear plastic bottled drinking water samples sold in Surin Province, 70% of samples did not meet the standard for drinking water in sealed containers set by the Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981) because of having not passed the pH standard.

Keywords : Clear plastic bottled drinking water, Coliform bacteria, Fecal coliform bacteria, *E. coli*

¹ ภาควิชาจุลชีววิทยาและโครงการวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

² ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

³ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

¹ Department of Microbiology and Environmental Science Program, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

² Department of Microbiology, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

³ Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha University, Chon Buri Province

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

บทนำ

น้ำดื่มบรรจุขวดปิดสนิทเป็นน้ำดื่มที่พบได้ในเขตชุมชน และคนไทยรวมทั้งนักท่องเที่ยวนิยมบริโภคมากที่สุด เนื่องจากมีการรับรองสินค้าดังแสดงในฉลากข้างขวดและสามารถเก็บไว้ได้ค่อนข้างนาน โดยทั่วไปมักจะมีอายุการเก็บรักษานาน 1-2 ปี รวมทั้งน้ำดื่มบรรจุขวดปิดสนิทสามารถนำไปแจกจ่ายให้ผู้ประสบภัยในสถานที่ที่เกิดภัยพิบัติต่างๆ¹

ในประเทศไทยมีหน่วยงานที่ทำการควบคุมและดูแลให้น้ำดื่มบรรจุขวดปิดสนิทได้คุณภาพตามมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 61 (พ.ศ. 2524) เรื่องน้ำบริโภคในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่ทำการควบคุมทางด้านคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยา คือการตรวจสอบถึงปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ด้วยวิธี Most probable number (MPN) ที่มีการกำหนดให้แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มน้อยกว่า 2.2 MPN/100 ml และห้ามพบ *E. coli*² และแบคทีเรียก่อโรค เนื่องจากน้ำดื่มเป็นแหล่งของเชื้อก่อโรคร่างลำไส้ซึ่งได้มีการตระหนักถึงการบำบัดน้ำดิบก่อนมาเป็นน้ำดื่มมาตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 19 เพื่อกำจัดจุลินทรีย์ก่อโรครายตัวอย่างเช่น *Vibrio cholerae* ซึ่งก่อโรคอหิวาตกโรคและ *Salmonella typhi* ก่อโรคไทฟอยด์ เป็นต้น³ นอกจากนี้ยังได้ทำการกำหนดมาตรฐานทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้เท่ากับ 6.5-8.5 และต้องกำหนดวันหมดอายุของน้ำดื่มบรรจุขวด

จากผลงานวิจัยของสุภัณฑิลา นิมรัตน์ และคณะ⁴ ได้ทำการศึกษาถึงคุณภาพทางแบคทีเรียวิทยาและคุณภาพบางประการ คือ การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ลักษณะกลิ่น ลักษณะน้ำดื่มที่บรรจุภายในขวดฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิตและสถานที่ผลิต) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและขวดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดทั้งหมดมีค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 5.5-7.5 ส่วนฉลากบนผลิตภัณฑ์ของน้ำดื่มบรรจุขวดมีการระบุรายละเอียดของสถานที่ผลิต ชื่อบริษัท และวันผลิต/หมดอายุ บนฉลากของน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 29 ตัวอย่าง และไม่ระบุวันผลิต/หมดอายุบนผลิตภัณฑ์ จำนวน 18 ตัวอย่าง และจากการตรวจหาแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* ในตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด ผลการศึกษาพบว่าปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม และแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม น้อยกว่า 1.8 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ยกเว้น 2 ตัวอย่างที่พบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์มเท่ากับ 23-49 และ 2.0-6.1 MPN/100mL ดังนั้นจากการประเมินคุณภาพของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและขวด

พลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย ทั้งสมบัติทางกายภาพบางประการและจุลชีววิทยามีเพียง 19 ตัวอย่าง (40.42%) จากตัวอย่างทั้งหมด 47 ตัวอย่าง ที่ผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย

รวมทั้งจากการศึกษาคุณภาพทางด้านกายภาพและจุลชีววิทยาของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดขวดใสที่จำหน่ายในจังหวัดน่านที่ทำการศึกษาโดย สุภัณฑิลา นิมรัตน์ และวีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย⁵ ได้ทำการศึกษาถึงคุณภาพทางด้านค่าความเป็นกรด-ด่าง ลักษณะกลิ่น ลักษณะน้ำดื่มที่บรรจุภายในขวดฉลาก (ชื่อบริษัทที่ผลิตและสถานที่ผลิต) ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* พบว่า ผลการประเมินคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดขวดใสที่จำหน่ายในจังหวัดน่านผ่านมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทยทางด้านคุณภาพทางด้านกายภาพและจุลชีววิทยาบางประการเท่ากับ 69.77 % และ 90.70 % ตามลำดับ

เนื่องจากในจังหวัดสุรินทร์ยังไม่พบการรายงานเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายภายในจังหวัดสุรินทร์และจังหวัดสุรินทร์เป็นจังหวัดที่มีความสำคัญจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยทางด้านประวัติศาสตร์ จึงทำให้มีนักท่องเที่ยวในจังหวัดสุรินทร์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการทำการศึกษาลงถึงคุณภาพของน้ำดื่มนั้นจึงเป็นเรื่องที่มีความจำเป็นในการช่วยควบคุมคุณภาพของน้ำดื่มให้มีคุณภาพที่ดีต่อไป ดังนั้นในการศึกษารั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มแบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม และมาตรฐานในด้านการระบุการหมดอายุของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์

วิธีการศึกษา

1. ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด⁶

ตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดได้ซื้อจากร้านค้าที่มีการจำหน่ายในเขตจังหวัดสุรินทร์ โดยการสุ่มซื้อและไม่มีการเลือกลักษณะร้านค้าจำนวน 10 ยี่ห้อๆ ละ 3 ขวด รวม 30 ตัวอย่าง และบันทึกคุณภาพบางประการของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดได้แก่ ยี่ห้อ รายละเอียดบนฉลาก (ชื่อบริษัท วันผลิต/หมดอายุ สถานที่ตั้ง) สังเกตลักษณะขวด ลักษณะน้ำ ด้วยตาเปล่า

2. การทดสอบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม ฟีคัลโคลิฟอร์ม และ *E. coli* โดยวิธี Most Probable Number⁷

2.1 การทดสอบขั้นแรก (Presumptive test)

ปิเปตตัวอย่างน้ำลงในอาหาร Lauryl Tryptose broth (LST) 10 mL ที่มีความเข้มข้น 2 เท่า จำนวน 5 หลอด

ๆ ละ 10 mL และปิเปตตัวอย่างน้ำลงในอาหาร LST 10 mL ที่มีความเข้มข้น 1 เท่า หลอดละ 1 และ 0.1 mL อย่างละ 5 หลอด ตามลำดับ นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เลือกหลอด LST ที่ให้ผลบวก (ขุ่น และมีก๊าซใน Durham tube) เพื่อนำไปทำ Confirmed test ของโคลิฟอร์ม และฟีคัลโคลิฟอร์ม

2.2 การทดสอบขั้นยืนยัน (Confirmed test)

นำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงใน Brilliant Green Lactose Bile broth (BGLB) นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง (แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์ม) และนำหลอด LST ที่ให้ผลบวกถ่ายเชื้อลงใน Escherichia coli (EC) medium นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 45.5 องศาเซลเซียส ใน Water bath นาน 24-48 ชั่วโมง (แบคทีเรียกลุ่มฟีคัลโคลิฟอร์ม) นับจำนวนหลอด BGLB ที่ให้ผลบวก (ขุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง Most Probable Number (MPN) จะได้ค่า MPN Coliform/100 mL และนับจำนวนหลอด EC ที่ให้ผลบวก (ขุ่นและมีก๊าซใน Durham tube) นำไปเทียบกับตาราง MPN จะได้ค่า MPN Fecal coliform/100 mL

2.3 การทดสอบขั้นสมบูรณ์ (Completed test) ของ *E. coli*

นำหลอด BGLB และ/หรือ EC ที่ให้ผลบวกไปเชื่อมบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Eosin Methylene Blue agar (EMB) บ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง สังเกตลักษณะโคโลนีเฉพาะของ *E. coli* มีสีเขียวสะท้อนเงาโลหะ (Metallic sheen) และนำไปทดสอบยืนยันโดยใช้ IMViC test

3. วิธีการตรวจสอบทางชีวเคมี IMViC^{8,9}

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางชีวเคมีของแบคทีเรีย โดยทดสอบสมบัติทางชีวเคมี ได้แก่ Indole production test, Methyl red test (MR test), Voges-proskauer test (VP test) และ Citrate utilization test

3.1 Indole production test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน 1 % Tryptone broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด Kovac's reagent ลงไป 0.2-0.3 mL เขย่าหลอดทดลองเบา ๆ 2-3 ครั้ง สังเกตการเปลี่ยนสีที่ผิวของอาหารอ่านผลเป็นบวกเมื่อเกิดวงสีแดงที่ผิวอาหาร

3.2 Methyl red test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR-VP broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด Methyl red ลงไป 5 หยด สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารทันทีหลังจากหยด Indicator อ่านผลเป็นบวกเมื่อ

อาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง

3.3 Voges-proskauer test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน MR-VP broth นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง หยด 5 % α -naphthol และ Creatine ลงไป 1-2 หยด เขย่าและหยด 40 % KOH ลงไป 2 หยด เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10-15 นาที สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารอ่านผลเป็นบวกเมื่ออาหารเปลี่ยนเป็นสีแดง

3.4 Citrate utilization test

ถ่ายเชื้อที่ต้องการทดสอบโดยการเชื่อมบนผิวอาหาร Simmons' citrate agar นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส นาน 24-48 ชั่วโมง สังเกตการเปลี่ยนสีของอาหารและการเจริญของแบคทีเรีย อ่านผลเป็นบวกเมื่ออาหารเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

4. การตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง⁶ และกลืน

วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Denver Instrument, pH/mv/Temp. Meter model UB-10, Colorado, USA) โดยทำการสอบเทียบกับการวัดสารละลายมาตรฐานที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4, 7 และ 10 ตามลำดับ ก่อนทำการวัดตัวอย่างน้ำดื่ม ต่อจากนั้นวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่ม โดยตรวจวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย (Average) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) และดมกลิ่นของน้ำ โดยเปิดฝาและดมจากขวด โดยทำการวิเคราะห์หลังจากการตรวจวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา

5. การตรวจวัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solid: TDS)¹⁰

ทำการวัดค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดด้วยเครื่องวัด TDS (HM Digital, TDS-3 California, USA) โดยตรวจวัดจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวอย่างคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดประเภทน้ำดื่มชนิดพลาสติกใสจำนวน 30 ตัวอย่าง จากจังหวัดสุรินทร์ที่เป็นพลาสติกชนิด PET type 1 โดยพบว่าน้ำดื่มชนิดพลาสติกใสผลิตจาก 5 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดสุรินทร์ จังหวัดปทุมธานี จังหวัดมหาสารคามและจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ซึ่งเป็นจังหวัดที่ไม่ใช่จังหวัดที่ติดกับจังหวัดสุรินทร์และนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทที่กำหนดโดยกระทรวงสาธารณสุขของประเทศไทย ดังสรุปใน Table 1 ผล

การศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใส 24 ตัวอย่าง (80 %) มีการระบุรายละเอียดของสถานที่ผลิต ชื่อ บริษัท และวันหมดอายุ บนฉลากของน้ำดื่มบรรจุขวด ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดมีค่าอยู่ในช่วง $5.35 \pm 0.02 - 7.73 \pm 0.08$ รวมทั้งเมื่อทดสอบลักษณะสีและกลิ่น

พบว่าในทุกตัวอย่างมีลักษณะใสและไม่มีกลิ่น (Table 1) ส่วนการมี Protective seal พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้ Protective seal ซึ่งไม่ได้มีข้อกำหนดตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข²

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province.

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
1	600	Khonkaen/ Thailand	Mfd. 21.03.17/ Exp. 21.03.19	+1	x	Unknown	6.00±0.00	5.45±0.08	Clear	Odourless	FDA. 40-2-03153-2-0036	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
2	600	Khonkaen/ Thailand	Mfd. 21.03.17/ Exp. 21.03.19	+1	x	Unknown	6.00±0.00	5.37±0.05	Clear	Odourless	FDA. 40-2-03153-2-0036	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
3	600	Khonkaen/ Thailand	Mfd. 21.03.17/ Exp. 21.03.19	+1	x	Unknown	6.00±0.00	5.35±0.02	Clear	Odourless	FDA. 40-2-03153-2-0036	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
4	600	Surin/ Thailand	N.D.	-	✓	Reverse Osmosis & UV	28.00±0.00	5.96±0.08	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-02355-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
5	600	Surin/ Thailand	N.D.	+2	✓	Reverse Osmosis & UV	27.00±0.00	5.89±0.05	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-02355-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
6	600	Surin/ Thailand	N.D.	+1	✓	Reverse Osmosis & UV	27.00±0.00	5.97±0.03	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-02355-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
7	600	Surin/ Thailand	Mfd. 31.01.17/ Exp. 31.01.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	17.00±0.00	5.92±0.23	Clear	Odourless	FDA.32-2-02057-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province (continue).

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
8	600	Surin/ Thailand	Mfd. 31.01.17/ Exp. 31.01.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	17.00±0.00	5.64±0.03	Clear	Odourless	FDA. 32-2-02057-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
9	600	Surin/ Thailand	Mfd. 31.01.17/ Exp. 31.01.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	17.00±0.00	5.59±0.04	Clear	Odourless	FDA. 32-2-02057-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
10	600	Surin/ Thailand	N.D.	+2	✓	Reverse Osmosis & UV	19.00±0.00	5.66±0.02	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00356-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
11	600	Surin/ Thailand	N.D.	+1	✓	Reverse Osmosis & UV	20.00±0.00	5.66±0.05	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00356-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
12	600	Surin/ Thailand	N.D.	+1	x	Reverse Osmosis & UV	19.00±0.00	5.74±0.01	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00356-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province (continue).

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
13	600	Surin/ Thailand	Mfd. 22.03.17/ Exp. 22.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV	20.00±0.00	5.55±0.09	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00951-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
14	600	Surin/ Thailand	Mfd. 22.03.17/ Exp. 22.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV	20.00±0.00	5.84±0.02	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00951-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
15	600	Surin/ Thailand	Mfd. 22.03.17/ Exp. 22.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV	30.00±0.00	5.92±0.02	Clear	Odourless	FDA. 32-2-00951-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
16	600	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 11.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	3.00±0.00	5.55±0.09	Clear	Odourless	FDA. 32-2-03257-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
17	600	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 11.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	3.00±0.00	5.50±0.12	Clear	Odourless	FDA. 32-2-03257-2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province (continue).

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	E. coli (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
18	600	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 11.03.19	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	3.00±0.00	5.47±0.01	Clear	Odourless	FDA. 32-2-03257-2- 0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
19	600	Pathumthani/ Thailand	Mfd. 15.03.17/ Exp. 15.03.18	+2	x	Unknown	264.44±5.70	7.47±0.14	Clear	Odourless	FDA. 13-2-02455-2- 0004	<2.2	<2.2	Not found	Passed
20	600	Pathumthani/ Thailand	Mfd. 15.03.17/ Exp. 15.03.18	+2	x	Unknown	265.33±2.94	7.65±0.01	Clear	Odourless	FDA. 13-2-02455-2- 0004	<2.2	<2.2	Not found	Passed
21	600	Pathumthani/ Thailand	Mfd. 15.03.17/ Exp. 15.03.18	+1	x	Unknown	263.67±6.48	7.67±0.02	Clear	Odourless	FDA. 13-2-02455-2- 0004	<2.2	<2.2	Not found	Passed
22	600	Ayuthaya/ Thailand	Mfd. - Exp. 28.02.19	+1	✓	Unknown	200.67±0.00	7.53±0.17	Clear	Odourless	FDA. 14-2-00336-2- 0002	<2.2	<2.2	Not found	Passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province (continue).

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
23	600	Ayutthaya/ Thailand	Mfd. - Exp. 28.02.19	+1	✓	Unknown	200.00±0.00	7.58±0.05	Clear	Odourless	FDA. 14-2-00336- 2-0002	<2.2	<2.2	Not found	Passed
24	600	Ayutthaya/ Thailand	Mfd. - Exp. 28.02.19	+1	✓	Unknown	200.00±0.00	7.73±0.08	Clear	Odourless	FDA. 14-2-00336- 2-0002	<2.2	<2.2	Not found	Passed
25	500	Mahasarakham/ Thailand	Mfd. - Exp. 14.03.19	+1	✓	Unknown	200.00±0.00	7.59±0.06	Clear	Odourless	NSF International FDA. 44-2-03257- 2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Passed
26	500	Mahasarakham/ Thailand	Mfd. - Exp. 14.03.19	+1	✓	Unknown	223.67±5.19	7.59±0.06	Clear	Odourless	NSF International FDA. 44-2-03257- 2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Passed
27	500	Mahasarakham/ Thailand	Mfd. - Exp. 14.03.19	+1	✓	Unknown	189.00±11.18	7.39±0.06	Clear	Odourless	NSF International FDA. 44-2-03257- 2-0001	<2.2	<2.2	Not found	Passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

Table 1 Qualities and physical characteristics of transparent bottled water samples sold in Surin province (continue).

Samples	Size (ml)	City/ country of manufacture	Manufactured date/ Expiring date	Scratch	Protective seal	Water treatment	TDS (mg/L)	pH	Appearance	Odour	Approved	Numbers of coliform (MPN/100 mL)	Numbers of fecal coliform (MPN/100 mL)	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Bottled drinking water quality standard *
28	350	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 18.11.17	+1	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	33.00±0.00	6.37±0.08	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-00759-2- 0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
29	350	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 18.11.17	-	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	34.00±0.00	6.45±0.04	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-00759-2- 0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed
30	350	Surin/ Thailand	Mfd. - Exp. 18.11.17	-	✓	Reverse Osmosis & UV/Ozone	33.00±0.00	6.44±0.03	Clear	Odourless	GMP FDA. 32-2-00759-2- 0001	<2.2	<2.2	Not found	Not passed

Note : +1 Scratch, +2 There are slight scratches and dents, +3 There are many scratches and dents

* ; Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981), The water for consumption in sealed container.

อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ประเทศไทยจำนวน 30 ตัวอย่าง เมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทย (Table 1) พบว่ามี 80 % มีการระบุรายละเอียดบนฉลากเกี่ยวกับวันหมดอายุครบถ้วนตามมาตรฐานคุณภาพ น้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทโดยประกาศกระทรวงสาธารณสุขประเทศไทย

ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดเพียง 9 ตัวอย่างจาก 30 ตัวอย่าง (30 %) ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทของประเทศไทย อีก 70 % พบว่ามีความเป็นกรดอ่อน โดยมีค่าความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.5 ซึ่งน้ำที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีฤทธิ์เป็นกรดจะมีโปรตอนของไฮโดรเจนซึ่งเป็นประจุบวก (H+) สูง ดังนั้นจึงทำให้น้ำมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับอนุมูลอิสระทั่วไปในการแข่งขันเข้าจับกับอิเล็กตรอนจากเซลล์ใกล้เคียงส่งผลให้น้ำนี้ไม่ควรบริโภค ในขณะที่พบว่าน้ำที่มีฤทธิ์เป็นด่างจะมีอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบในปริมาณที่มากพอที่จะเข้าไปหยุดหรือยับยั้งปฏิกิริยาห่วงโซ่ของอนุมูลอิสระ รวมทั้งสามารถป้องกันการเกิดมะเร็ง¹¹

นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มทั้งหมดผ่านมาตรฐานทางด้านการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ *E. coli* ดังนั้นเมื่อพิจารณาคุณภาพทั้งหมดในการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐานทางด้านการระบุรายละเอียดบนฉลากเกี่ยวกับวันหมดอายุ ค่าความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและการพบ *E. coli* เท่ากับ 30 % จากการพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ประเทศไทยจำนวน 30 ตัวอย่าง ผ่านมาตรฐานทางด้านการปนเปื้อนของแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ *E. coli* และสอดคล้องกับตัวอย่างของน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดอื่นในประเทศไทยได้แก่รายงานของสุภัณฑิต นิมิตรน และคณะ⁶ ที่ได้ทำการประเมินผลคุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดชลบุรี พบว่าตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มไม่เกิน 1.8 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวด และรายงานของสุภัณฑิต นิมิตรน และคณะ⁴ ที่ทำการตรวจประเมินคุณภาพน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสและพลาสติกขุ่นที่จำหน่ายในจังหวัดกาญจนบุรีพบว่าตรวจพบแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มไม่เกิน 1.8 MPN/100 mL และตรวจไม่พบ *E. coli* ในทุกตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดเช่นกัน สาเหตุของน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ ชลบุรี และกาญจนบุรีที่มีความสะอาดทางจุลชีววิทยา

ตามมาตรฐานของประเทศไทยอาจจะเป็นเนื่องจากมีกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดที่เหมาะสม โดยกองพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุขกำหนดให้มีการเลือกใช้แหล่งน้ำที่สะอาด เช่น น้ำฝน น้ำประปา เป็นต้น และมีการปรับคุณภาพของน้ำตามขั้นตอนต่างๆ อย่างเหมาะสมตามแหล่งคุณภาพน้ำ สถานที่ผลิต เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการผลิตต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่ดีในการผลิตอาหาร นอกจากนี้ยังเน้นถึงสุขลักษณะที่ดีของคณงานและประสิทธิภาพของเครื่องกรองน้ำ¹²

จากผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดแบบพลาสติกใสส่วนใหญ่ (60%) มีการระบุถึงกระบวนการบำบัดน้ำดิบด้วยกระบวนการ Reverse Osmosis (R.O) และ การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (หลอด UV) และพบว่ามีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.5 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่กล่าวว่าการกระบวนการ Reverse Osmosis (R.O) จะทำให้น้ำมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น¹³ การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต (หลอด UV) น่าจะสามารถกำจัดแบคทีเรียที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำรวมทั้งในกระบวนการผลิต และจากการศึกษาจุลินทรีย์ที่เป็นดัชนีบ่งชี้ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มและ *E. coli* พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดน่าจะปราศจากเชื้อก่อโรคที่มีแหล่งมาจากการปนเปื้อนด้วยสิ่งขับถ่ายของมนุษย์และสัตว์เลือดอุ่น ยกตัวอย่างเช่น *Vibrio cholerae* ก่อโรคอหิวาตกโรค (Cholera) *Shigella flexneri* หรือ *Shigella dysenteriae* ก่อโรคบิด (Bacillary Dysentery) และ *Samonella paratyphi* ก่อโรคไขวักบาดหรือไข้ไทฟอยด์ (Typhoid Fever) เป็นต้น¹⁴ จึงทำให้พบว่าน้ำดื่มเหล่านั้นปลอดภัยต่อการบริโภค โดยจากผลการศึกษาในครั้งนี้ น่าจะกล่าวได้ว่าโรงงานผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดขวดพลาสติกใส น่าจะมีความเข้มงวดในการผลิตทั้งทางกระบวนการด้านการผลิตและสาธารณสุขของบุคลากรจึงทำให้มีคุณภาพทางด้านจุลชีววิทยาที่มีมาตรฐาน

อย่างไรก็ตามควรต้องมีการปรับปรุงคุณภาพในเรื่องการระบุวันหมดอายุ และค่าความเป็นกรด-ด่าง รวมทั้งควรทำการตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนชนิดอื่นๆ เพิ่มเติมต่อไป ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างการรับรองของหน่วยงานและคุณภาพน้ำดื่ม พบว่าแม้จะมีการระบุว่ามีการรับรองจาก ออย. และ/หรือ GMP ในบางตัวอย่างก็ยังคงพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต่ำกว่ามาตรฐาน แต่พบว่าเมื่อมีการประเมินหรือรับรองโดย ออย.ร่วมกับ NSF international พบว่า ตัวอย่างทั้งหมดที่ส่งมาตรวจนั้นมีความเป็นกรด-ด่างที่อยู่ในมาตรฐาน ดังนั้นจากการศึกษาครั้งนี้จึงสามารถบ่งชี้ได้ว่าน้ำดื่มบรรจุขวดที่มีการรับรองโดยแต่ละแหล่ง นอกจากมีการรับรองแล้วควรจะต้องมีการสุ่มตรวจอย่างสม่ำเสมอเพื่อที่จะทำการควบคุมให้บริษัทที่

จำหน่ายน้ำดื่มบรรจุขวดดังกล่าวได้ปฏิบัติตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดมาอย่างเคร่งครัด

นอกจากนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่า TDS คล้ายกับตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดของจังหวัดกาญจนบุรี คือพบว่าถ้ามีค่าความเป็นกรด-ด่างที่อยู่ในสภาวะที่ค่อนข้างเป็นกรดก็จะมีค่า TDS ต่ำ และเมื่อมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่สูงก็จะมีค่า TDS ที่สูงขึ้น ยกตัวอย่างเช่น มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5.45 ± 0.08 จะมีค่า TDS เท่ากับ 6.00 ± 0.00 mg/L ในตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.47 ± 0.14 มีค่า TDS เท่ากับ 264.44 ± 5.70 mg/L จากการอธิบายถึงค่า ความเป็นกรด-ด่างสัมพันธ์กับค่า TDS นั้น อาจจะต้องทำการศึกษาในรายละเอียดถึงชนิดของสารที่ละลายในน้ำต่อไป ส่วนสาเหตุของค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำดื่มบรรจุขวดมีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนนั้นอาจมาจากแหล่งน้ำดิบที่มีค่าเป็นกรด รวมทั้งพบว่าระบบการบำบัดการแบคทีเรียเวอร์สออสโมซิสและอัลตราไวโอเลต/ไอโซน ที่ทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์มีแหล่งที่ผลิตจากหลายจังหวัด ได้แก่ จังหวัดสุรินทร์ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดมหาสารคาม จังหวัดพระนครศรีอยุธยา จังหวัดปทุมธานี แต่ผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผลิตภายในจังหวัดสุรินทร์ไม่ผ่านมาตรฐานทางด้านความเป็นกรด-ด่างทั้งหมด นั่นคือมีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 6.5 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำดื่มบรรจุขวดที่ผลิตมาจากจังหวัดอื่นๆ ยกเว้นจังหวัดขอนแก่น ดังนั้นหน่วยงานที่ทำหน้าที่กำกับดูแลมาตรฐานของน้ำดื่มบรรจุขวดควรดูแลควบคุมมาตรฐานทางด้านนี้ให้เข้มงวดมากขึ้น

นอกจากนั้นพบว่าตัวอย่างน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ที่ได้ดำเนินการในการศึกษาครั้งนี้ พบว่ามีรอยขีดข่วน และมีรอยบวมเล็กน้อยจนถึงมีรอยบวมปานกลาง มีรอยขีดข่วนรอบๆ ขวดอาจจะเกิดจากกระบวนการขนส่งหรือกระบวนการเก็บที่อาจจะไม่ได้รับความระมัดระวัง ซึ่งควรจะต้องทำการศึกษาต่อไปถึงขวดที่มีรอยบวมว่ามีผลต่อคุณภาพของน้ำดื่มหรือไม่ เนื่องจากรอยบวมอาจจะทำให้มีความเสียหายของขวดพลาสติกและนำไปสู่คุณภาพบางประการของน้ำดื่มที่เกิดจากความเสียหายของพลาสติกเองหรือมีการระเหยออกไปของน้ำ

น้ำดื่มบรรจุขวดมีกฎหมายกำหนดให้มีการกำหนดวันหมดอายุโดยพบว่าอายุการใช้งานของน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกจะมีอายุการใช้งาน เนื่องจากพลาสติกมีอายุการใช้งานที่จำกัด ถ้าพลาสติกมีการเสื่อมสภาพก็อาจจะมีการปล่อยสารเคมีบางชนิดจากพลาสติกที่เสื่อมสภาพนั้น รวมทั้ง

อาจจะมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ง่ายขึ้น ซึ่งในกรณีดังกล่าวควรจะต้องทำการศึกษาต่อไป ดังนั้นการเลือกซื้อน้ำดื่มบรรจุขวดควรจะต้องดูวันหมดอายุของน้ำดื่มชนิดนั้นๆ เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์มีอายุประมาณ 2 ปี ดังนั้นควรระมัดระวังในการซื้อน้ำดื่มควรตระหนักถึงวันหมดอายุ ขวดพลาสติกใสที่ใช้ในการบรรจุน้ำดื่มบรรจุขวดที่ทำการศึกษานี้ พบว่าเป็นพลาสติก PET ชนิดที่ 1 ซึ่งเป็นพลาสติกที่เหมาะสมที่จะบรรจุน้ำดื่มบรรจุขวด ดังนั้นขวดพลาสติกที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่าอยู่ในมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับได้ของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ส่วนการมี Protective seal พบว่าส่วนใหญ่มีการใช้ Protective seal ซึ่งไม่ได้มีข้อกำหนดตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุขแต่คาดว่าเป็นการทำให้เกิดความเชื่อมั่นสำหรับผู้บริโภค ว่าถ้ามี Protective seal น่าจะทำให้ปลอดภัยต่อความเชื่อมั่นว่าน้ำดื่มที่บรรจุขวดที่เราซื้อมานั้นเป็นน้ำดื่มใหม่ที่ยังไม่มีการเปิดขวดมาก่อน เนื่องจาก Protective seal เป็นสิ่งที่ช่วยยืนยันนอกจากดูจากขวดที่ปิดสนิทแล้ว รวมทั้งอาจจะพบว่าเวลาเปิดฝาขวด พบว่ามีบางขวดที่ฝาขวดไม่ขาดออกจากกัน ทำให้สามารถนำเอาขวดนี้มาเติมน้ำขายใหม่ได้ ดังนั้นการมี Protective seal เป็นสิ่งที่ช่วยยืนยันนอกจากดูจากขวดที่ปิดสนิทแล้ว ยังมี Protective seal ที่ช่วยเพิ่มความมั่นใจของผู้บริโภคนั่นเอง

นอกจากนั้นพบว่าจากผลการวิจัยของคณะนักวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยรัฐนิวเจอร์ซีย์ในเมือง ฟรีโดเนีย พบว่าน้ำดื่มบรรจุขวดจำนวน 11 ยี่ห้อ จำนวน 259 ขวด จาก 9 ประเทศ ได้แก่ ไทย สหรัฐอเมริกา จีน อินเดีย บราซิล อินโดนีเซีย เม็กซิโก เลบานอน และเคนยา พบการปนเปื้อนอนุภาคพลาสติกขนาดเล็ก 93% โดยเฉลี่ยน้ำดื่มแต่ละขวดจะมีไมโครพลาสติกปนเปื้อนปริมาณ 325 อนุภาคต่อลิตร มีเพียง 17 ขวดจากทั้งหมด 259 ขวดเท่านั้นที่ปราศจากการเจือปนของพลาสติกไมโครพลาสติกที่พบในน้ำดื่มบรรจุขวดส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเศษพลาสติกขนาดเล็ก (66%) รองลงมาคือเส้นใย ส่วนสัดส่วนชนิดของพลาสติกที่พบแบ่งเป็น โพลีโพรพิลีน (ซึ่งใช้ในฝาขวด) 54%, ไนลอน 16%, โพลิสไตรีน 11%, โพลีเอทิลีน 10%, โพลีเอสเตอร์/โพลีเอทิลีนเทเรพทาเลต 6% และอื่นๆ 3% โดยศาสตราจารย์เซอร์รี เมสัน อาจารย์ประจำภาควิชาเคมีแห่งมหาวิทยาลัยรัฐนิวเจอร์ซีย์ ได้กล่าวว่าการบริโภคไมโครพลาสติกขนาดเล็กจำนวนมากอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย เช่น การเป็นมะเร็ง รวมทั้งการเพิ่มภาวะโรคสมาธิสั้นและอหิวาต์¹⁵ ดังนั้นควรทำการตรวจสอบน้ำดื่มบรรจุขวดชนิดพลาสติกใสที่จำหน่ายในจังหวัดสุรินทร์ประเทศไทย ถึงคุณภาพทางด้านอื่นๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยาและภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- บุญเลื่อน พรหมประทานกุล. ระนองระดมแจกน้ำดื่ม อาหารช่วยผู้ประสบภัยน้ำป่าไหลหลาก. 2561. ได้จาก <https://77kaoded.com/ระนอง-ระดมแจกน้ำดื่ม-อาหาร/วันที่ค้นข้อมูล 10 สิงหาคม 2561>.
- Food and Drug Administration. Notification of Ministry of Public Health Notification, No. 61 (1981) entitled "The water for consumption in sealed container". 1981. Available from: <http://elib.fda.moph.go.th/elib/cgi-bin/opacexe?lang=1&cat=gen&pat>. Accessed February 23, 2018. (in Thai)
- Gray NF. Drinking Water Quality Problems and Solutions. (second ed.). Cambridge: United Kingdom at the University Press; 2008.
- สุภัณฑิต นิมรัตน์, วีรพงษ์ สุพรรณพันธ์, วีรพงษ์ วุฒิพันธ์ชัย. คุณภาพของน้ำดื่มบรรจุขวดในจังหวัดกาญจนบุรี ประเทศไทย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2557; 34(1): 63-73.
- สุภัณฑิต นิมรัตน์, วีรพงษ์ วุฒิพันธ์ชัย. คุณภาพทางด้านกายภาพและจุลชีววิทยาของน้ำดื่มบรรจุขวดใส่ที่จำหน่ายในจังหวัดน่าน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2557; 16(3): 57-64.
- Nimrat S, Banjertjaradlert H, Vuthiphandchai V. Assessment of quality of bottled drinking water distributed in Chon Buri Province. Journal of Science and Technology Mahasarakham University. 2014; 33(5): 454-459. (in Thai)
- American Public Health Association, American Water Works Association & Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of water and Waste water. (21thed.). Washington DC: American Public Health Association; 2005.
- U.S. Food and Drug Administration. BAM 4: Enumeration of *Escherichia coli* and the Coliform Bacteria. 2002. Available from: <https://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm064948.htm>. Accessed March 7, 2018.
- Downes FP, Ito K. Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Foods (fourth ed.). Washington, DC: American Public Health Association; 2001.
- Nimrat S, Supannapan K, Vuthiphandchai V. Quality assessment of drinking water in sealed bottles sold in Phichit province, Thailand. RMUTI Journal. 2016; 9(3): 137-150. (in Thai)
- สมศักดิ์ วรคามิน. น้ำดื่มในอุดมคติ โดย ศ.ดร.นพ. สมศักดิ์ วรคามิน. 2549. ได้จาก <http://www.bloggang.com/viewblog.php?id=bannhom&date=16-02-2009&group=1&gblog=22> วันที่ค้นข้อมูล 25 เมษายน 2561.
- ชัยวัฒน์ ทวีวิวัฒน์กุล. เครื่องกรองน้ำกิฟเฟอ-รีนอัลคาไลน์. ได้จาก <http://www.waterpurifier-th.com/Alkaline-WaterBenefits.html> วันที่ค้นข้อมูล 25 เมษายน 2561.
- แสวง เกิดประทุม. ทำไมน้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบ RO จึงมีความเป็นกรดมากขึ้น. ได้จาก <http://www.waterpurifier.th.com/AlkalineWaterBenefits.html> วันที่ค้นข้อมูล 25 เมษายน 2561.
- ปราโมช เขียวชาญ. น้ำดื่มในสถานประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม. 2552. ได้จาก <http://www.stou.ac.th> วันที่ค้นข้อมูล 28 มกราคม 2556.
- คมปทิต สกุลหวง. งานวิจัยสหรรัฐ พบน้ำดื่มบรรจุขวดกว่า 90 % มีอนุภาคพลาสติกเจือปน. 2561. ได้จาก <https://thestandard.co/microplastics-found-in-more-than-90-of-bottled-water> วันที่ค้นข้อมูล 16 มีนาคม 2561.

การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำของน้ำตกของอุทยานแห่งชาติภูเรือ Comparison of Water Quality of Waterfalls in Phu Ruea National Park

สุนันทา เนตะคำ¹, สุนันทา เลาวันศิริ^{2*}

Sunanta Natakam¹, Sunantha Laowansiri^{2*}

Received : 1 May 2018 ; Accepted : 16 July 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำตกของอุทยานแห่งชาติภูเรือ โดยศึกษาน้ำตกจำนวน 4 แห่ง คือ น้ำตกห้วยไผ่ น้ำตกหินสามชั้น น้ำตกห้วยเตย และน้ำตกเลิศพบ ทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีการจ้วงตัก ช่วงเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง 3 ช่วง คือ ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด เก็บตัวอย่างเวลา 08.00 น. – 16.00 น. โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 – เดือนกรกฎาคม 2558 พารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำตก ได้แก่ พีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น บีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ ที่เคเอ็น ของแข็งแขวนลอย และแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด

ผลการศึกษาคูณภาพน้ำผิวดินของน้ำตกทั้ง 4 แห่ง เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำของน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ พบว่า น้ำตกห้วยไผ่ น้ำตกหินสามชั้น และน้ำตกเลิศพบ จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ในขณะที่น้ำตกห้วยเตยช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ในขณะที่ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย น้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ ทั้ง 4 แห่ง จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ น้ำตก อุทยานแห่งชาติภูเรือ

Abstract

The purpose of this research was to study waterfall quality of Phu Ruea National Park. Four waterfalls were selected as sampling locations; namely Huai Phai Waterfall, Hin Sam Chan Waterfall, Huai Toei Waterfall and Lead Phob Waterfall. Grab samples and water samples were collected in three periods; during low, medium and high number of tourists. Samples were collected from 08:00 am to 04:00 pm during February 2015 - July 2015. Waterfall quality parameters were pH, Temperature, Turbidity, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Dissolved Oxygen (DO), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Suspended Solids (SS) and Total Coliform Bacteria. The magnitude of the treatment was analyzed by One Way ANOVA. In addition, the data obtained were analyzed by computer program, mean, standard deviation with the Least Significance Difference (LSD) method which was set at 0.05 level of significance.

During the period of high number of tourists, water quality was classified in the 4th class of surface water quality standard. During the period of medium number of tourists, Huai Phai Waterfall, Hin Sam Chan Waterfall and Lert Phob Waterfall were also classified in the 4th class surface water quality standard, while Huai Toei Waterfall was classified in the 3rd class surface water quality standard. During the period of low number of tourists, water qualities of the four waterfalls were classified in the 5th class surface water quality standard.

Keywords: Water Quality, Waterfall, Phu Ruea National Park

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate students, ² Asst.Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand

* Corresponding author; Asst. Prof. Sunantha Laowansiri, Ph.D. Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. E-mail: sunantha.l@msu.ac.th

บทนำ

อุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ที่ชื่อนานานามว่า "ภูเรือ" เพราะมีภูเขาสูงหนึ่งมีชะง่อนผายื่นออกมาดูคล้ายเรือสำเภาใหญ่ และที่ราบบนยอดเขามีลักษณะคล้ายท้องเรือตลอดจนมีธรรมชาติและทิวทัศน์ที่สวยงาม จัดตั้งเป็นอุทยานแห่งชาติ เมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม 2522 นับเป็นอุทยานแห่งชาติลำดับที่ 16 ของประเทศ เป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงระดับประเทศ ตลอดจนมีทิวทัศน์ที่สวยงามและมีน้ำตกที่ขึ้นชื่อหลายแห่ง เช่น น้ำตกห้วยไผ่ น้ำตกหินสามชั้น น้ำตกห้วยเตย และน้ำตกเลิศพบ¹ เป็นต้น นักท่องเที่ยวได้หลงใหลมาเที่ยวที่อุทยานแห่งชาติภูเรือเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2554, 2555 และ 2556 มีนักท่องเที่ยวจำนวน 132,435 140,907 และ 94,871 คน ตามลำดับ โดยเดือนที่มีนักท่องเที่ยวมากที่สุด คือเดือนธันวาคม² การปล่อยให้มีการเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวที่มากเกินไปเกินการรองรับของแหล่งท่องเที่ยวอาจก่อให้เกิดปัญหาในการจัดการทรัพยากรธรรมชาติของอุทยาน เช่น ปัญหามลพิษทางน้ำจากการท่องเที่ยว ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพน้ำของน้ำตกปัญหาการทิ้งขยะจากการท่องเที่ยว การทำลายทรัพยากรธรรมชาติจากความไม่ตั้งใจของนักท่องเที่ยว รวมทั้งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติจากกิจกรรมนันทนาการต่างๆ และอาจส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวในระยะยาว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะเปรียบเทียบคุณภาพน้ำของน้ำตกกับเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดินในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำของน้ำตกกับเกณฑ์คุณภาพน้ำผิวดินในอุทยานแห่งชาติภูเรือ ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. วัสดุและอุปกรณ์

1. กระบอกและขวดเก็บน้ำ
2. เครื่องมือในการตรวจวัดคุณภาพน้ำผิวดิน
3. ปีกเกอร์
4. หลอดหยด
5. เครื่องชั่งอย่างละเอียด
6. ถ้วยระเหย 100 มล.
7. ชุดกรอง
8. กรวยบุคเนอร์ขนาด 100 ลบ.ซม.
9. ขวดรูปชมพู่
10. กระบอกตวง
11. อุปกรณ์กรองประกอบด้วยที่ยึด Filter แบบ

Gooch crucible adapter

2. วิธีการศึกษา

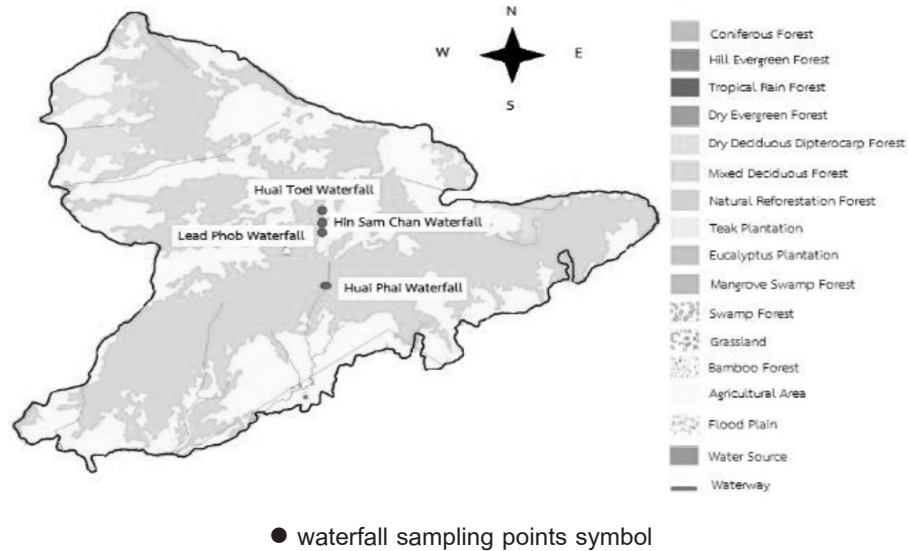
การเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ช่วง คือ ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด เก็บตัวอย่างน้ำเวลา 08.00 น.-16.00 น. โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 - เดือนกรกฎาคม 2558

สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ

สถานที่เก็บตัวอย่างน้ำ ณ อุทยานแห่งชาติภูเรือ น้ำตก 4 แห่ง ได้แก่ น้ำตกห้วยไผ่ น้ำตกหินสามชั้น น้ำตกห้วยเตย และน้ำตกเลิศพบ (Figure 1)

การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บตัวอย่างน้ำตก โดยเก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก (Garb sample) การเก็บตัวอย่างน้ำตกเพื่อวิเคราะห์ค่าอุณหภูมิ ความขุ่น พีเอช ออกซิเจนละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย บีโอดี และทีเคเอ็น โดยเก็บน้ำตกที่กึ่งกลางความกว้างและความลึกของลำน้ำ และเลือกเก็บน้ำที่บริเวณน้ำค่อนข้างนิ่งและอยู่ห่างออกจากบริเวณน้ำตก ในขณะที่ค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดเก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร



● waterfall sampling points symbol
Figure 1 Waterfall sampling points of Phu Ruea National Park

วิธีการทดลอง

ทำการเก็บตัวอย่างแต่ละแห่ง 4 ครั้ง (แต่ละครั้งวิเคราะห์ 3 ซ้ำ) โดยงานวิจัยเป็นเชิงสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ผู้วิจัยใช้แผนการทดลองแบบ 4 x 3 Factorial in CRD โดยมีปัจจัยหลัก ได้แก่

- Huai Phai = น้ำตกห้วยไผ่
- Hin Sam Chan = น้ำตกหินสามชั้น
- Huai Toei = น้ำตกห้วยเตย
- Lead Phob = น้ำตกเลศพบ
- ปัจจัยรอง ได้แก่

Low visitor = ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย คือ ช่วงวันทำการวันจันทร์-ศุกร์ มีจำนวนนักท่องเที่ยวเฉลี่ย 81 คน

Medium visitor = ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ คือ ช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ มีจำนวนนักท่องเที่ยวเฉลี่ย 219 คน

High visitor = ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด คือ ช่วงวันหยุดนักขัตฤกษ์ มีจำนวนนักท่องเที่ยวเฉลี่ย 353 คน

ดังนั้นการทดลองนี้จึงประกอบด้วย 12 Treatment combination ดังนี้

- 1. Treatment 1 (T1) = Huai Phai + Low visitor

- 2. Treatment 2 (T2) = Huai Phai + Medium visitor
- 3. Treatment 3 (T3) = Huai Phai + High visitor
- 4. Treatment 4 (T4) = Hin Sam Chan + Low visitor
- 5. Treatment 5 (T5) = Hin Sam Chan + Medium visitor
- 6. Treatment 6 (T6) = Hin Sam Chan + High visitor
- 7. Treatment 7 (T7) = Huai Toei + Low visitor
- 8. Treatment 8 (T8) = Huai Toei + Medium visitor
- 9. Treatment 9 (T9) = Huai Toei + High visitor
- 10. Treatment 10 (T10) = Lead Phob + Low visitor
- 11. Treatment 11 (T11) = Lead Phob + Medium visitor
- 12. Treatment 12 (T12) = Lead Phob + High visitor

Table 1 Analysis of waterfalls sample

Parameter	Method of analysis
pH	pH Meter
Temperature	Thermometer measurement during sampling
Turbidity	Turbidity Meter
BOD (Biochemical Oxygen Demand)	Azide Modification at 20 °C for 5 consecutive days
DO (Dissolved oxygen)	Azide Modification
Total Kjeldahl Nitrogen	Kjeldahl
Suspended Solid	Glass Fiber Filter at temperature 103-105 °C
Total Coliform Bacteria	Multiple Tube Fermentation Technique

ทำการทดลอง 4 ซ้ำ ในแต่ละ Treatment combination แล้ววัดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

- pH
- Temperature
- Turbidity
- Biochemical Oxygen Demand
- Dissolved Oxygen
- Total Kjeldahl Nitrogen
- Suspended Solid
- Total Coliform Bacteria

ซึ่งวิธีวิเคราะห์น้ำตกในงานวิจัยดัง Table 1 ตามเกณฑ์มาตรฐานการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและน้ำเสีย³

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ ดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของชุดทดลองตัวอย่าง แต่ละชุดมี 4 ซ้ำ จึงวิเคราะห์ข้อมูลโดยหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ทดสอบอิทธิพลของทรีทเมนต์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน Analysis of Varian (ANOVA) และการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย วิธี Least Significance Difference (LSD) โดยใช้ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P < 0.05$)^{4, 5}

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

คุณภาพน้ำตกทางกายภาพ

น้ำตกทั้ง 4 แห่งในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ พบว่าสีของน้ำตกหินสามชั้น มีลักษณะค่อนข้างขุ่น และมีกลิ่นเหม็นซึ่งเกิดจากใบไม้ที่ร่วงทับถมเนื่องจากน้ำตกแห่งนี้ไม่มีการไหลของน้ำตก มีน้ำขัง ในหน้าแล้งมีน้ำแห้งขุด มีนักท่องเที่ยวมากเพราะเป็นน้ำตกที่อยู่ใกล้ที่ทำการอุทยานไม่ต้องเดินไกล น้ำตกห้วยไผ่ลักษณะของน้ำมีสีใส ไม่มีกลิ่นแต่มีความขุ่นอยู่บ้างเล็กน้อย ไม่ค่อยมีนักท่องเที่ยวไปเที่ยว เนื่องจาก น้ำตกห้วยไผ่ อยู่ไกล ต้องใช้เวลาในการเดินทางมาก น้ำตกห้วยเตย ลักษณะของน้ำมีสีใส ไม่มีกลิ่นและมีความขุ่นเล็กน้อย น้ำตกเลิศพบ ลักษณะสีของน้ำใสมาก ไม่มีกลิ่น เนื่องจากมีการไหลของน้ำและมีนักท่องเที่ยวนิยมไปเที่ยว เนื่องจากอยู่ไม่ไกลจากที่ทำการอุทยาน

การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำตกทั้ง 4 แห่งของอุทยานแห่งชาติภูเรือ

Table 2 แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดน้ำตก และชนิดของช่วงจำนวนนักท่องเที่ยว (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11 และ T12) กับความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ของคุณภาพน้ำ

Table 2 The interaction between type of waterfall and type of visitor number period for the relationship of the various waterfall quality parameter

Parameters	Waterfall + Visitor number period												SEM	P-value
	Huai Phai			Hin Sam Chan			Huai Toei			Lead Phob				
	Low (T1)	Medium (T2)	High (T3)	Low (T1)	Medium (T2)	High (T3)	Low (T1)	Medium (T2)	High (T3)	Low (T1)	Medium (T2)	High (T3)		
pH	6.667	6.870	6.838	5.805	5.862	5.525	5.050	5.790	5.625	6.117	6.300	5.713	0.266	0.561
Temperature (°C)	24.900	23.400	23.200	23.625	21.625	22.900	25.025	24.000	22.775	25.350	23.650	24.575	1.247	0.970
Turbidity (NTU)	6.328	3.963	8.365	12.678	7.833	15.787	9.175	8.218	6.285	3.380	3.803	7.315	2.798	0.688
BOD (mg/L)	5.900	3.100	5.830	6.235	1.925	5.700	7.495	2.513	3.873	7.750	2.045	2.335	2.122	0.885
DO (mg/L)	6.630	3.040	2.100	5.603	8.353	5.155	19.420	5.028	4.860	5.935	4.535	4.650	3.874	0.390
TKN (mg/L)	2.020	2.153	2.390	1.555	1.360	2.490	2.550	1.605	2.080	1.690	1.625	1.355	0.372	0.333
SS (mg/L)	2.068	1.563	2.165	3.175	3.758	4.827	3.588	5.740	4.015	2.562	1.737	3.075	0.646	0.153
Total Coliform (MPN/100 mL)	95.950 ^b	122.650 ^b	125.750 ^b	91.050 ^b	115.150 ^b	236.075 ^a	96.750 ^b	123.500 ^b	94.243 ^b	141.450 ^b	115.138 ^b	148.750 ^b	20.583	0.005

Remark: pH is Potential of Hydrogen Ion, BOD is Biochemical Oxygen Demand, DO is Dissolved Oxygen, TKN is Total Kjeldahl Nitrogen, SS is Suspended Solid,

SEM is Standard Error in Mean; () is parameter of unit

a, b with difference letter show significant statistical difference (P<0.05)

Table 3 The interaction type of waterfall and type of visitor number period for the relationship of the various waterfall quality parameters

Parameters	Type of waterfall				SEM	P- value	Type of visitor number period			SEM	P- value
	Huai Phai	Hin Sam Chan	Huai Toei	Lead Phob			Low	Medium	High		
pH	6.792 ^a	5.731 ^b	5.488 ^b	6.043 ^b	0.154	<0.001	5.910 ^a	6.206 ^a	5.925 ^a	0.133	0.223
Temperature (° C)	23.833 ^a	22.717 ^a	23.933 ^a	24.525 ^a	0.720	0.362	24.725 ^a	23.169 ^a	23.362 ^a	0.624	0.172
Turbidity (NTU)	6.218 ^b	12.099 ^a	7.893 ^a	4.832 ^b	1.616	0.018	7.890 ^a	5.954 ^a	9.438 ^a	1.399	0.225
BOD (mg/L)	4.943 ^a	4.620 ^a	4.627 ^a	4.043 ^a	1.225	0.963	6.845 ^a	2.396 ^b	4.434 ^a	1.061	0.019
DO (mg/L)	3.923 ^a	6.370 ^a	9.769 ^a	5.040 ^a	2.237	0.294	9.397 ^a	5.239 ^a	4.191 ^a	1.937	0.147
TKN (mg/L)	2.188 ^a	1.802 ^a	2.078 ^a	1.557 ^b	0.215	0.174	1.954 ^a	1.686 ^a	2.079 ^a	0.186	0.322
SS (mg/L)	1.932 ^c	3.920 ^a	4.448 ^a	2.458 ^b	0.373	<0.001	2.848 ^a	3.199 ^a	3.521 ^a	0.323	0.349
Total Coliform Bacteria (MPN/100 mL)	114.783 ^a	147.425 ^a	104.831 ^b	135.112 ^a	11.884	0.065	106.300 ^b	119.109 ^b	151.204 ^a	10.292	0.012

Remark: pH is Potential of Hydrogen Ion, BOD is Biochemical Oxygen Demand, DO is Dissolved Oxygen, TKN is Total Kjeldahl Nitrogen, SS is Suspended Solid, SEM is Standard Error in Mean; () is parameter of unit

a, b, c with difference letter show significant statistical difference (P<0.05)

ค่าพีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น บีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ ที่เคเอ็น และของแข็งแขวนลอย มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 ในขณะที่แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 และ Table 2 พบว่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยพบว่าน้ำตกหินสามชั้น ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด (T6) มีค่าแบคทีเรีย โคลิฟอร์มสูงที่สุด เท่ากับ 236.075 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร เนื่องจากน้ำตกแห่งนี้ไม่มีการไหลของน้ำ และมีใบไม้ทับถม และมีจำนวนนักท่องเที่ยวมาทำกิจกรรมมากที่สุดเนื่องจากอยู่ใกล้ ทำให้น้ำตกหินสามชั้นมีค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดที่สูงกว่าน้ำตกแห่งอื่นๆ ในขณะที่น้ำตกห้วยไผ่ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด น้ำตกหินสามชั้นช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ น้ำตกห้วยเตยช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด และน้ำตกเลิศพบช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 จากการศึกษาปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดค่าสูงสุดไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดิน⁶ ประเภทที่ 2 ที่ได้กำหนดไว้ไม่เกินกว่า 5,000 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร จากงานวิจัยของแสงสวรรค์ และนภวรรณ⁶ ได้ศึกษาผลกระทบของกิจกรรมนันทนาการต่อคุณภาพน้ำในแหล่งนันทนาการทางธรรมชาติกรณีศึกษาอุทยานแห่งชาติเอราวัณ พบว่าคุณภาพน้ำโดยภาพรวมบริเวณน้ำตกเอราวัณอยู่ในเกณฑ์ดี และปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดโดยเฉลี่ยบริเวณน้ำตกเอราวัณมีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงกลางวัน และสูงสุดเมื่อเวลา 16.00 น. เท่ากับ 553.00 เอ็มพีเอ็นต่อ 100 มิลลิลิตร และมีแนวโน้มลดลงจนเริ่มคงที่เมื่อ 20.00 น. ซึ่งเมื่อพิจารณาจากเวลาที่ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดมีค่าสูงสุดจนถึงเวลาที่ปริมาณแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดลดลงจนมีแนวโน้มคงที่พบว่าใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง

Table 3 แสดงอิทธิพลร่วมของชนิดน้ำตกกับความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ของคุณภาพน้ำทั้ง 4 แห่ง พบว่าค่าพีเอชมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยค่าพีเอชของน้ำตกห้วยไผ่สูงที่สุดเท่ากับ 6.792 ซึ่ง

สอดคล้องกับมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดิน⁶ พบว่าค่าพีเอชของคุณภาพน้ำตามธรรมชาติจะอยู่ในช่วง 5-9 รองลงมาได้แก่ น้ำตกเลิศพบ น้ำตกหินสามชั้น และน้ำตกห้วยเตย ค่าความขุ่นมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 ค่าความขุ่นสูงสุดคือน้ำตกหินสามชั้นและน้ำตกห้วยเตย มีค่าความขุ่นเท่ากับ 12.099 เอ็นทียู และ 7.893 เอ็นทียู อาจมีสาเหตุมาจากน้ำตกหินสามชั้นมีใบไม้ร่วงทับถมและมีจำนวนนักท่องเที่ยวเข้ามาใช้บริการมากกว่าน้ำตกอื่นๆ ทำให้น้ำตกหินสามชั้นมีความขุ่นที่สูงกว่าน้ำตกอื่นๆ จากงานวิจัยของรพีพรรณ และเกตุสุดา⁷ ได้ศึกษาผลการวัดค่าความขุ่นในน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูกระดึง 6 แห่ง ได้แก่ น้ำตกวังกว้าง น้ำตกเพ็ญพบ น้ำตกเพ็ญพบใหม่ น้ำตกถ้ำใหญ่ น้ำตกธารสวรรค์และน้ำตกโผนพบ พบว่าค่าความขุ่น ในน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติ ภูกระดึงทั้ง 6 แห่ง มีค่าอยู่ระหว่าง 0.73-8.11 เอ็นทียู โดยน้ำตกวังกว้างมีค่าความขุ่นสูงสุดเท่ากับ 8.11 เอ็นทียู พบว่าน้ำตกวังกว้างเป็นน้ำตกที่อยู่ใกล้สถานประกอบการมีการปล่อยน้ำทิ้งจากการทำกิจกรรมต่างๆ เป็นเหตุให้น้ำตกวังกว้างมีค่าความขุ่นสูงกว่าน้ำตกอื่นๆ โดยในการศึกษานี้ค่าของแข็งแขวนลอย มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 ค่าของแข็งแขวนลอยสูงสุดคือน้ำตกห้วยเตยและน้ำตกหินสามชั้น มีค่าเท่ากับ 4.448 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 3.920 มิลลิกรัมต่อลิตร รองลงมาได้แก่ น้ำตกเลิศพบ และน้ำตกห้วยไผ่ มีค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 2.458 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 1.932 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ศึกษาอิทธิพลของชนิดน้ำตก พบว่าไม่มีผลต่ออุณหภูมิ บีโอดี ออกซิเจนละลายน้ำ ที่เคเอ็น และแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด แต่เมื่อศึกษาอิทธิพลชนิดของช่วงจำนวนนักท่องเที่ยว พบว่าชนิดของช่วงจำนวนนักท่องเที่ยวไม่มีผลต่อค่าพีเอช อุณหภูมิ ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ ที่เคเอ็น และของแข็งแขวนลอย ในขณะที่ค่าบีโอดีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 โดยมีค่าบีโอดีมากที่สุดในช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อยและนักท่องเที่ยวสูงสุด มีค่าเท่ากับ 6.845 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 4.434 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติมีค่าบีโอดีน้อยที่สุดเท่ากับ 2.396 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดน้ำตก และชนิดของช่วงจำนวนนักท่องเที่ยว (T1 ถึง T12)

Table 4 The surface water quality standards of waterfalls in Phu Ruea National Park

Tourist range	Waterfall	Surface water type
Low visitor	Huai Phai	Surface water source type 4
	Hin Sam Chan	Surface water source type 4
	Huai Toei	Surface water source type 4
	Lead Phob	Surface water source type 4
Medium visitor	Huai Phai	Surface water source type 4
	Hin Sam Chan	Surface water source type 4
	Huai Toei	Surface water source type 3
	Lead Phob	Surface water source type 4
High visitor	Huai Phai	Surface water source type 5
	Hin Sam Chan	Surface water source type 5
	Huai Toei	Surface water source type 5
	Lead Phob	Surface water source type 5

Table 4 แสดงเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน⁶ ของน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ ทั้ง 4 แห่ง ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 คือ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภค โดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน และเพื่อการอุตสาหกรรม ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ น้ำตกหินสามชั้น และน้ำตกเลิศพบ จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ในขณะที่น้ำตกห้วยเตย จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน และการเกษตร และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย น้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ ทั้ง 4 แห่ง จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 คือ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม งานวิจัยของนพมาศ⁹ ได้ศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อคุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยา บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลาง และตอนล่าง โดยศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้ง 3 เขต คือ เขตชุมชน เขตเกษตรกรรม และอุตสาหกรรม พบว่าเขตชุมชนมีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดิน ประเภทที่ 4 และในเขตเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมคุณภาพน้ำจัดอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5 งานวิจัยของ

วรางค์ลักษณ์ และชัยวัฒน์¹⁰ ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนเมืองจังหวัดพิษณุโลก การดำเนินการวิจัยใช้วิธีเก็บ ตัวอย่างน้ำแบบตัวอย่างเดี่ยวที่กลางแม่น้ำของแม่น้ำน่านในพื้นที่เกษตรกรรมอันได้แก่ อำเภอพรหมพิราม และชุมชนเมืองในเขต อำเภอเมือง พื้นที่ละ 3 จุด นำมาวิเคราะห์หาอุณหภูมิ พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ และ บีโอดีของน้ำเดือนละ 1 ครั้งทุกเดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2542-สิงหาคม 2543 ผลการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ พีเอช ความขุ่น ออกซิเจนละลายน้ำ และบีโอดีแปรผันตามฤดูกาลเป็นหลัก เมื่อนำคุณภาพน้ำมาจัดประเภทแหล่งน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน โดยประเภทที่ 1 มีคุณภาพดีที่สุดจนถึงประเภทที่ 5 มีคุณภาพแย่มากที่สุด ผลปรากฏว่า คุณภาพน้ำโดยรวมส่วนใหญ่จัดเป็นแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สรุปได้ว่าแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่ทั้งสองสามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำประปาได้ โดยแม่น้ำน่าน ช่วงที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรมีคุณภาพดีเหมาะสมสำหรับการทำการเกษตร ในขณะที่คุณภาพน้ำช่วงที่ไหลผ่านชุมชนเมืองสามารถนำไปใช้เพื่อการอุตสาหกรรมได้ แสดงให้เห็นว่าแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม อำเภอพรหมพิรามมีคุณภาพดีกว่าช่วงที่ไหลผ่านชุมชนเมือง และงานวิจัยพัชรี และคณะ¹¹ ได้ศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำมูลที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอเมือง อำเภอพิบูลย์มังสาหารและอำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี โดยเก็บตัวอย่างน้ำในฤดูหนาว ฤดูแล้ง และฤดูฝน ปี 2545-2546 พบว่าน้ำมูลมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

ประเภทที่ 3 ซึ่งมีคุณภาพเหมาะสมสำหรับการท่องเที่ยวได้

สรุปผลการวิจัย

คุณภาพน้ำของน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ จากการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินในบริเวณอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย พบว่าน้ำตกหินสามชั้น ช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุดมีค่าแบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมดมากที่สุด ส่งผลให้คุณภาพน้ำต่ำที่สุด เนื่องจากน้ำตกแห่งนี้ไม่มีกรไลของน้ำ และมีใบไม้ทับถม และมีจำนวนนักท่องเที่ยวมาทำกิจกรรมมากที่สุดเนื่องจากอยู่ใกล้และเดินทางมาสะดวก โดยการศึกษาพบว่าช่วงที่มีนักท่องเที่ยวสูงสุด น้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือทั้ง 4 แห่ง จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 เช่นเดียวกับช่วงที่มีนักท่องเที่ยวปกติ น้ำตกห้วยไผ่ น้ำตกหินสามชั้นและน้ำตกเลิศพบ จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ห้วยเตย จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 และช่วงที่มีนักท่องเที่ยวน้อย น้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือทั้ง 4 แห่ง จัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 5

ข้อเสนอแนะ

1. เสนอแนะให้อุทยานแห่งชาติภูเรือจำกัดจำนวนนักท่องเที่ยว และมีการเพิ่มแนวทางในการปิดอุทยานภูเรือในช่วงฤดูแล้ง (หน้าร้อน) ที่น้ำตกแห่งนี้ขอ เพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำและลดปัญหาที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำตก
2. งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณภาพน้ำตกในช่วงฤดูร้อน ดังนั้นเพื่อให้งานวิจัยสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรทำงานวิจัยทั้ง 3 ฤดู เป็นระยะเวลา 1 ปี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติภูเรือ ขอขอบคุณทุนอุดหนุนงานวิจัยจากงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. อุทยานแห่งชาติภูเรือ. ข้อมูลอุทยานแห่งชาติภูเรือ. 2557. ได้จาก : <http://www.dnp.go.th/parkreserve/forprint.asp?npid=33&lg=1> Sep.28, 2014.
2. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ได้จาก : <http://www.dnp.go.th/otec/application/application.htm> Sep.1, 2014.

3. American Water Works Association/ American Public Works Association/Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22nd ed. Washington, D.C.; 2012.
4. นิภาพร ชุตินันต์. การออกแบบการทดลองเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1 มหาสารคาม: หจ.ก.อภิชาติการพิมพ์; 2559.
5. อนันต์ชัย เชื้อนธรรม. วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2549.
6. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537). ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537.
7. รพีพรรณ เพ็ชรอยู่, เกศสุดา เบญจพรหม. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตกในเขตอุทยานแห่งชาติภูกระดึง. วิจัยปฏิบัติการสิ่งแวดล้อมชุมชน. หลักสูตรการจัดการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากร คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2554.
8. แสงสรรค์ ภูมิสถาน, นภวรรณ ฐานะกาญจน์. ผลกระทบของกิจกรรมนันทนาการต่อคุณภาพน้ำในแหล่งนันทนาการทางธรรมชาติ : กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติเอราวัณ. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2547.
9. นพมาศ นิพนธ์กิจ. การศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อคุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และชีววิทยา บริเวณแม่น้ำท่าจีนตอนกลางและตอนล่าง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2547.
10. วรศักดิ์ลักษณะ ช่อนกลิ่น และชัยวัฒน์ โพธิ์ทอง. คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนเมืองจังหวัดพิษณุโลก. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2548; 13(1): 37-44.
11. พัชรี บุญศิริ, ประดิษฐ์ สุคนธวารินทร์, เปรมใจ อารีจิตรา นุสรณ์, รวี หาญเผชิญ และธาดา สุทธิธรรม. คุณภาพน้ำในแม่น้ำมูลที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา และจังหวัดอุบลราชธานี เพื่อการท่องเที่ยวทางน้ำ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2551; 13(1):153-162.

การเสริมก้อนเชื้อเห็ดนางรมฮังการี (*Pleurotus ostreatus*) เหลือทิ้งในอาหารไก่ไข่ต่อ การย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ จุลินทรีย์ในซีกัม จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก สมรรถภาพ การผลิต คุณภาพไข่ และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง

Effects of Spent Oyster Mushroom (*Pleurotus ostreatus*) Substrates (SOMS) Supplementation in Laying Hens Diets on Apparent Nutrient Digestibility, Cecal Microbiota, Small Intestinal Histomorphology, Productive Performance, Egg Quality and Fatty Acid Composition of Yolk

มนัสนันท์ นพรัตน์^{1*}, วรางคณา กิจพิพิธ¹, ชนะชัย วงษ์เพ็ชร¹

ชยาทิติย์ กฤตโยภาส¹, พิทยุตม์ ลีอวนิชกิจ¹, อณัญญา ปานทอง²

Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Warangkana Kitpipit¹, Chanachai Wongphetch¹,

Chayatid Kridtayopas¹, Pittayut Luewanidchakid¹, Anunya Panthong²

Received : 22 May 2018 ; Accepted : 8 August 2018

บทคัดย่อ

การศึกษาผลของการเสริมก้อนเชื้อเห็ดนางรมฮังการีเหลือทิ้ง (spent oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) substrates: SOMS) ในอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถภาพการผลิต การย่อยได้ปรากฏของโภชนะ จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก และคุณภาพผลผลิต โดยใช้ไก่ไข่สายพันธุ์ Hisex Brown[®] จำนวน 480 ตัว อายุ 30 สัปดาห์ ทำการเลี้ยงในโรงเรือนเปิดภายใต้สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติและวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ ประกอบด้วย 6 ทรีทเมนต์ 4 ซ้ำ คือ อาหารไก่ไข่ที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลือง เป็นพื้นฐานและเสริมที่ระดับ 0 (ควบคุม), 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม ไก่ไข่ทั้งหมดได้รับอาหารที่มีค่าโภชนะโปรตีน หยาบเท่ากับ 18 เปอร์เซ็นต์ และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2,850 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมตามคำแนะนำของ NRC (1994) การทดลองนี้ใช้เวลาทดลองทั้งหมด 3 ช่วง ช่วงละ 28 วัน โดยจำกัดปริมาณการให้อาหารประมาณ 110 กรัมต่อตัวต่อวันและให้น้ำสะอาดแบบเติมที่ ผลการทดลอง พบว่า การเสริม SOMS ที่ระดับ 0-30 กรัมต่อกิโลกรัมไม่ส่งผลต่อการย่อยได้ปรากฏของวัตถุดิบแห้งและพลังงานรวม ($P < 0.05$) อีกทั้งการเสริม SOMS ในอาหารสามารถเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactic acid และ *Enterococcus* sp. ($P < 0.05$) และ ลดจำนวนของจุลินทรีย์ *Salmonella* sp. และ *Escherichia coli* ในไส้ตัน ($P < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้การเสริม SOMS ในอาหารช่วยเพิ่มความสูงของวิลลัสของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม และเพิ่มความลึกของครีปที่ออปโพลเบอร์คิวของของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและเจจูนัม รวมถึงเพิ่มพื้นที่ผิวของลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมและไอเลียม ($P < 0.05$) หากแต่การเสริม SOMS ที่ระดับ 0-10 กรัมต่อกิโลกรัมไม่ส่งผลต่อน้ำหนักไข่เฉลี่ย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และต้นทุนการผลิตไข่ 1 กิโลกรัม ($P > 0.05$) นอกจากนี้ยัง พบว่า การเสริม SOMS ทุกระดับในอาหารไก่ไข่ยังสามารถผลิตไข่ไก่ที่มีคอเลสเตอรอลต่ำ ($P < 0.05$) ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าสามารถใช้ SOMS ในอาหารไก่ไข่ระดับ 10 กรัมต่อกิโลกรัม เพื่อเพิ่มความสูงวิลลัสของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม อีกทั้งยังเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มที่มีประโยชน์ และการลดคอเลสเตอรอลในไข่แดง

คำสำคัญ: ก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้ง เห็ดนางรม ปริไบโอติกส์ อาหาร และไก่ไข่

¹ คณะสัตวศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสารสนเทศเพชรบุรี ต. สามพระยา อ.ชะอำ จ. เพชรบุรี

² คณะสัตวศาสตร์ วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี ต. สามพระยา อ.ชะอำ จ. เพชรบุรี

¹ Faculty of Animal Science and Agricultural Technology, Silpakorn University, Phetchaburi IT Campus, Sam Phraya, Cha-Am, Phetchaburi, 76120. Thailand.

² Faculty of Animal Science, Petchaburi Collage of Agricultural and Technology, Sam Phraya, Cha-Am, Phetchaburi.

* E-mail: Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

Abstract

This study was conducted to examine supplementation of (spent oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) substrates: SOMS) in laying hen diets on productive performance, apparent digestibility, intestinal histomorphology, microbiota, and yield quality. Four hundred and eighty laying hens (Hisex Brown[®]), 30 weeks of age, were raised under ambient temperature and assigned in a completely randomized design (CRD) with six dietary treatments and four replications per treatment. Dietary treatments were, corn-soy basal diet supplemented with 0 (control), 10, 20, 30, 40 และ 50 g/kg of SOMS respectively. All birds were fed with laying hen diets containing 18% of crude protein and 2,850 kcal/kg (ME) to meet nutrient requirements of poultry according to NRC (1994). Diets were restricted (110 g/h/d) throughout the study in 3 periods (28 day per period) and drinking water was offered *ad libitum* to the birds. The results showed that SOMS supplementation at 0-30 g/kg not significantly affect the apparent digestibility of dry matter, and gross energy ($P<0.05$). Supplementation of SOMS increased Lactic acid and *Enterococcus* sp. ($P<0.05$) and decreased *Salmonella* sp. and *Escherichia coli* in cecum different to control group ($P<0.05$). In addition, SOMS supplementation increased villous height in duodenum, cryptal depth in duodenum and jejunum, and villous surface area in jejunum and ileum ($P<0.05$). However, SOMS supplementation at 0-10 g/kg not significantly affect the average egg weight, FCR, and feed cost per 1 kg of egg ($P<0.05$). Furthermore, All level of SOMS Supplementation in layer hen diets may be a feasible means of producing eggs with lower cholesterol contents ($P<0.05$) for health conscious consumers. In conclusion, the result of the present study showed that supplemented 10 g/kg of SOMS can be used and has the potential as feedstuff enhancing intestinal histomorphology, microbiology of laying hens and decrease cholesterol level in yolk.

Keywords: Spent mushroom substrates, Oyster mushroom, Prebiotic, Laying hens, and Diets

บทนำ

เห็นมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่มีคุณค่าทางยาและเชื้อราบางชนิดถูกนำไปใช้ในการแพทย์ในแถบเอเชียและเมดิเตอร์เรเนียน¹ ซึ่งเห็นมีกิจกรรมหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประโยชน์ในการส่งเสริมสุขภาพ² เนื่องจากเห็นและสารสกัดจากเห็นมีสารออกฤทธิ์สำคัญที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระต้านเชื้อแบคทีเรียภูมิคุ้มกันและลดความเครียดในสัตว์เลี้ยงในฟาร์ม^{3,4} ทั้งนี้มีรายงานถึงการให้เห็นและสารสกัดจากเห็นชนิดต่างๆทดแทนในการใช้ยาปฏิชีวนะเพื่อเร่งการเจริญเติบโตในไก่เนื้อ⁵ การกระตุ้นปริมาณการกินได้ และส่งเสริมให้สัตว์มีการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น โดยเห็นหลายชนิดถูกนำมาใช้ในอาหารสัตว์ เช่น เห็นเข็มทอง เห็นชมพูอง และเห็นถั่วแดง เป็นต้น⁶ เนื่องจากโครงสร้างเห็นประกอบด้วยเยื่อใยอาหารที่ละลายได้ในน้ำ (soluble dietary fiber) คือ non starch glycan ประมาณ 442-901 กรัมต่อกิโลกรัม และกลูแคนในรูปแบบอื่น เช่น ไคติน และกาแลคโตแมนแนน เป็นต้น⁷ ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวจัดเป็นพรีไบโอติกส์ที่มีคุณสมบัติ คือ เอนไซม์ในลำไส้เล็กไม่สามารถย่อยได้⁸ ส่งผลให้สัตว์ไม่สามารถย่อยได้บริเวณลำไส้เล็กตอนบน⁹ หากแต่สามารถใช้ประโยชน์ได้โดยแบคทีเรีย บางชนิด เช่น *Bifidobacterium* และ *Lactobacillus* เป็นต้น ในการเลือก

กระตุ้นการเจริญเติบโต¹⁰ และการทำงานของแบคทีเรียบางชนิดในท่อทางเดินอาหาร ที่เรียกว่า bifidogenic factor กล่าวคือ ไบฟิโดแบคทีเรียและแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดอื่นสามารถ competitive exclusion กับจุลินทรีย์ก่อโรคและการต่อต้านจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ (antimicrobial)^{1,5,11} และไวรัส (antiviral) อีกทั้งยังช่วยกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน และลดความเครียด² ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอล¹² ทั้งนี้จังหวัดเพชรบุรีมีการเพาะเห็นเศรษฐกิจหลายชนิด เช่น เห็นนางรม เห็นหูหนู และเห็นฟาง เป็นต้น โดยภายหลังการเพาะเห็น พบว่า มีเศษก้อนเชื้อเห็นเหลือทิ้งจำนวนมาก ซึ่งเศษก้อนเชื้อเห็นเหลือทิ้งประกอบด้วย ลิกโนเซลลูโลส (linocellulosic material) ที่มีคุณสมบัติเป็นเยื่อใยที่ไม่ละลายในน้ำ (insoluble dietary fiber)¹³ ที่สามารถช่วยในการพัฒนาท่อทางเดินอาหาร การนำใช้ประโยชน์ในการพัฒนาการย่อยได้ของสัตว์ปีก การพัฒนากระเพาะบด การผลิตเอมไซม์ และการพัฒนาสมรรถภาพการผลิต นอกจากนี้เศษก้อนเชื้อเห็นเหลือทิ้งยังมีส่วนประกอบของเชื้อจุลินทรีย์ และ extra cellular enzymes¹⁴ นอกจากนี้จากยังพบกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลส และไซแลนเนส รวมถึงยังพบไฮฟาและเศษเห็นบางส่วน¹⁵ จากคุณสมบัติโดดเด่นของก้อนเชื้อเห็นเหลือทิ้ง คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำ SOMS มาประยุกต์ใช้ในอาหารไก่ไข่เพื่อพัฒนาการเลี้ยงไก่ไข่ให้มีประสิทธิภาพ

และต้นทุนต่ำ รวมถึงแก้ปัญหาเศษเหลือทิ้งของพื้นที่ และเป็นแนวทางพัฒนาศักยภาพการใช้ฐานทรัพยากรของพื้นที่เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ การทดลองครั้งนี้เป็นงานลำดับต้นๆ ของประเทศมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้แบบปรากฏของโภชนะ จุลินทรีย์ในซีกัม จุลกายวิภาคของลำไส้เล็ก สมรรถนะการผลิตคุณภาพไข่ และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การออกแบบการทดลอง อาหาร และสัตว์ทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้ SOMS ของศูนย์การเรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะเห็ด บ้านสามเรือน อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี ที่ประกอบด้วย วัตถุประสงค์

96.32% อินทรีย์วัตถุ 73.24% โปรตีนหยาบ 1.56% ไขมันรวม 1.62% เยื่อใยหยาบ 22.11% และ พลังงานรวม 2,549.12 kcal/kg ทั้งนี้ การทดลองครั้งนี้ใช้ไก่ไข่ Hisex Brown® อายุประมาณ 30 สัปดาห์ จำนวน 480 ตัว ที่เลี้ยงบนกรงตับ (battery cage) ภายใต้การจัดการและแสงธรรมชาติในโรงเรือนแบบเปิดสู่ลมเข้าสู่แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (completely randomized design: CRD) มีทั้งหมด 6 ทรีทเมนต์ ๆ ละ 4 ซ้ำ รวม 24 หน่วยทดลอง (n=20) ดังนี้ ทรีทเมนต์ที่ 1 คือ อาหารควบคุม ทรีทเมนต์ที่ 2, 3, 4, 5, และ 6 คือ อาหารเสริม SOMS ระดับ 10, 20, 30, 40, และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม การทดลองนี้ใช้อาหารไก่ไข่ระยะให้ไข่ที่มีข้าวโพดและกากถั่วเหลืองเป็นพื้นฐานมีโปรตีนหยาบ 18 % และพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ 2,850 kcal/kg ตามคำแนะนำของ NRC (1994)¹⁶

Table 1 Nutritive value of experimental diets (from chemical analysis)

Nutritive value	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)					
	0	10	20	30	40	50
Dry matter (%)	92.13	92.53	92.24	92.19	92.27	92.15
Crude protein (%)	18.25	18.14	18.06	18.12	18.13	18.21
Ether extract (%)	2.07	2.15	2.13	2.24	2.14	2.05
Crude fiber (%)	4.79	6.94	7.17	7.74	8.78	7.79
Ash (%)	14.21	13.76	14.12	14.12	14.32	14.30
Calcium (%)	4.52	4.39	4.31	4.34	4.46	4.49
Total phosphorus (mg/ml)	0.84	0.79	0.84	0.93	1.04	0.84
Gross energy (kcal/kg)	3,672.98	3,640.09	3,835.93	3,847.46	3,825.45	3,661.92

2. การวัดสมรรถภาพการผลิตของไข่ไก่

ทำการเลี้ยงไก่ไข่เพื่อวัดสมรรถภาพการผลิตโดยใช้เวลาทั้งหมด 84 วัน แบ่งเป็น 3 ช่วงๆ ละ 28 วัน บันทึกปริมาณอาหารที่กิน จำนวนผลผลิตไข่ และน้ำหนักไข่ในแต่ละวัน แล้วคำนวณหาอัตราการผลิตไข่ (hen-day production) น้ำหนักไข่เฉลี่ย (average egg weight) มวลไข่ (egg mass) {(egg mass = average egg weight x hen-day production) /100} ตามวิธีของ Zhao et al. (2003)¹⁷; Ragab et al. (2012)¹⁸ รวมทั้งคำนวณหาปริมาณการกินได้ (feed intake) ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม (feed conversion ratio per 1 kg of egg) (FCR = feed intake/egg mass) ตามวิธีของ Nopparatmaitree et al. (2014)¹⁹

3. การวัดคุณภาพของไข่ไก่ ปริมาณคอเลสเตอรอล และองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ไก่

ในช่วง 5 วันสุดท้ายของแต่ละช่วงการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างไข่ไก่ในจำนวน 5 ฟองต่อวันในแต่ละหน่วยทดลอง เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของไข่ไก่ คือ น้ำหนักไข่ (egg weight), ความสูงไข่ขาว (albumin height), คะแนนสีเปลือกไข่ (shell color) คะแนนสีของไข่แดง (yolk color) ด้วยพัดสีที่มีค่าคะแนน 10-15 (Hoffman-la Roche Ltd, Basal, Switzerland) รวมทั้งทำการวัดค่าความสว่าง (lightness: L*), ค่าความเป็นสีแดง (redness: a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (yellowness: b*) ของไข่ไก่ อีกทั้งทำการวัดความหนาของเปลือกไข่ (egg shell thickness) ด้วยการหาค่าเฉลี่ย 3 ด้านของเปลือกไข่ (ด้านข้าง ด้านป้าน และด้านแหลม) ด้วย micrometer (Mitumotoya, No. 044N, 0.01-5 mm) และคำนวณหาค่าHaugh unit: HU จากสูตร H.U. = 100 log (albumen height in millimeter + 7.57 x 1.7 weight of egg

in gram^{0.37}) ตามวิธี Laudadio and Tufarelli (2011)²⁰; Uganbayar *et al.* (2005)²¹ ทำการเก็บรวบรวมตัวอย่างไข่แดงมาเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เพื่อรอวิเคราะห์ จากนั้นทำการวัดองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่ไก่ โดยวิเคราะห์หาองค์ประกอบของกรดไขมัน (individual fatty acid content) ตามวิธีของ Lepage and Roy (1986)³² รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณคอเลสเตอรอลรวม ตามวิธีของ AOAC (2000)²³

4. การวัดค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารไก่ไข่

วัดค่าการย่อยได้ของโภชนะในอาหารไก่ไข่ภายในตัวสัตว์ (*in vivo* digestibility) ในช่วง 15 วันสุดท้ายของการทดลอง ด้วยวิธีการทดสอบการย่อยได้ปรากฏ (apparent nutrient digestibility) โดยใช้สารบ่งชี้ (indicator marker) คือ โครมิกซ์ออกไซด์ (Cr_2O_3) ตามวิธีของ Fenton and Fenton (1979)²⁴ ทั้งนี้การทดสอบการย่อยได้นั้นแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงที่ 1 คือ 10 วันแรกเป็นช่วงปรับสัตว์ (preliminary period) ไก่ไข่ได้รับอาหารผสม Cr_2O_3 ที่ระดับ 0.3 เปอร์เซ็นต์ และช่วงที่ 2 คือ 5 วันสุดท้ายเป็นช่วงเก็บตัวอย่างทดลอง (collection period) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างอาหารใส่ถุงกันความชื้นและเก็บมูลของไก่ไข่ในแต่ละหน่วยทดลองลงในถุงที่มี H_2SO_4 ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วเก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส ทำการเตรียมตัวอย่างด้วยการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียสเมื่อตัวอย่างแห้งทำการบดละเอียด จากนั้นทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนะในอาหารไก่ไข่ทดลองและมูล คือค่าวัตถุแห้ง โปรตีนรวม ไขมันรวม เยื่อใยหยาบ และพลังงานรวม ตามวิธีของ AOAC (2000)²³ รวมถึงวิเคราะห์ปริมาณ Cr_2O_3 ในอาหารและมูลไก่ไข่ทดลองตามวิธีของ AOAC (2000)²³ แล้วคำนวณหาการย่อยได้ของวัตถุแห้งรวม (apparent dry matter digestibility) หาจาก $\left[\left(\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล} - \% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}} \right) \times 100 \right] / \left(\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}} \right)$ และค่าการย่อยได้ของโภชนะรวม (apparent nutrient digestibility) หาจาก $100 - \left[100 \times \left(\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}} \right) \times \left(\frac{\% \text{ โภชนะในมูล}}{\% \text{ โภชนะในอาหาร}} \right) \right]$ ตามวิธีของ Sharifi *et al.* (2012)²⁵ และทำการคำนวณหา ค่าพลังงานใช้ประโยชน์ได้ปรากฏ (apparent metabolizable energy: AME) หาจาก $AME = GE \text{ ในอาหาร} - (GE \text{ ในมูล} \times \left(\frac{\% Cr_2O_3 \text{ ในอาหาร}}{\% Cr_2O_3 \text{ ในมูล}} \right))$ ตามวิธีของ Jansen *et al.* (2016)²⁶

5. จุลินทรีย์ในไส้ตัน

การวิเคราะห์จำนวนจุลินทรีย์ในไส้ตัน (Cecum) ของไก่ไข่ เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้อาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง แล้วสุ่มไก่ไข่ 4 ตัวต่อหน่วยทดลอง เพื่อฆ่าฆ่าและแล้วเก็บตัวอย่างของเหลวในไส้ตัน นับจำนวนจุลินทรีย์โดยใช้วิธี

conventional microbiology techniques โดยใช้ Selective agar media ตามวิธีของ Giannenas *et al.* (2010)¹ Lactic acid bacteria (*Lactobacillus* sp.+ *Bifidobacterium* sp.) ใช้ MRS agar + 0.02 เปอร์เซ็นต์ NaH_3 + 0.05 เปอร์เซ็นต์ L-Cystine hydrochloride monohydrate, *Enterococci* ใช้ m *Enterococci* agar, *E. coli* ใช้ EMB agar, และ *Salmonella* ใช้ XLD agar จำนวนของจุลินทรีย์ที่ได้จากการนับทางห้องปฏิบัติการ ต้องทำการแปลงข้อมูล (transformed) ด้วย log argralithm ฐาน 10 ก่อนที่นำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติ ตามวิธีการของ Abdalqader *et al.*, (2013)²⁷

6. จุลกายวิภาคลำไส้เล็กของไก่ไข่

การวัดจุลกายวิภาคลำไส้เล็กของไก่ไข่เมื่อสิ้นสุดการทดลองให้อาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง สุ่มไก่ไข่ 4 ตัวต่อหน่วยทดลอง เพื่อฆ่าฆ่าและแล้วเก็บตัวอย่างลำไส้เล็ก 3 ส่วน คือ ลำไส้เล็กส่วนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กส่วนกลาง (jejunum) และลำไส้เล็กส่วนปลาย (ileum) ตามวิธีของ Danshmand *et al.* (2011)²⁸ โดยตัดลำไส้แต่ละส่วนแล้วแช่ใน 4 เปอร์เซ็นต์ buffered formalin เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามวิธีของ Awad *et al.* (2006)²⁹ และเก็บรักษาตัวอย่างใน 50 เปอร์เซ็นต์ ethyl alcohol ตามวิธีของ Sharifi *et al.* (2012)²⁵ จากนั้นเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โดยทำการ serial dehydration ตัดชิ้นเนื้อหนา 5 ไมโครเมตร (จำนวน 6 ชิ้นต่อแต่ละส่วนลำไส้) ด้วย microtome และวางชิ้นเนื้อบนแผ่นสไลด์ แล้วย้อมสีด้วย hematoxylin และ eosin ตามวิธีของ Awad *et al.* (2009)³⁰ การวัดความสูงของวิลไล (villi) ความลึกของคริปทอไฟไลเบอร์คูน (crypt of lieberkuhn) โดยวิเคราะห์ทั้งหมด 10 วิลไลต่อสไลด์ด้วยการถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Olympus BX 50, 20 x optical magnification) ร่วมกับการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Image-pro plus version 3.1, Media cybernetics ตามวิธีของ Tsirtsikos *et al.* (2012)³¹ ทั้งนี้ทำการวัดความสูงของวิลลัส (villous height) วัดความกว้างของวิลลัส (villous width) ความลึกของคริปทอไฟไลเบอร์คูน (cryptal depth) แล้วคำนวณพื้นที่ผิวของวิลลัส (villus surface area) ตามวิธีของ Sakamoto *et al.* (2000)³² โดยพื้นที่ผิวของวิลลัส = $\pi \times \text{ความกว้างของวิลลัส} \times \text{ความสูงของวิลลัส}$

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) ด้วย general linear model (GLM) โดยใช้แบบพหุตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ คือ $Y_{ij} = m + t_i + e_{ij}$ เมื่อ Y_{ij} แทน ค่าสังเกตจาก ทรีทเมนต์ที่ $i = 1$ ถึง 6 ที่ $j = 1, 2, 3, 4$ โดย m คือ ค่าเฉลี่ยร่วม (common

mean) ส่วน t_i คือ อิทธิพลของทรีทเมนต์ (treatment effect) ที่ i เมื่อ i = การเสริม SOMS ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม และ e_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มข้อมูลด้วย Tukey' s studentized range test ตามวิธีของ Steel and Torrie (1992)³³ และวิเคราะห์แนวโน้มของข้อมูล (trend analysis) ด้วย orthogonal polynomial โดยใช้โปรแกรม R ตามวิธี ของ R Core Team (2016)³⁴ กำหนดค่านัยสำคัญที่ใช้ในการทดสอบที่ $P < 0.05$

ผลการทดลอง

1. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อนิเวศวิทยาจุลินทรีย์ในไส้ตันของไก่ไข่

การศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัมต่อนิเวศวิทยาจุลินทรีย์ในไส้ตัน พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ที่ระดับ 10 ถึง 50 กรัมต่อกิโลกรัม มีจำนวน Lactic acid bacteria สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.01$) ส่วนจำนวน *Enterococcus* sp. จะมีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นแปรผันตรงกับระดับเสริม SOMS ในระดับที่เพิ่มขึ้น ($P < 0.05$) ส่วนไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ในระดับที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 50 กรัมต่อกิโลกรัม พบว่า มีแนวโน้มการลดลงของจำนวน *Escherichia coli* และ *Salmonella* sp. อย่างเป็นเส้นตรง ($P < 0.05$) และ ($P < 0.01$) ดังแสดงใน Table 2

2. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อประสิทธิภาพการย่อยได้ของโภชนาการของไก่ไข่

ผลการศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม โดยวิธีการวิเคราะห์โดยประมาณ (Proximate analysis) และวิเคราะห์อื่น พบว่า อาหารไก่เนื้อที่เสริม SOMS ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม มีคุณค่าทางโภชนาการดังตารางที่ 1 ทั้งนี้ผลการศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัมต่อการย่อยได้ของโภชนาการของไก่ไข่ พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ที่ระดับ 0, 10, 20, และ 30 กรัมต่อกิโลกรัมมีค่าการย่อยได้ของวัตถุดิบใกล้เคียงกัน ($P < 0.05$) ทั้งยัง พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ที่ระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40 กรัมต่อกิโลกรัมมีการย่อยได้ของพลังงานรวมสูงใกล้เคียงกัน ($P < 0.05$) ทั้งนี้เมื่อสังเกตค่าการย่อยได้ของเยื่อใยหยาบ ไชมันรวม และโปรตีนหยาบ พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทุกกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่าการเพิ่มระดับการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่แปรผันต่อการย่อยได้ของ

วัตถุดิบและพลังงานรวมเป็นแบบเส้นตรง ($P < 0.01$) แสดงใน Table 3

3. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อลักษณะจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กของไก่ไข่

การศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม ต่อจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กในไก่ไข่ พบว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS สามารถเพิ่มความสูงของวิลลัสของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและความลึกของครีพที่ออฟโลเบอร์คูนของลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและเจจูนัม ($P < 0.05$) ทั้งยังสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของลำไส้เล็กส่วนเจจูนัมและไอเลียม ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 4

4. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่

การศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัมต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ พบว่า การเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ในระดับที่เพิ่มขึ้นแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ต่อวันแบบเป็นเส้นโค้งกำลังสอง ($P < 0.05$) ทั้งนี้ ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ที่ระดับ 0, 10, 20, และ 30 กรัมต่อกิโลกรัมมีน้ำหนักไข่เฉลี่ยใกล้เคียงกัน ($P > 0.05$) อีกทั้งยัง พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS ที่ระดับ 0 และ 10 กรัมต่อกิโลกรัมมีมวลไข่ ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และต้นทุนการผลิตไข่ต่อกิโลกรัมใกล้เคียงกันกับกลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 5

5. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อคุณภาพไข่ของไก่ไข่

การศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม ต่อคุณภาพของไข่ไก่ พบว่า การเสริม SOMS ในอาหารของไก่ไข่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของไข่ไก่ คือ น้ำหนักไข่ ความหนาของเปลือกไข่ ความสูงไข่ขาว ค่าคะแนนสีของไข่แดง และ Haugh Unit ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 6

6. ผลการเสริม SOMS ในอาหารต่อองค์ประกอบไขมันในไข่แดงของไก่ไข่

ผลการศึกษาการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 กรัมต่อกิโลกรัม ต่อคอเลสเตอรอลและองค์ประกอบไขมันในไข่แดง พบว่า การเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ในระดับที่เพิ่มขึ้นแปรผกผันกับปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงแบบเป็นเส้นตรง ($P < 0.05$) ดังแสดงใน Table 7 ทั้งนี้ไก่ไข่ที่ได้รับการเสริม SOMS ในอาหารในระดับที่แตกต่างกันไม่ส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบของกรดไขมันที่ต่างกันในระหว่างกลุ่มการทดลอง ($P > 0.05$) ดังแสดงใน Table 7

Table 2 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on cecal microbiota

Cecal microbiota	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
Lactic acid bacteria	10.79 ^E	11.96 ^B	11.31 ^D	11.61 ^C	11.90 ^B	12.46 ^A	0.04	L
<i>Enterococcus</i> sp.	3.84 ^B	6.20 ^{AB}	7.01 ^A	7.65 ^A	7.82 ^A	8.07 ^A	0.26	L
<i>Escherichia coli</i>	10.06 ^A	9.59 ^A	9.02 ^A	6.12 ^A	6.66 ^A	2.87 ^A	0.46	L
<i>Salmonella</i> sp.	1.63 ^A	1.96 ^{AB}	0.00 ^B	0.00 ^B	0.00 ^B	0.00 ^B	0.25	L

SEM= Standard error of mean, NS= Not significantly ($P>0.05$), ^{A,B} Mean with symbol with in same row differ significantly ($P<0.01$), and L = Linear

Table 3 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on apparent nutrient digestibility

Apparent nutrient digestibility ¹ (%)	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
DM (%)	83.60 ^A	81.93 ^A	80.47 ^{ABC}	81.33 ^{AB}	78.33 ^{BC}	77.48 ^C	0.39	L
CF (%)	60.82	58.00	59.67	59.33	57.00	57.33	0.50	NS
EE(%)	82.87	82.67	81.00	80.67	79.33	79.67	0.45	NS
GE (%)	80.61 ^A	79.13 ^{AB}	80.33 ^A	78.47 ^{AB}	78.80 ^{AB}	77.33 ^B	0.26	L
CP(%)	78.82	78.20	77.67	76.50	76.50	76.50	0.32	NS
AME (kcal/kg)	2766.45 ^A	2550.72 ^B	2566.06 ^B	2519.70 ^B	2517.53 ^B	2490.73 ^B	8.14	Q

¹ DM= Dry matter, CP= Crude protein, EE=Ether extract, CF =Crude fiber, GE=Gross energy and AME = Apparent metabolizable energy
SEM= Standard error of mean, NS= Not significantly ($P>0.05$), ^{A,B} Mean with symbol with in same row differ significantly ($P<0.01$), L = Linear, and Q2 = Quadratic

Table 4 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on small intestine histomorphology

Small intestine histomorphology ¹	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
Duodenum								
-VH (mm)	1.03 ^B	1.32 ^A	1.34 ^A	1.32 ^A	1.31 ^A	1.46 ^A	0.03	C
-VW (mm)	0.13	0.21	0.18	0.13	0.13	0.12	0.08	NS
-VSA (mm ²)	0.45	0.94	0.82	0.58	0.58	0.60	0.11	NS
-CD (mm)	0.14 ^C	0.24 ^A	0.17 ^{BC}	0.24 ^A	0.20 ^{AB}	0.22 ^{AB}	0.07	L
-VH:CD	7.39	5.61	7.83	5.74	6.50	6.81	0.28	NS
Jejunum								
-VH (mm)	1.08	1.28	1.13	1.18	1.26	1.39	0.03	NS
-VW (mm)	0.10 ^D	0.13 ^{BC}	0.15 ^B	0.11 ^{CD}	0.13 ^{BCD}	0.18 ^A	0.04	C
-VSA (mm ²)	0.38 ^B	0.59 ^B	0.57 ^B	0.46 ^B	0.54 ^B	0.88 ^A	0.03	C
-CD (mm)	0.12 ^D	0.19 ^{AB}	0.13 ^{CD}	0.21 ^{AB}	0.18 ^{BC}	0.25 ^A	0.07	L
-VH:CD	8.81 ^A	6.78 ^B	8.48 ^A	5.70 ^B	6.85 ^B	5.75 ^B	0.18	L
Ileum								
-VH (mm)	0.79 ^B	0.78 ^B	0.85 ^{AB}	1.02 ^A	0.78 ^B	0.94 ^{AB}	0.03	L
-VW (mm)	0.12	0.12	0.14	0.11	0.12	0.15	0.05	NS
-VSA (mm ²)	0.32 ^B	0.33 ^B	0.40 ^{AB}	0.40 ^A	0.33 ^B	0.49 ^{AB}	0.02	L
-CD (mm)	0.11	0.12	0.12	0.17	0.17	0.16	0.08	NS
-VH:CD	7.3	4.85	7.05	6.15	4.71	6.59	0.41	NS

¹ VH= Villous height, VH= Villous wide, VSA= Villous surface area, CD= Cryptal depth, VH:CD= Villous height : cryptal depth

SEM= Standard error of mean, NS= Not significantly ($P>0.05$), ^{A,B} Mean with symbol with in same row differ significantly ($P<0.01$), L = Linear, and C=Cubic,

วิจารณ์ผล

การเสริม SOMS ในอาหารไก่เนื้อชี้ให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของ จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ สอดคล้องกับ Giannenas et al. (2011)³⁵ พบว่า การเสริมเห็ดแชมปิยองหรือเห็ดกระดุม (*Agaricus bisporus*) ช่วยเพิ่มจำนวนของ *Bifidobacteria* และ *Lactobacilli* แปรผันตรงตามระดับการเสริมเห็ดแชมปิยองที่ เพิ่มขึ้นในอาหารไก่วง และ สามารถเพิ่มจำนวนของ *Lactobacilli* แปรผันตรงตามระดับการเสริมเห็ดแชมปิยองใน อาหารไก่เนื้อ¹ นอกจากนี้ยังช่วยลดจุลินทรีย์ที่ให้โทษได้แก่ *Escherichia coli* และ *Salmonella sp.* เป็นต้น สอดคล้องกับ Fukata et al. (1999)³⁶ และ Fu et al., (2003)³⁷ ทั้งนี้เมื่อ ไก่ไข่ได้รับอาหารเสริม SOMS ไก่ไข่จะกินส่วนของโครงสร้าง ผงเซลลูล์ของเห็ดที่มี Soluble fiber คือ non starch glycan ประมาณ 442-901 กรัมต่อกิโลกรัม และกลูแคนในรูปแบบ อื่น เช่น ไซโตลิน และกาแลคโตแมนแนน เป็นต้น รวมทั้ง Okechukwu et al. (2011)³⁸ ได้ทำการศึกษาคุณภาพของ จุลินทรีย์และสารอาหารในเห็ดสองชนิด คือ เห็ดนางรม และ เห็ดหูหนูป่า พบว่า คาร์โบไฮเดรตเส้นใยหยาบและโปรตีน มีอยู่ในระดับสูง ซึ่งโครงสร้างพรีไบโอติกส์เหล่านี้ไม่สามารถ ย่อยได้ด้วยน้ำย่อยในท่อทางเดินอาหารส่วนบน หากแต่จะ สามารถใช้ประโยชน์ได้ โดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ได้แก่ Lactic acid bacteria (*Bifidobacterium sp.* และ *Lactobacillus sp.*) และ *Enterococcus sp* เมื่อได้รับสารพรีไบโอติกส์ส่งผล ให้เกิดการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนโดยแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ในการทำหน้าที่ย่อยเยื่อใยภายในท่อทางเดินอาหารให้ดีขึ้น ซึ่งการจะย่อยเยื่อใยในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจำเป็นต้องอาศัย การย่อยโดยวิธีการหมักของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ (bifidogenic effect) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) คือ กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก และ กรดบิวทีริก ส่งผลให้ลำไส้ส่วนไส้ต้นมีนิเวศวิทยาเป็นสภาวะ กรด ซึ่งไม่เหมาะต่อการเจริญเติบโตและการแบ่งตัวของ แบคทีเรียที่ให้โทษ

นอกจากนี้การเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ชี้ให้เห็น ว่ามีการย่อยได้ของโภชนะต่ำลงและมีการย่อยได้ของเยื่อใย ในทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งผล การทดลองครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าส่วนประกอบของ SOMS คือ soluble fiber, non starch glycan⁷ รวมถึงเยื่อใยอื่นๆ เช่น cellulose, hemicellulose และ lignin ไม่สามารถย่อยได้ในท่อ

ทางเดินอาหารของสัตว์กระเพาะเดี่ยว ซึ่งเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ส่วนนี้ส่งผลโดยตรงต่อค่าการย่อยได้ของ โภชนะอื่นที่ลดลง หากแต่เมื่อเส้นใยอาหารส่งผ่านไปยังทาง เดินอาหารส่วนท้ายจะสามารถเกิดการหมักย่อยด้วยจุลินทรีย์ ในซีแกม (caecum) โดยหลังการหมักย่อยจะได้ผลผลิตสุดท้าย เป็นกรดไขมันสายสั้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH ลดลง ซึ่งสอดคล้อง กับการย่อยได้ของเยื่อใยมีค่าใกล้เคียงกันแม้จะได้รับอาหารที่มี ปริมาณเยื่อใยสูงกว่านั้น แสดงว่ามีการเพิ่มประสิทธิภาพการ ย่อยเยื่อใยมากขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการหมักย่อยของ จุลินทรีย์ในท่อทางเดินอาหารส่วนท้ายและสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ กรดไขมันสายสั้น ส่งผลทำให้มีการย่อยได้ของเยื่อใยที่เพิ่มขึ้น ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว^{39,40} นอกจากนี้กรดไขมันสายสั้นเหล่านี้ ยังมีประโยชน์สำหรับไก่ไข่ กล่าวคือ กรดบิวทีริกจะถูกใช้เป็น แหล่งพลังงานสำหรับจุลชีพในท่อทางเดินอาหาร ส่วน กรดอะซิติกจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นในการสร้างไขมันและ คอเลสเตอรอลและกรดโพรพิโอนิกจะถูกใช้เป็นสารตั้งต้นใน กระบวนการกลูโคเนโอจีนิซิส (gluconeogenesis) และลดการ สังเคราะห์กรดไขมันและไขมัน (fatty acid and lipid synthesis)

อีกทั้งเศษก้อนเชื้อเห็ดเหลือทิ้งยังมีส่วนประกอบของ เชื้อจุลินทรีย์ และ extra cellular enzymes¹⁴ และ พบกิจกรรม ของเอนไซม์อะไมเลส เซลลูเลส และ ไซแลนเนส¹⁵ ซึ่งปัจจัย เหล่านี้ล้วนน่าจะส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยได้ของ เยื่อใยหยาบของไก่ไข่โดยการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ ชี้ให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นของความสูงวิลลัสส่วนดูโอเดนิ่ม เนื่องจากเซลล์ผิวของลำไส้เล็กใช้กรดไขมันสายสั้นเป็นแหล่ง พลังงานเพื่อกระตุ้นการพัฒนาและเพิ่มความสมบูรณ์ของเยื่อบุ ลำไส้โดยกรดไขมันสายสั้นได้จากกระบวนการหมักย่อยด้วย จุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของจำนวนจุลินทรีย์ ที่มีประโยชน์ยังช่วยลดจำนวนของจุลินทรีย์ที่ให้โทษ ซึ่งจุลินทรีย์ที่ให้โทษนั้นส่งผลเสียโดยตรงกับวิลลัส เนื่องจาก จุลินทรีย์ที่ให้โทษบางชนิดจะปล่อยสารพิษออกมาทำลายเซลล์ วิลลัส เช่น สารพิษ Botulinum จาก *Clostridium botulinum* สอดคล้องกับรายงานของ Giannenas et al., 2010¹ ได้ทำการ เสริมเห็ดกระดุมไม่มีผลต่อค่าจุลกายวิภาคของลำไส้เล็กของ ไก่เนื้อแต่สามารถเพิ่มความสูงของวิลลัสของไก่วงแปรผันตรง ต่อระดับการเสริมเห็ดแชมปิยอง หากแต่ไม่มีผลต่อความลึก ของครีปที่ออฟโพลเบอร์คูน และสัดส่วนของวิลลัสต่อครีปที่ของ ลำไส้เล็กทั้งสามส่วนของไก่วง

Table 5 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on productive performance

Productive performance	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
Period 1								
-HD production(%)	94.15 ^A	92.66 ^{AB}	91.34 ^{BC}	90.74 ^C	90.32 ^C	90.00 ^C	0.22	L
-Egg weight (g)	61.45 ^A	60.03 ^{AB}	60.35 ^{AB}	59.89 ^{AB}	59.03 ^{BC}	57.69 ^C	0.26	L
-Egg mass (g/d)	57.86 ^A	55.63 ^{AB}	55.12 ^B	54.35 ^{±B}	53.31 ^{BC}	51.92 ^C	0.30	L
-FCR	1.90 ^C	1.98 ^{BC}	2.00 ^B	2.02 ^B	2.06 ^{AB}	2.12 ^A	0.01	L
-FCE (THB per kg)	30.90 ^C	32.17 ^{BC}	32.43 ^B	32.89 ^B	33.53 ^{AB}	34.44 ^A	0.18	L
Period 2								
-HD production(%)	90.00 ^A	89.35 ^{AB}	88.22 ^{ABC}	87.26 ^{BC}	85.11 ^D	86.55 ^{CD}	0.27	L
-Egg weight (g)	59.72	59.00	59.55	57.72	57.66	57.55	0.35	NS
-Egg mass (g/d)	53.80 ^A	52.72 ^{AB}	52.53 ^{AB}	50.36 ^{BC}	49.08 ^C	49.80 ^C	0.33	L
-FCR	2.05 ^C	2.09 ^{BC}	2.09 ^{BC}	2.18 ^{AB}	2.24 ^A	2.21 ^A	0.01	L
-FCE (THB per kg)	33.24 ^C	33.93 ^{BC}	34.04 ^{BC}	35.50 ^{AB}	36.47 ^A	35.91 ^A	0.23	L
Period 3								
-HD production(%)	85.05 ^A	83.03 ^B	81.80 ^{BC}	81.13 ^C	80.39 ^C	80.14 ^C	0.21	Q2
-Egg weight (g)	60.14	59.30	58.12	59.27	57.63	56.79	0.32	NS
-Egg mass (g/d)	51.15 ^A	49.25 ^{AB}	47.56 ^{BC}	48.09 ^{BC}	46.34 ^C	45.51 ^C	0.33	L
-FCR	2.15 ^C	2.23 ^{BC}	2.32 ^{AB}	2.29 ^{AB}	2.38 ^A	2.42 ^A	0.02	L
-FCE (THB per kg)	34.95 ^C	36.30 ^{BC}	37.64 ^{ABC}	37.18 ^{ABC}	38.62 ^{AB}	39.31 ^A	0.27	L
Overall								
-HD production(%)	89.76 ^A	88.35 ^B	87.12 ^C	86.34 ^{CD}	85.27 ^D	85.56 ^D	0.14	Q2
-Egg weight (g)	60.44 ^A	59.44 ^{AB}	59.34 ^{AB}	58.96 ^{ABC}	58.11 ^{BC}	57.34 ^C	0.24	L
-Egg mass (g/d)	54.25 ^A	52.52 ^{AB}	51.70 ^B	50.93 ^{BC}	49.55 ^{CD}	49.06 ^D	0.23	L
-FCR	2.03 ^D	2.10 ^{CD}	2.13 ^C	2.16 ^{BC}	2.22 ^{AB}	2.24 ^A	0.09	L
-FCE (THB per kg)	33.03 ^D	34.13 ^{CD}	34.70 ^C	35.19 ^{BC}	36.21 ^{AB}	36.55 ^A	0.16	L

¹ HD production= hen day production (%), Egg weigh = Average egg weight (g) FCR= feed conversion ratio (g of feed/g of egg mass) FCE= feed cost per 1 kg of egg (Bath per 1 kg of egg)

SEM= Standard error of mean, NS= Not significantly ($P>0.05$), ^{A,B} Mean with symbol with in same row differ significantly ($P<0.01$), L = Linear, and Q2 = Quadratic

Table 6 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on egg physical quality

Egg physical quality	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
Egg color (%)	43.76	39.42	38.58	41.58	41.01	41.31	0.23	NS
Whole egg weight (g)	62.20	61.40	61.00	62.08	61.99	59.97	0.48	NS
Shell weight (g)	8.35	8.07	8.60	8.12	8.64	7.70	0.07	NS
Yolk weight (g)	15.78	15.44	15.42	15.43	15.26	15.30	0.10	NS
Albumen weight (g)	38.07	37.88	36.99	38.53	38.09	36.99	0.36	NS
Albumen height (mm)	9.00±	8.85	9.41	10.06	10.11	9.34	0.16	NS
Haugh unit	94.19	91.73	94.74	96.65	94.13	94.33	0.74	NS
Yolk color score	14.30	14.30	14.44	14.67	14.63	14.56	0.05	NS
-Lightness	47.00	46.85	46.80	47.40	48.60	47.76	0.24	NS
-Redness	25.14	25.27	24.67	25.56	25.26	24.48	0.17	NS
-Yellowness	45.04	45.84	43.45	45.34	43.48	42.60	0.40	NS
Shell thickness (mm)	0.32	0.33	0.33	0.34	0.34	0.33	0.03	NS

SEM= Standard error of mean, and NS= Not significantly ($P>0.05$)

แม้ว่า SOMS จะเป็นเศษเหลือทิ้งที่มีปริมาณเยื่อใยสูงจนส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตไข่ต่อวันที่ลดลงแบบเป็นเส้นโค้งกำลังสองตามระดับการเสริม SOMS ที่เพิ่มขึ้น แต่การเสริม SOMS มีศักยภาพต่อน้ำหนักไข่ประสิทธิภาพการใช้อาหารและต้นทุนการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมเทียบเท่าอาหารสูตรควบคุมด้วยเหตุผลจากเกิดการหมักของแบคทีเรีย นอกจากนี้ยังมีส่วนร่วมในการปรับเปลี่ยนนิเวศวิทยาของจุลินทรีย์ภายในลำไส้ โดยการส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ เช่น แบคทีเรียกรดแลคติกและ *Bifidobacterium* พร้อมทั้งยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Salmonella*, *Escherichia coli* และ *Clostridium perfringens*^{41,24} พบว่า *B. subtilis*, อินนูลิน และ synbiotic สามารถเพิ่มการเจริญเติบโตและการยึดเกาะภายในเยื่อเซลล์ของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ *Lactobacillus* sp. และ *Bifidobacteria* sp. และลดการเจริญเติบโตของ *Clostridium* และเชื้อโรคในลำไส้ใหญ่ โดยโปรไบโอติกส์และพรีไบโอติกส์ปรับปรุงความสามารถของสัตว์ปีก

ที่จะเอาต่อต้านโรคและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน^{42,43} โปรไบโอติกส์สามารถปรับปรุงขนาดไข่ผลิตไข่และคุณภาพและต้นทุนค่าอาหารในไก่ไข่^{44,45} โดยการปรับปรุงเกิดโปรไบโอติกส์สามารถส่งเสริมกระบวนการเผาผลาญอาหารและการใช้ประโยชน์ของสารอาหาร⁴⁶ การทดลองนี้สอดคล้องกับจากรายงานการเสริมอินนูลินไม่มีผลกระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน แต่สามารถพัฒนาประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารและการผลิตไข่ ทั้งยัง พบว่า การเสริมอินนูลิน, *B. subtilis* และซินไบโอติกส์มีผลต่อการพัฒนาคุณภาพของเปลือกไข่⁴⁷ ทั้งนี้มีรายงานถึง ไก่ไข่ที่ได้รับวัสดุเพาะเห็ดถั่งเช่าสีทองทุกระดับมีน้ำหนักไข่และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ดีกว่ากลุ่มควบคุม⁴⁸ สอดคล้องกับจากรายงานการเสริม *บาซิลลัส ซับติลิส* อินนูลิน และซินไบโอติกส์ในอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารไข่ เปลือกไข่ที่มีคุณภาพและแคลเซียมการเก็บรักษาเทียบกับกลุ่มควบคุม²⁴

Table 7 Effect of SOMS supplementation in laying hen diets on cholesterol and fatty acid profile in yolk

cholesterol and fatty acid profile	Level of SOMS supplementation in diets (g/kg)						SEM	Trend analysis
	0	10	20	30	40	50		
Cholesterol	1,384 ^a	1,295 ^b	1,289 ^b	1,228 ^c	1,221 ^c	1,210 ^c	0.48	L
MUFA ¹	11.47	11.28	12.63	12.17	12.10	11.98	0.09	NS
Miristoleic acid	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	NS
Palmitoleic acid	1.01	0.86	0.95	0.86	1.00	0.93	0.04	NS
Heptadecanoic acid	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	NS
Veccenic acid	0.06	0.60	0.54	0.65	0.67	0.67	0.08	NS
Oleic acid	10.27	9.70	11.02	10.53	10.31	10.26	0.04	NS
Eicosenoic acid	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.04	NS
Nervonic acid 0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.001	NS
PUFA ²	5.25	4.51	4.64	4.80	4.67	4.45	0.003	NS
Linoleic acid	4.49	3.77	3.89	4.033	3.86	3.71	0.05	NS
Eleostearic acid	0.09	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.001	NS
Eicosadienoic acid	0.10	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	NS
Eicosatetraenoic acid	0.43	0.47	0.47	0.48	0.50	0.47	0.02	NS
Docosahaxaenoic acid	0.14	0.18	0.18	0.18	0.20	0.18	0.03	NS
SFA ³	9.06	8.59	9.11	8.22	9.13	9.27	0.03	NS
Myristic acid	0.09	0.09	0.10	0.07	0.09	0.10	0.04	NS
Pentadecanoic acid	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.48	NS
Palmitic acid	7.06	6.55	6.91	5.99	6.93	7.12	0.09	NS
Heptadecanoic acid	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05	0.04	0.01	NS
Stearic acid	1.84	1.88	2.04	2.07	2.03	1.98	0.04	NS
Heneicosanoic acid	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	NS
Omega 3 fatty acid	0.16	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.04	NS
Omega 6 fatty acid	4.59	3.78	3.86	4.56	3.97	3.96	0.04	NS
Omega 6 fatty acid	10.37	9.80	11.13	10.61	10.40	10.13	0.001	NS

¹MUFA=Monounsaturated fatty acid, ²PUFA=Polyunsaturated Fatty Acid, ³SFA= Saturated Fatty Acid

SEM= Standard error of mean, NS= Not significantly ($P>0.05$), ^{a,b} Mean with symbol with in same row differ significantly ($P<0.05$), and L = Linear

การทดลองนี้แสดงผลของการเสริม SOMS ต่อการลดระดับของคอเลสเตอรอลรวม ในไข่แดง ซึ่งระดับคอเลสเตอรอลที่ลดลงนั้นมิใช่ข้อสันนิษฐานทางวิทยาศาสตร์ คือ การลดคอเลสเตอรอลอาจเกิดจากกลไกการทำงานของโปรไบโอติกส์ภายในลำไส้⁴⁹ คือ การดูดซึมคอเลสเตอรอลโดยแบคทีเรีย การเกาะติดคอเลสเตอรอลไปยังผนังเซลล์ของแบคทีเรีย หรือการกระทำทางสรีรวิทยาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการหมักกรดไขมันสายสั้น^{50,51} ทั้งยังมีอีกสมมุติฐานที่น่าเชื่อถือเกี่ยวกับการลดคอเลสเตอรอล คือ อาจเกิดจากกิจกรรมของของ Bile salt hydrolase enzyme (BSH enzyme) ซึ่งโปรไบโอติกส์ภายในลำไส้⁵² มีเกี่ยวข้องกับกระบวนการในการสังเคราะห์ BSH enzyme และสามารถช่วยย่อยสลายคอเลสเตอรอลและยับยั้งการดูดซึมผ่านผนังลำไส้ กล่าวคือคอเลสเตอรอลเป็นสารตั้งต้นของกรดน้ำดีที่ถูกสร้างจากตับแล้วปล่อยเข้าสู่ลำไส้ส่วนดูโอดีนัม ในกระบวนการดูดซึมไขมันประมาณการว่า 95% ของเกลือที่หลั่งออกมาในน้ำดีนั้นจะถูกดูดซึมกลับที่ส่วนปลายของลำไส้เล็กส่วนปลาย (terminal ileum) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ เลือดจากลำไส้เล็กส่วนปลายจะไหลเข้าสู่หลอดเลือดดำพอร์ทัล (hepatic portal vein) และกลับเข้าสู่ตับที่ซึ่งเซลล์ตับดูดซึมเกลือและนำเกลือกลับเข้าท่อน้ำดีเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หากแต่ในท่อน้ำดีอาหารส่วนปลายนั้นเป็นที่อาศัยของโปรไบโอติกส์ที่สามารถผลิต BSH enzyme ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการสลาย conjugate bile acid เป็น unconjugate bile acid glycine และ taurine⁵³ โดย unconjugate bile acid จะได้รับการดูดซึมกลับคืนมาได้น้อยกว่า conjugate bile acid ที่ได้จากการสังเคราะห์ตับ ส่งผลให้มีการขับถ่ายของกรดน้ำดีที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในอุจจาระ นอกจากนี้เกลือน้ำดีอิสระมีประสิทธิภาพน้อยในการละลายและการดูดซึมของไขมันในลำไส้ ดังนั้นสลายองค์ประกอบของเกลือน้ำดีอาจทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง โดยการเพิ่มความต้องการคอเลสเตอรอลในการสังเคราะห์กรดน้ำดีเพื่อลดความสูญเสียในอุจจาระหรือโดยการลดการละลายของคอเลสเตอรอลและการดูดซึมคอเลสเตอรอลผ่านลำไส้เล็ก⁵² โดยคำอธิบายดังกล่าวสอดคล้องกับหลายงานวิจัยที่เสริมโปรไบโอติกส์หรือโปรไบโอติกส์ และซินไบโอติกส์ เพื่อช่วยลดคอเลสเตอรอล กล่าวคือ มีรายงานการเสริม MOS ช่วยลดไตรกรีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลชนิด LDL ในซีรัม⁵⁴ โดยไตรกรีเซอไรด์อาจจะเป็นส่วนหนึ่งที่ถูกขนส่งของไขมันในเลือด (เป็น phospholipids) เข้าสู่รังไข่เพื่อสนับสนุนการพัฒนาของฟอลลิเคิลและพัฒนาผลผลิตไข่ สอดคล้องกับรายงานวิจัยการเสริมโปรไบโอติกส์สามารถลดความเข้มข้นของไตรกรีเซอไรด์และไขมันในช่องท้องในลูกไก่เนื้อ การลดลงของไตรกรีเซอไรด์ในซีรัมและ

เพิ่มคอเลสเตอรอลชนิด HDL ในซีรัม^{55,56} ซึ่งอาจเป็นปัจจัยที่สำคัญทางสรีรวิทยาเพราะระดับสูงของไตรกรีเซอไรด์ในซีรัมและ คอเลสเตอรอลชนิด LDL มีความเกี่ยวข้องกับความผิดปกติของการเผาผลาญอาหารเช่นตบไขมันและการสะสมไขมันในช่องท้อง⁵⁷ ทั้งยังมีรายงานว่าทำให้โปรไบโอติกส์ มีผลทำให้ระดับคอเลสเตอรอลลดลงได้มากถึง 22 ถึง 33%⁵² สอดคล้องกับรายงานการเสริม MOS ในอาหารไก่เนื้อส่งผลให้ไก่เนื้อมีระดับคอเลสเตอรอลในเลือดที่ต่ำกว่าไก่กลุ่มควบคุม⁵⁸ นอกจากนี้ระดับคอเลสเตอรอลรวมในซีรัมลดลง เมื่อไก่เนื้อได้รับอาหารเสริม MOS และเปรียบเทียบกับไก่กลุ่มควบคุม^{58,59} และการเสริมโปรไบโอติกส์ในอาหารสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง⁶⁰ สอดคล้องกับรายงานผลการเสริม *Bacillus*⁶¹ และ ยีสต์⁶² ในอาหารไก่ไข่สามารถช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดงนอกจากนี้ยังมีการวิจัยการเสริมไบโอะแก๊วกักด้วย *Aspergillus niger* และไบโอะแก๊วกักด้วย *Aspergillus niger* ร่วมกับ *Connida utilis* อาหารในอาหารของไก่ไข่สามารถใช้ในการผลิตไข่ที่มีคอเลสเตอรอลในไข่แดงและไตรกรีเซอไรด์ในซีรัม และ คอเลสเตอรอลชนิด LDL ต่ำ และช่วยเพิ่มคอเลสเตอรอล ชนิด HDL รวมถึงช่วยสะสมปริมาณของกรดไขมันชนิด PUFA ในระดับสูงเหมาะสำหรับผู้บริโภคที่ใส่ใจสุขภาพ⁵⁹ ทั้งนี้ ยังมีรายงานผลการเสริมวัสดุเพาะเห็ดตั้งเชื้อสีทองในอาหารไก่ไข่สามารถช่วยลดคอเลสเตอรอลรวมคอเลสเตอรอลชนิด LDL และไตรกรีเซอไรด์ในไข่แดง⁴⁸

สรุป

ไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเสริม SOMS มีผลต่อการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ในกลุ่ม Lactic acid และ *Enterococcus* sp. ในไส้ตันของไก่ไข่ รวมทั้งสามารถลดจำนวนของจุลินทรีย์ *Salmonella* sp. และ *Escherichia coli* ในไส้ตันทั้งนี้การเสริม SOMS ที่ระดับ 10 ถึง 20 กรัมต่อกิโลกรัมมีประสิทธิภาพการย่อยได้ปรากฏของวัตถุแห้งและพลังงานรวมใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม ทั้งนี้ยัง นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาความสูงของวิลลัสของลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัมและความลึกของครีพที่ออฟไอบอร์คูนของลำไส้เล็กส่วนดูโอดีนัมเจจุนัม แม้ว่า การเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 10 ถึง 20 กรัมต่อกิโลกรัมส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ผลผลิตต่อวันที่ลดลง หากแต่ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักไข่ทั้งนี้การเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ที่ระดับ 10 กรัมต่อกิโลกรัมส่งผลให้มีประสิทธิภาพการใช้อาหารและต้นทุนการผลิตไข่ 1 กิโลกรัมใกล้เคียงกับกลุ่มควบคุม นอกจากนี้การทดลองนี้ยังแสดงผลของการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ต่อการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง หากแต่ไม่ส่งผลต่อปริมาณของกรดไขมันชนิดต่างๆในไข่แดง

การทดลองครั้งนี้แนะนำให้เสริม SOMS ที่ระดับ 10 กรัมต่อกิโลกรัม แม้ว่าพบข้อดีของการเสริม SOMS ในอาหารไก่ไข่ต่อเปอร์เซ็นต์ไข่ต่อวันที่ลดลง หากแต่การทดลองนี้ยังพบประโยชน์หลายประเด็นที่น่าสนใจ เช่น การเพิ่มขึ้นของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์การพัฒนากลไกภูมิคุ้มกันของลำไส้เล็ก และการปริมาณคอเลสเตอรอลในไข่แดง เป็นต้น อันจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสู่การศึกษาต่อไปเพื่อแสวงหาแนวทางในการใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมจาก SOMS สำหรับพัฒนาการผลิตไก่ไข่ รวมถึงเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์และการจัดการเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะเหลือทิ้งของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงส่งเสริมศักยภาพและการใช้ฐานทรัพยากรของพื้นที่เพื่อให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและสร้างสรรค์จากงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557 และศูนย์เรียนรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีการเพาะเห็ด บ้านสามเรือน อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรีที่อนุเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัย รวมถึงขอขอบพระคุณวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรีที่เอื้อเฟื้อสถานที่เลี้ยงสัตว์ทดลอง

เอกสารอ้างอิง

1. Giannenas I, Tontis D, Tsali E, Chronis EF, Doukas D, Kyriazakis I. Influence of dietary mushroom *Agaricus bisporus* on intestinal morphology, microbiota in broiler chicken, Anim Feed Sci and Tech 2010;89:78-84.
2. Geo FC, Savelkoul HFJ, Kwakkel RP, Williams BA. Immunoactive, medicinal properties of mushroom polysaccharides and their potential use in chicken diets, World's Poult Sci J 2003;59:427-440.
3. Dalloul RA, Lillehoj HS. Poultry coccidiosis. Recent advancements in control measures and vaccine development, Expert Rev Vaccines 2006;5:143-163.
4. Dalloul RA, Lillehoj HS, Lee JS, Lee SH, Chung KS. Immunopotentiating effect of a Fomitella fraxinea-derived lectin on chicken immunity and resistance to coccidiosis, Poult Sci 2006;85:446-451.
5. Geo FC, Kwakkel RP, Williams BA, Li WK, Li HS, Luo JY, Li XP, Wei YX, Yan ZT, Verstegen MW. Ef-

fects of mushroom and herb polysaccharides, as alternatives for an antibiotic, on growth performance of broilers, British Poult Sci 2004;45:684-689.

6. Willis WL, Goktepe I, Isikhuemhen OS, Reed M, King K, Murray C. The effect of mushroom and pokeweed extract on Sallmonella, egg production, and weight loss in molting hens, Poult Sci 2004;87:2451-2457.
7. Synytsya A, Míčková K, Synytsya A, Jablonský I, Spěváček J, V.Erban E, Kovářikov V, Čopíková J. Glucans from cultivate mushrooms *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus eryngii*: structure and potential prebiotic activity, Carbo Polym 2009;76:548-556.
8. Ghasemi PA, Fatahi-Vanani M, Craker L, Shirmardi H. Chemical composition and bioactivity of essential oils of *Hypericum helianthemoides*, *Hypericum perforatum* and *Hypericum scabrum*, Pharm Biol 2014;52:175-181.
9. Jung SJ, Houde R, Baurhoo B, Zhao X, Lee BH. Effects of galacto-oligosaccharides and a *Bifidobacteria* lactis-based probiotic strain on the growth performance and fecal microflora of broiler chickens, Poult Sci 2008; 87:1694-1699.
10. Gibson GR, Roberfroid B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introduction the concept of prebiotics, J. Nutr 1995;125(1):1401-1402.
11. Wang RJ, Li DF, Bourne S. Can 2000 years of herbal medicine history help us solve problems in the year 2000 in Biotechnology in the Feed Industry, Proc Alltech's 14th Annu Symp 1998;273-291.
12. Bobek P, Galbavy S. Hypo-cholesterolemic and antiatherogenic effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) in rabbits, Nahrung 1999;43:339-342.
13. Fazaeli H, Masoodi ART. Spent wheat straw compost of *Agaricus bisporus* mushroom as ruminant feed, Asian Aust J Anim Sci 2006; 19(6):845-851.
14. Ball AS, Jackson AM. The recovery of lignocellulose-degrading enzymes from spent mushroom compost, Biores Technol 1995;54 :311-314.
- [15] Ko HG, Park SH, Kim SH, Park HG, Park WM. Detection and recovery of hydrolytic enzymes from spent compost of four mushroom species, Folia Microb 2005;50(2):103-106.

16. NRC. Nutrient Requirement of Poultry. (9th Ed.). Washington, D.C. 1994;
17. Zhao L, Zhang X, Cao F, Sun D, Wang T, Wang G. Effects of dietary supplementation with fermented Gingo-leaves on performance egg quality lipid metabolism and egg-yolk fatty acid composition in laying hens, *Livest Sci* 2003;155:77-85.
18. Ragab HI, Abdel AK., Kijora C, Ibrahim S. Effect of difference level of the processed *Lablab purpureus* seed on laying performance, egg quality and serum parameters, *Int J Poult Sci* 2012;11(2):131-137.
19. Nopparatmaitree M, Panthong A, Paengkoum S, Saenphoom P. Evaluation of asparagus trimmed waste in laying hens diet on nutrient digestibility and productive performance, *SU Sci and Tech J* 2014;8(1):72-84.
20. Laudadio V, Tufarelli V. Influence of substituting dietary soybean meal for dehulled-micronized lupin (*Lupinus albus* cv. Multitalia) on early phase laying hens production and egg quality, *Livest Sci* 2011;140:184-188.
21. Upadhaya SD, Lee JS, Jung KJ, Kim IH. Influence of emulsifier blends having different hydrophilic-lipophilic balance value on growth performance, nutrient digestibility, serum lipid profiles, and meat quality of broilers, *Poult Sci* 2017;97(1):255–261.
22. Lepage G, Roy CC. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction, *J Lipid Res* 1986; 27:114–120.
23. AOAC. Official methods of analysis. 17th ed. Assoc. off Analysis chemistry, Gaithersburg, MD, USA. 2000;
24. Fenton TW, Fenton M. An improved method for chromic oxide determination in feed and feces, *Can J Anim Sci* 1979; 59 : 631-634.
25. Sharifi SD, Dibamehr A, Lotfollahian H, Baurhoo B. Effects of flavomycin and probiotic supplementation to diets containing different sources of growth performance, intestinal morphology, apparent metabolizable energy, and fat digestibility in broiler chickens, *Poult Sci* 2012;91:918-927.
26. Jansen M, Nuyens F, Buyse J, Leleu S, Van Campenhout L. Interaction between fat type and lysolecithin supplementation in broiler feeds, *Poult Sci* 2016;94:2506–2515.
27. Abdalqader A, Al-Fataftah AR, Das G. Effects of dietary *Bacillus subtilis* and inulin supplementation on performance, eggshell quality, intestinal morphology, and microflora composition of laying hens in the late phase of production, *Anim Feed Sci and Tech* 2013;179:103-111.
28. Daneshmand A, Sadegh GH, Karimi A, Vaziry A. Effect of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) with and without prebiotic on growth performance and some blood parameter of male broilers, *Anim Feed Sci and Tech* 2011;170:91-96.
29. Awad WA, Böhm J, Razzazi-Fazeli E, Ghareeb K, Zentek J. Effects of addition of a probiotic Microorganism to broiler diets contaminated with deoxynivalenol on performance and histological of intestinal villi of broiler chicken, *Poult Sci* 2006;85:974-979.
30. Awad WA, Ghareeb K, Abdel-Raheem S, Böhm J. Effects of dietary inclusion of probiotic and symbiotic on growth performance, organ weights, and intestinal histomorphology of broiler chicken, *Poult Sci* 2009;88:49-55.
31. Tsirtsikos P, Fegeros K, Balaskas C, Kominakis A, Mountzouris KC. Dietary probiotic inclusion level modulates intestinal mucin composition and mucosal morphology on broilers, *Poult Sci* 2012; 91(1)860-1868.
32. Sakamoto K, Hirose H, Onizuka A, Hayashi M, Futamura N, Kawamura Y, Ezaki T. Quantitative study of change in intestinal morphology and mucous gel on total parenteral nutrition in rats, *J Surg Res* 2000;94:99-106.
33. Steel RGD, Torrie JH. Principles and procedure statistic. 2nd Edn. Singapore: McGraw-Hill Book Co Inc. 1992;
34. R Core Team. R. A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Austria. 2016;URL<http://www.R-project.org/>
35. Giannenas I, Tsalie E, Chronis EF, Mavridis S, Tontis D, Kyriazakis I. Consumption of *Agaricus bisporus*

- mushroom affects the performance, intestinal microbiota composition and morphology, and antioxidant status of turkey poults, *Anim Feed Sci and Tech* 2011;165:218-229.
36. Fukata T, Sasai K, Miyamoto T, Baba E. Inhibitory effects of competitive exclusion and fructo-oligosaccharide, singly and in combination, on *Salmonella* colonization of chicks, *J Food Protect* 1999;62:229-233.
 37. Xu ZR, Zou X.T, Hu CH, Xia MS, Zhan XA, Wang MQ. Effects of dietary fructo-oligosaccharide on digestive enzyme activities, intestinal microflora and morphology of male broilers, *J Poul Sci* 2003;82:1030-1036.
 38. Okechukwu RI, Okereke JN, Onyedineke NE, Obi RK. Microbial and nutritional qualities of mushroom, *Asian J Exp Biol Sci* 2011;2(4):746-749.
 39. Topping DL, Clifton PM. Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides, *Physio Rev* 2001; 81(3):1031-1064.
 40. Mac Farlane S, Mac Farlane GT. Regulation of short chain fatty acid production, *Proc Nutr Soc* 2003;62:67-72.
 41. Cumming JH, Macfarlane GT, Englyst H.N. Prebiotic digestion and fermentation, *Am J Clin Nutr* 2001;73(1):415-420.
 42. Chen C, Nakthong T, Chen C. Improvement of laying hen performance by dietary prebiotic chicory oligofructose and inulin, *Int J Poul Sci* 2005;4:103-108.
 43. Gaggia F, Mattarelli P, Biavat B. Probiotics and prebiotic in animal feeding for safe food production, *Int J Food Microb* 2010;141:15-28.
 44. Kurtoglu V, Kurtoglu F, Seker E, Coskun B, Balevi T, Polat ES. Effect of probiotic supplementation on laying hen diets on yield performance and serum and egg yolk cholesterol, *Food Addit Contam* 2004;21:817-823.
 45. Panda AK, Rao SSR, Raju MVLN, Sharma SS. Effect of probiotic, *Lactobacillus sporogenes* feeding on egg production and quality, yolk cholesterol and humoral immune response of white leghorn layer breeders, *J Sci Food Agric* 2008;88:43-47.
 46. Yeo J, Kim K. Effect of feeding diets containing an antibiotic, a probiotic, or yucca extract on growth and intestinal urease activity in broiler chicks, *Poult Sci* 1997;76:381-385.
 47. Chen C, Nakthong T, Chen C. Improvement of laying hen performance by dietary prebiotic chicory oligofructose and inulin, *Int J Poul Sci* 2005;4:103-108.
 48. ชัยวัฒน์ อาจिन-วรรณพร ทะพิงค์แก ธัญญาทะพิงค์แก ประจิตร์ อุดหนุน และ มงคล ยะไชย ผลการเสริมวัสดุเพาะเห็ดถึงเข้าสู่ท้องในอาหารต่อสมรรถนะการผลิตและคอเลสเตอรอลในไข่แดงของไก่ไข่. วารสาร สัตวศาสตร์แห่งประเทศไทย 2558;2 (พิเศษ1):183-187.
 49. Gilliland S, Nelson C, Maxwell C. Assimilation of cholesterol by *Lactobacillus acidophilus*, *Appl Environ Microb* 1985;49:377-381.
 50. Kim GB, Lee BH. Biochemical and molecular insights into bile salt hydrolase in the gastrointestinal microflora: a review, *Asian-Aust J Anim Sci* 2005; 18:1505-1512.
 51. Kim GB, Miyamoto CM, Meighen EA, Lee BH. Cloning and characterization of the bile salt hydrolase genes (bsh) from *Bifidobacterium bifidum* strains, *Appl. Environ. Microbiol.* 2004;70:5603-5612.
 52. Begley M, Colin H, Gahan CGM. Bile salt hydrolase activity in probiotics, *Appl. Envi Microb* 2006, 72:3 1729-1738
 53. Batta, A. K., G. Salen, R. Arora, S. Shefer, M. Batta, and A. Perseon. 1990. Side chain conjugation prevents bacterial 7-dehydroxylation of bile acids. *J. Biol. Chem.* 265:10925-10928
 54. Ghasemian M, Jahanian R. Dietary mannanoligosaccharides supplementation could affect performance, immuno-competence, serum lipid metabolites, intestinal bacterial populations, and ileal nutrient digestibility in aged laying hens, *Anim Feed Sci and Tech* 2016;13:1-89.
 55. Yusrizal SN, Chen TC, Effect of adding chicory fructans in feed on broiler growth performance, serum cholesterol and intestinal length, *Int J Poul Sci* 2003;2: 214-219.

56. Kannan M, Karunakaran R, Balakrishnan V, Prabhakar TG. Influence of prebiotics supplementation on lipid profile of broilers, *Int J Poult Sci* 2005;4:994–997.
57. Leeson S, Diaz G, Summers JD. Poultry metabolic disorders and mycotoxins. university books publishing, Guelph, Ontario, Canada. 1995;
58. Yalcinkaya I, Gungor T, Basalan M, Erdem E. Mannan-oligosaccharides (MOS) from *Saccharomyces cerevisiae* in broilers: effects on performance and blood biochemistry, *Turk J Vet Anim Sci* 2008;32(1):43-48.
59. Sohail MU, Ijaz A, Yousaf MS, Ashraf K, Zaneb H, Aleem M, Rehman H. Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and *Lactobacillus*-based probiotic: dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity, *Poult Sci* 2010;89 :1 934–1938.
60. Mikulski D, Jankowski J, Naczmanski J, Mikulska M, Demey V. Effects of dietary probiotic (*Pediococcus acidilactici*) supplementation on performance, nutrient digestibility, egg traits, egg yolk cholesterol, and fatty acid profile in laying hens, *Poult Sci* 2012;91:2691-2700.
61. Kurtoglu V, Kurtoglu F, Seker E, Coskun B, Balevi T, Polat ES. Effect of probiotic supplementation on laying hen diets on yield performance and serum and egg yolk cholesterol, *Food Addit Contam.* 2004;21(9):817-23.
62. Yousefi K M, Karkoodi K. Effect of probiotic Thepax® and *Saccharomyces cerevisiae* supplementation on performance and egg quality of laying hens, *Int Poult Sci* 2007; 6(1):52-54.

การตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิมของเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Corynespora cassiicola* สาเหตุโรคใบจุดในยางพาราในสภาพห้องปฏิบัติการ

Response of carbendazim on *Colletotrichum gloeosporioides* and *Corynespora cassiicola*, causal agents of leaf spot diseases in rubber trees *in vitro*

นิศากร สุวรรณ^{1*}

Nisakorn Suwan^{1*}

Received : 15 May 2018 ; Accepted : 19 September 2018

บทคัดย่อ

การเก็บตัวอย่างเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดบนและใบจุดก้างปลาของยางพาราจากแปลงปลูกยางพาราในจังหวัดจันทบุรีและตราด สามารถแยกเชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Corynespora cassiicola* สาเหตุโรคได้จำนวนทั้งสิ้น 24 และ 12 ไอโซเลท และสามารถก่อโรคได้ทั้งสิ้น 15 และ 9 ไอโซเลท ตามลำดับ เมื่อนำเชื้อราดังกล่าวมาทดสอบการตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิมบนอาหาร PDA ที่ผสมสารคาร์เบนดาซิม (50%WP) ความเข้มข้นต่างกันคือ 100, 500 และ 1000 mg a.i./L พบว่าสารคาร์เบนดาซิมทุกความเข้มข้นสามารถยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *C. gloeosporioides* และ *C. cassiicola* ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม นอกจากนี้เมื่อจัดระดับการตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิม พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* ไอโซเลท DCG4-60S และ HCG 8/1 และเชื้อรา *C. cassiicola* ไอโซเลท HCC 1/1 มีระดับการตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิมอยู่ในระดับ sensitive level (Car^S) และในขณะที่เชื้อรา *C. gloeosporioides* และ *C. cassiicola* จำนวน 14 และ 8 ไอโซเลท ตามลำดับ มีระดับการตอบสนองต่อสารคาร์เบนดาซิมอยู่ในระดับ weakly resistant level (Car^{WR}) จากผลการศึกษานี้สามารถบ่งชี้ได้ว่าสารคาร์เบนดาซิมความเข้มข้นตามอัตราแนะนำในฉลาก (1000 mg a.i./L) สามารถนำไปใช้เพื่อควบคุมโรคใบจุดทั้งสองชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับห้องปฏิบัติการ และยังไม่พบการดื้อต่อสารคาร์เบนดาซิมระดับ highly resistant ในกลุ่มประชากรเชื้อราที่ศึกษา

คำสำคัญ : โรคใบจุดก้างปลา โรคใบจุดบน ยางพารา *Colletotrichum gloeosporioides* *Corynespora cassiicola*

Abstract

The fungal pathogen of *Corynespora* leaf spot and *Colletotrichum* leaf spot disease from infected rubber leaves were obtained from rubber plantations in Chanthaburi and Trat provinces. Pathogenicity tests of these isolates were conducted, out of twenty-four and twelve isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* and *Corynespora cassiicola* respectively fifteen and nine isolates were found to be pathogenic. *In vitro* responses of the fungi to carbendazim were performed in carbendazim (50%WP) amended potato dextrose agar of different concentration at 100, 500 and 1000 mg a.i./L. and mycelia growth of *C. gloeosporioides* and *C. cassiicola* were inhibited significantly ($p < 0.05$) when compared to control at all levels of carbendazim. Also, the resistance of the fungi to carbendazim was evaluated and grouped into different phenotype reaction levels. The results showed that *C. gloeosporioides* isolates DCG4-60S and HCG 8/1 and *C. cassiicola* isolate HCC 1/1 were grouped as being sensitive to carbendazim (Car^S). Fourteen and eight isolates of *C. gloeosporioides* and *C. cassiicola* respectively were grouped into weakly resistant level to carbendazim (Car^{WR}). These results indicate that the recommended rate (1000 mg a.i./L) of carbendazim should be a

¹ อาจารย์ สาขาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง 52100

Department of Agriculture, Faculty of Agricultural Technology, Lampang Rajabhat University, Lampang, 52100

* Corresponding author: nisakorn.su@lpru.ac.th

proper concentration for corynespora leaf spot and colletotrichum leaf spot disease control *in vitro* and there was no evidence of highly resistant level to carbendazim in these fungal populations.

Keywords: corynespora leaf spot disease, rubber tree, colletotrichum leaf spot disease, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Corynespora cassiicola*

บทนำ

ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย โดยยางพาราประเภทยางดิบ ผลิตภัณฑ์ยาง และไม้ยางพารา สามารถทำรายได้การส่งออกเป็นอันดับสองของประเทศ ยางพาราจึงถือเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญสร้างรายได้ให้กับประเทศ สร้างอาชีพให้ประชาชนจำนวนมากทำให้มีรายได้เลี้ยงตนเอง ยางพาราสร้างรายได้เข้าประเทศสูงถึงปีละหลายแสนล้านบาท และในปัจจุบันยังคงมีการขยายพื้นที่ปลูกเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในช่วง 7-10 ปีที่ผ่านมา¹ ยางพาราที่ส่งออกสู่ตลาดแบ่งออกเป็น 5 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำยางธรรมชาติ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง ยางธรรมชาติ และยางอื่นๆ เช่น ยางไม้ขาว ประเทศไทยส่งออกยางธรรมชาติเป็นอันดับหนึ่งของโลกมาตั้งแต่ปี 2534 โดยในปี 2559 ประเทศไทยส่งออกยางพาราธรรมชาติคิดเป็น 36.8% ของปริมาณผลผลิตยางธรรมชาติทั่วโลก มีมูลค่ารวมถึง 4.4 พันล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 139,000 ล้านบาท² และในปี พ.ศ. 2560 มีการส่งออกยางธรรมชาติ รวมทั้งสิ้น 3,660,711.111 เมตริกตัน มีมูลค่าทั้งสิ้นประมาณ 204,769.26 ล้านบาท และจากข้อมูลล่าสุดในเดือนมกราคม-มีนาคม ปี พ.ศ. 2561 มีการส่งออกยางธรรมชาติรวมทั้งสิ้น 882,921.156 เมตริกตัน คิดเป็นมูลค่าทั้งสิ้นประมาณ 37,353.68 ล้านบาท³ โดยมีตลาดส่งออกหลักอยู่ที่ประเทศจีน มาเลเซีย ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และเกาหลีใต้ ตามลำดับ⁴

พันธุ์ยางชั้น 1 เป็นพันธุ์ยางที่ให้ผลผลิตน้ำยางสูง นิยมปลูกกันมากเช่น พันธุ์ RRIM 600, พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 251, พันธุ์สถาบันวิจัยยาง 226 และ พันธุ์ BPM24 เป็นต้น⁵ พันธุ์ยางเหล่านี้มักมีความอ่อนแอต่อโรคพืชหลายชนิด โดยโรคที่สำคัญ ได้แก่ โรคเส้นดำที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Phytophthora botryose* โรคราแป้งที่มีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Oidium* sp. โรคใบจุดก้ำปลาของยางพารา ซึ่งโรคใบจุดก้ำปลาของยางพารา (*Corynespora* leaf spot disease) เป็นโรคที่สำคัญชนิดหนึ่งที่ทำความเสียหายให้แก่ต้นยางพาราในทั่วประเทศของประเทศไทย โดยมีสาเหตุมาจากเชื้อรา *Corynespora cassiicola* เมื่อสปอร์ของเชื้อตกลงบนผิวพืชจะสร้าง mycelium เข้าไปเจริญอยู่ระหว่างเซลล์และสร้าง conidiophore ในชั้นของ epidermis ทั้งด้านบน และด้านล่างของใบพืช จึงสามารถพบส่วนขยายพันธุ์ (spore) ด้านบนและด้านใต้ใบในธรรมชาติ⁶

ทำให้พืชแสดงอาการของโรคที่แผลจะลุกลามเข้าไปตามเส้นใบย่อย เนื้อเยื่อใบจะแห้งตายและมีสีซีด เห็นเป็นรูปลักษณะคล้ายก้างปลา ถ้าแผลขยายลุกลาม มีขนาดยาวและใหญ่เพิ่มขึ้น ทำให้ยอดกิ่งก้านและลำต้นแห้งตาย⁷ เชื้อรา *C. cassiicola* สามารถแพร่ระบาดโดยลมและฝน ระบาดรุนแรงในสภาพอากาศร้อน โดยเฉพาะในระหว่างเดือนกรกฎาคม - กันยายน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ช่วงการเจริญเติบโตที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และไม่เจริญที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส⁸

เชื้อรา *Colletotrichum gloeosporioides* สามารถทำลายยางพาราได้ทั้งในโรงเพาะกล้า และแปลงปลูก⁹ โดยต้นอ่อนที่เป็นโรคนี้นักทำให้ใบร่วงและตายในที่สุด¹⁰ และยังทำให้ปริมาณน้ำยางลดลง¹¹ ลักษณะการเข้าทำลายของเชื้อรา *C. gloeosporioides* เริ่มขึ้นภายหลังที่สปอร์ตกลงบนพืช germ tube จะเริ่มงอกภายในเวลา 6 - 8 ชั่วโมง โดยสร้าง appressorium สีน้ำตาลเข้ม ภายในเวลา 10 -20 ชั่วโมง หลังจากนั้น appressorium จะสร้าง infection peg เพื่อแทงเข้าไปใน cuticle ของพืช เมื่อผ่านไป 48 ชั่วโมง โดย infection peg บางอันงอก primary hypha เส้น ๆ และจะหยุดการเจริญและแผ่ตัวในระยะนี้ โดยไม่มีการเจริญต่อจนกว่าสภาพแวดล้อมเหมาะสมจึงแสดงอาการของโรค เรียกลักษณะการเข้าทำลายแบบนี้ว่าการติดเชื้อแฝง¹² อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และหากมีความชื้นสูงร่วมด้วยในช่วงเวลาดังกล่าวก็จะทำให้การเข้าทำลายเกิดได้รวดเร็วและรุนแรงเพิ่มขึ้น¹³

การควบคุมโรคใบจุดทั้งสองประเภทนี้นิยมใช้สารเคมีชนิดดูดซึมโดยเฉพาะสารในกลุ่ม benzimidazole (benomyl/carbendazim) ซึ่งหากมีการใช้ในความเข้มข้นที่สูงเกินไป และใช้เพียงชนิดเดียวติดต่อกันนานหลายปีจะส่งผลทำให้เชื้อราเหล่านี้ไม่ตอบสนองต่อสารเคมีชนิดดังกล่าวหรือเรียกว่าเชื้อราเกิดการดื้อยาทำให้การควบคุมโรคล้มเหลว นอกจากนี้แล้วเชื้อรายังสามารถเกิดความต้านทานตรงข้าม (Cross-Resistance) ระหว่างกลุ่มของสารเคมีได้อีกด้วย¹⁴ การใช้สารเคมีในระดับความเข้มข้นที่ไม่เหมาะสม คือสูงหรือต่ำเกินไปสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงพันธุกรรมของเชื้อสาเหตุได้เช่นกัน แต่ยังไม่มียางงานการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการ

ควบคุมโรคใบจุดก้างปลาและใบจุดหนู จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะประเมินระดับความเข้มข้นของสารคาร์เบนดาซิมที่เหมาะสมในการควบคุมเชื้อรา *C. cassicola* และเชื้อรา *C. gloeosporioides* สาเหตุโรคใบจุดก้างปลาและใบจุดหนูในยางพารา เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกันกำจัดเชื้อสาเหตุ โดยไม่ก่อให้เกิดการดื้อต่อสารกลุ่มนี้ในอนาคต

วิธีการศึกษา

การแยกและจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรค

นำใบยางพาราที่แสดงอาการของโรคใบจุดก้าง ปลา และใบจุดหนู จากพื้นที่ในเขตจังหวัดจันทบุรีและตราด มาทำการแยกเชื้อราสาเหตุโรคโดยการตัดชิ้นส่วนของใบยางที่เป็นโรคมานำแช่ใน 10% Clorox ล้างด้วยน้ำกลั่นที่หนึ่งฆ่าเชื้อจำนวน 3 ครั้ง จากนั้นนำชิ้นพีชมาวางลงบนอาหาร water agar (WA) บ่มไว้ในที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน สังเกตการเจริญ ของเส้นใยเชื้อรา ย้ายเชื้อราที่เจริญออกมาจากแผลโดยใช้เข็มที่ปลายแหลมตัดปลายเส้นใยมาวางบนอาหาร WA อีกครั้งจนกว่าจะได้เชื้อบริสุทธิ์ จากนั้นใช้เข็มปลายแหลมตัดปลายเส้นใยของเชื้อรา จากอาหาร WA มาเลี้ยงบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) บ่มไว้ในอุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป

การจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรคทำโดยตัดปลายเส้นใยของเชื้อบริสุทธิ์ที่แยกได้จากใบยางพาราข้างต้นด้วย cork borer ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร วางลงในอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน จากนั้นเขี่ยปลายเส้นใยมาด้วยสิ่ย์อม lactophenol cotton blue (LPCB) แล้วนำไปศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อรา

นำเชื้อราที่แยกได้ข้างต้นมาปลูกเชื้อบนใบยางพาราปกติด้วยวิธี detached leaf technique โดยใช้ cork borer ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร ตัดปลายเส้นใยเชื้อรามาวางบนใบยางพาราที่ฆ่าเชื้อบริเวณผิวด้วย 70% เอทิลแอลกอฮอล์ บ่มใบยางที่ปลูกเชื้อแล้วใน moist chamber เปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่ได้ปลูกเชื้อ บันทึกผลจากลักษณะของแผลที่เกิดขึ้น ทำการทดลอง 4 ซ้ำ เพื่อคัดเลือกเชื้อราที่สามารถก่อโรคได้ใช้ในการทดลองถัดไป

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดเชื้อรา

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Experimental Design: CRD) ประกอบด้วย 4 กรรมวิธีทดลอง ได้แก่ (1) ความเข้มข้น 0 mg/L (ชุดควบคุม), (2) ความเข้มข้น 100 mg/L, (3) ความเข้มข้น 500 mg/L และ

(4) ความเข้มข้น 1,000 mg/L (อัตราแนะนำ) ทำการทดสอบกรรมวิธีทดลองละ 5 ซ้ำ

การทดสอบกระทำโดยตัดปลายเส้นใยเชื้อราที่ได้จากการทดลองข้างต้นด้วย cork borer ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร แล้วนำ culture disc มาวางบนอาหาร PDA¹⁵ ที่ผสมสารคาร์เบนดาซิม (50%WP, a.i., Bentus[®], Sotus) ความเข้มข้น 0, 100, 500 และ 1,000 (อัตราแนะนำ) mg/L โดยวางไว้ตรงกลางจานละ 1 ชิ้น และวางบนอาหารที่ไม่ได้ผสมสารเคมีในชุดควบคุม บ่มไว้ในอุณหภูมิห้อง เมื่อเชื้อราในชุดควบคุมเจริญเต็มจาน นำชุดทดสอบ และชุดควบคุมมาวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีแล้วนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง (percent inhibition of radial growth: PIRG) ตามวิธีการของ Soyong¹⁶

$$PGIR = \frac{(D1 - D2)}{D1} \times 100$$

เมื่อ D1=ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราชุดควบคุม

D2= ความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีเชื้อราชุดทดสอบ

จากนั้นนำเปอร์เซ็นต์การเจริญของเชื้อราที่ทดสอบบนอาหาร ≥ 500 mg/L มาเปรียบเทียบกับอัตราการเจริญเติบโตของเชื้อราชุดควบคุม โดยแบ่งระดับการตอบสนองตามเกณฑ์ของ Peres *et al.*¹⁷ ออกเป็นดังนี้คือ เจริญได้ $< 10\%$ = sensitive to carbendazim (Car^S), เจริญได้ $\geq 10-35\%$ = weakly resistant to carbendazim (Car^{WR}), เจริญได้ $> 35-65\%$ = moderately resistant to carbendazim (Car^{MR}) และเจริญได้ $> 65-100\%$ = highly resistant to carbendazim (Car^{HR}) นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละกรรมวิธี โดย Least significant difference (LSD) ที่ $P > 0.05$ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป statistix version 8.0

ผลการศึกษา

การแยกและจำแนกชนิดของเชื้อราสาเหตุโรค

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างยางพาราที่แสดงอาการของโรคใบจุดก้างปลาจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ แปลงขยายพันธุ์ยางพาราของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี พื้นที่ปลูกยางในเขตอำเภอท่าใหม่ จังหวัดจันทบุรี พื้นที่ปลูกยางในเขตอำเภอเขาฉกรรจ์ จังหวัดจันทบุรี พื้นที่ปลูกยางในเขตอำเภอแหลมงอบ จังหวัดตราด

พบว่าใบยางที่แสดงอาการของโรคจะพบแผลเป็นจุดกลม ขอบแผลสีน้ำตาลดำ กลางแผลสีซีดหรือเทา ขอบแผลสีเหลืองและขยายลุกลามเข้าไปตามเส้นใบ มีลักษณะคล้ายกางปลา เนื้อเยื่อบริเวณรอยแผลมีสีเหลืองถึงน้ำตาล (Figure 1A) จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชที่แสดงอาการมาแยกเชื้อ พบว่าได้เชื้อราจำนวน 12 ไอโซเลท (Table 1) เมื่อศึกษาลักษณะของเส้นใยเชื้อราที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา

7-10 วัน พบว่าเส้นใยฟู มีสีเหลืองปนน้ำตาลไปจนถึงมีสีเทาเข้มเข้ม (Figure 1B) เมื่อนำมาตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าสปอร์มีรูปร่างทรงกระบอกตรง (cylindrical) ผิวนอกเรียบ สีค่อนข้างใส มีผนังกัน (septa) จำนวนผนังกัน 1-23 ตอน ส่วนโคนสปอร์ตัดตรง มี hilum ชัดเจน ขนาดของสปอร์ 224 x 12 ไมโครเมตร (Figure 1C) โดยเป็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *C. cassiicola*¹⁸⁻²⁰

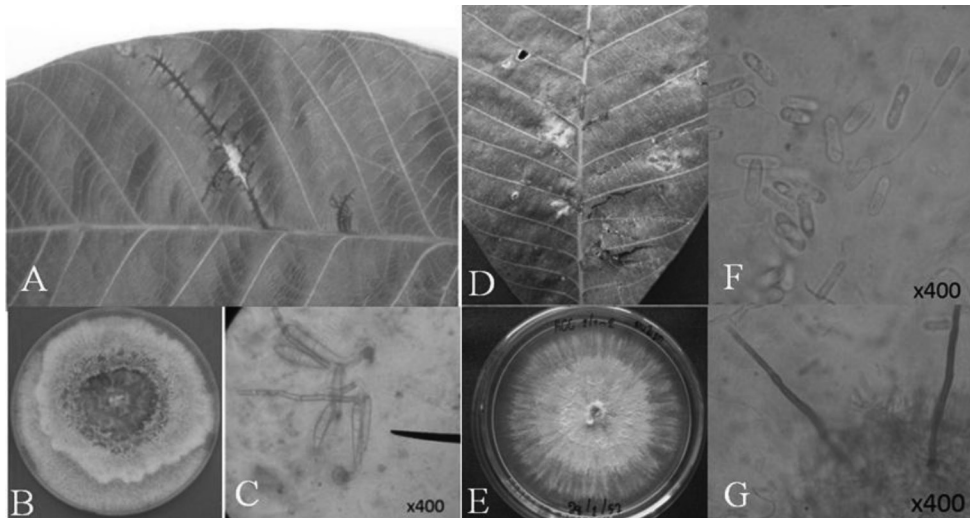


Figure 1 Symptom of leaf spot disease of rubber trees, corynespora leaf spot disease (A), colony (B) and conidia of *Corynespora cassiicola* (C) and symptom of colletotrichum leaf spot disease (D), colony (E) and conidia (F) and setae of *Colletotrichum gloeosporioides* (G)

จากการสำรวจและเก็บตัวอย่างยางพาราที่แสดงอาการของโรคใบจุดบนพื้นที่ปลูกยางพาราในเขตจังหวัดจันทบุรีและตราด พบว่าใบยางพาราที่มีอาการของโรคใบจุดบนมีอาการดังต่อไปนี้ คือ พบจุดแผลสีน้ำตาลขอบแผลสีเหลืองขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร เนื้อใบบางส่วนบิดงอ เมื่อไนใบที่มีอายุมากเนื้อตรงกลางแผลจะทะลุเป็นรู (Figure 1D) เมื่อแยกเชื้อจากใบยางพาราที่แสดงอาการของโรค สามารถแยกเชื้อราบริสุทธิ์ได้จำนวนทั้งสิ้น 24 ไอโซเลท (Table 1) เมื่อนำเชื้อราบริสุทธิ์มาเพาะเลี้ยงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA เพื่อจำแนกชนิดของเชื้อราตามลักษณะสปอร์โดยใช้หลักเกณฑ์ของ Sutton²⁰ พบว่าเป็นลักษณะของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ซึ่งเมื่อเลี้ยงบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7-10 วัน พบโคโลนีมีสีขาวฟู ตรงกลางโคโลนีมีสีเทา (Figure 1E) หลังจากนั้นเชื้อราบางไอโซเลทจะเริ่มสร้างกลุ่มสปอร์สีส้มบนโคโลนี (spore mass) เมื่อตรวจดูลักษณะสปอร์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400X พบสปอร์เซลล์เดี่ยว สีใส รูปร่างทรงกระบอกหัวท้ายมน (cylindrical) ขนาด 9-24 X 3-4.5 ไมโครเมตร (Figure 1F,1G)

การทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อรา
การทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อราที่แยกได้ พบว่าเชื้อรา *C. cassiicola* จำนวน 9 ไอโซเลท (Table 1) สามารถก่อโรคได้หลังจากปลูกเชื้อกลับด้วยเชื้อราบริสุทธิ์ที่แยก มีอาการเริ่มแรกบนใบยาง คือพบแผลชัดตรงเส้นใบ และกระจายอยู่ทั่วแผ่นใบ ต่อมาเนื้อเยื่อแผลแห้งตายเป็นสีน้ำตาลและขอบแผลสีเหลือง เมื่อทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อราสาเหตุที่แยกได้ พบว่าเชื้อรา *C. cassiicola* ไอโซเลท BL3-1 60s, CC1-2, DCC1-60S, DCC3-1, HCC1/1, HCC1/2, HCC2/1-2, HCC4/1 และ HCC4/2 สามารถก่อโรคบนยางพาราได้ และเชื้อราไอโซเลท DCC1-60S ทำให้ใบยางพาราเป็นแผลขนาดใหญ่ที่สุด คือ 7.88 เซนติเมตร

Table 1 Number of fungal isolated from rubber trees

Organism	Number of received isolates	Number of Pathogenic isolates	Percent of pathogenic isolate
<i>Corynespora cassiicola</i>	12	9	75.0
<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	24	15	62.5

การทดสอบประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดเชื้อรา เมื่อนำเชื้อราที่ได้ทั้ง 9 ไอโซเลท มาทดสอบกับสารกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่ความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 100, 500 และ 1000 mg/L โดยวัดผลจากความสามารถในการยับยั้งเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ที่ผสมสารกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม (Figure 2) ผลปรากฏว่าอาหาร PDA ที่ผสมสารคาร์เบนดาซิม ความเข้มข้น 100 mg/L, 500 mg/L, และ 1000 mg/L สามารถยับยั้งเส้นใยเชื้อรา *C. cassiicola* ไอโซเลท BL3-1 60s เท่ากับ 88.44%, 88.78% และ 88.78% ตามลำดับ ไอโซเลท HCC2/1-2 เท่ากับ 78.34%, 80.22% และ

84.78% ตามลำดับ ไอโซเลท HCC4/2 เท่ากับ 86.34%, 87.11% และ 87.67 % ตามลำดับ ไอโซเลท HCC4/1 เท่ากับ 87.44%, 88.22% และ 88.78% ตามลำดับ

ไอโซเลท HCC1/2 เท่ากับ 70.67%, 72.44% และ 75.45 % ตามลำดับ ไอโซเลท DCC1-60s เท่ากับ 86.67%, 88.89% และ 88.89% ตามลำดับ ไอโซเลท DCC1-2 เท่ากับ 88.67%, 89.00% และ 90.67% ตามลำดับ ไอโซเลท HCC1/1 เท่ากับ 92.44%, 92.56% และ 93.11% ตามลำดับ และไอโซเลท DCC3-1 เท่ากับ 88.78%, 89.00% และ 89.33% ตามลำดับ (Table 2) นอกจากนี้พบว่าเชื้อรา *C. cassiicola* ทั้งสิ้น 8 ไอโซเลท สามารถเจริญได้ ≥ 10 -35% ในอาหารที่ผสมคาร์เบนดาซิมความเข้มข้น 500 mg/L จึงจัดให้อยู่ในกลุ่ม weakly resistant (Car^{WR}) phenotype ในขณะที่มีเพียงเชื้อรา ไอโซเลท HCC1/1 ถูกยับยั้งเส้นใยได้มากกว่า 10% จึงจัดให้อยู่ในกลุ่ม sensitive (Car^S) phenotype (Table 2)

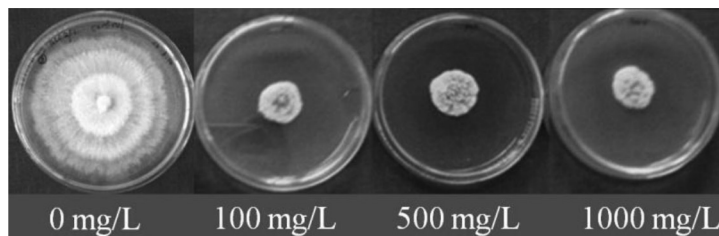


Figure 2 Colony morphology of *Corynespora cassiicola* on carbendazim amended PDA after incubation for 7 days

Table 2 Efficiency of various carbendazim fungicide concentrations on percent inhibition of mycelia radial growth and phenotype reactions of *Corynespora cassiicola*

Carbendazim concentrations	Percent inhibition of radial growth (%) ^{1/}								
	BL3-1 60s	CC1-2	DCC1-60S	DCC3-1	HCC1/1	HCC1/2	HCC2/1-2	HCC4/1	HCC4/2
0 mg/L	0.00±0c ^{2/}	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0c	0.00±0c	0.00±0c	0.00±0b	0.00±0c	0.00±0b
100 mg/L	88.44±0.2b	88.67±3.5a	86.67±4.4a	88.78±0.2b	92.44±0.4b	70.67±2.1b	78.34±2.7a	87.44±1.70b	86.34±1.4a
500 mg/L	88.78±0.3a	89.00±0.6a	88.89±0.8a	89.00±0.3ab	92.56±0.3b	72.44±1.9ab	80.22±8.9a	88.22±0.72ab	87.11±1.6a
1000 mg/L	88.78±0.2a	90.67±0.2a	88.89±1.2a	89.33±0.5a	93.11±0.5a	75.45±3.4a	84.78±5.9a	88.78±0.46a	87.67±1.3a
CV (%)	0.32	2.67	3.49	0.44	0.55	4.11	8.85	1.47	1.91
Phenotype reactions ^{3/}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^S	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}

1/ Means of five replications ±SD

2/ Means followed by a common letter in each column are not significantly different by LSD at P < 0.05

3/ Phenotype reactions of *Corynespora cassiicola* on carbendazim amended PDA

การทดสอบความสามารถในการก่อโรคของเชื้อราสาเหตุที่แยกได้พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* จำนวน 15 ไอโซเลท (Table 1) สามารถก่อให้เกิดโรคได้หลังจากปลูกเชื้อกลับบนใบยางพาราปกติด้วยเชื้อราบริสุทธิ์ที่แยกได้จากแผล

ที่แสดงอาการของโรค โดยเชื้อรา *C. gloeosporioides* ไอโซเลท DCG8 ทำให้ใบยางพาราเป็นแผลขนาดใหญ่ที่สุด คือ 7.88 เซนติเมตร และเชื้อรา *C. gloeosporioides* ไอโซเลท DCG2 และ ไอโซเลท DCG8-120 ทำให้ใบยางพาราเป็นแผล

ขนาดเท่ากับ 2.33 และ 2.25 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อนำเชื้อราที่ได้ทั้ง 15 ไอโซเลท มาทดสอบกับสารกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมที่มีความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 0, 100, 500

และ 1000 mg/L โดยวัดผลจากความสามารถในการยับยั้งเส้นใยเชื้อราบนอาหาร PDA ที่ผสมสารกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม (Figure 3)

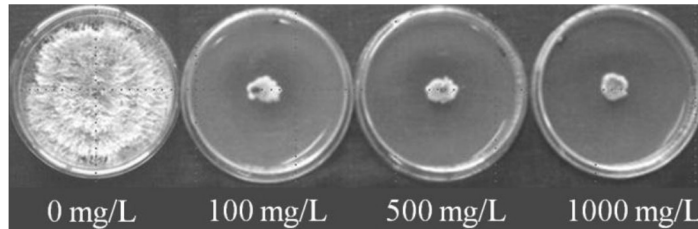


Figure 3 Colony morphology of *Colletotrichum gloeosporioides* on carbendazim amended PDA after incubation for 7 days

ผลปรากฏว่าอาหาร PDA ที่ผสมสารคาร์เบนดาซิม ความเข้มข้น 100 mg/L, 500 mg/L และ 1000 mg/L สามารถยับยั้งเส้นใยเชื้อรา *C. gloeosporioides* ไอโซเลท DCG1 เท่ากับ 70.33%, 71.56%, และ 70.33% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG2 เท่ากับ 71.56%, 76.78% และ 74.78% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG3 เท่ากับ 88.56%, 89.33% และ 88.66% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG4-30S เท่ากับ 88.67%, 89.11% และ 88.67% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG4-60S เท่ากับ 92.56%, 92.78% และ 92.89% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG5-30S เท่ากับ 90.89%, 92.22% และ 92.89% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG8 เท่ากับ 88.78%, 88.89% และ 89.44% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG8-120S เท่ากับ 64.89%, 82.33%, และ 88.33% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG9 เท่ากับ 83.99%, 83.22% และ 85.67% ตามลำดับ ไอโซเลท DCG10-120S เท่ากับ 88.11%, 88.56% และ 89.44% ตามลำดับ ไอโซเลท HCG4/1 เท่ากับ 88.44%, 88.67% และ 88.89% ตามลำดับ

ไอโซเลท HCG5/1 เท่ากับ 82.44%, 87.67% และ 88.11% ตามลำดับ ไอโซเลท HCG7/1 เท่ากับ 70.44%, 67.00% และ 68.22% ตามลำดับ ไอโซเลท HCG8/1 เท่ากับ 92.56%, 92.78% และ 92.89% ตามลำดับ และไอโซเลท HCG9/1 เท่ากับ 88.89%, 83.67% และ 87.89% ตามลำดับ และเมื่อจัดระดับการตอบสนองต่อคาร์เบนดาซิม พบว่าเชื้อรา *C. gloeosporioides* ไอโซเลท DCG4-60S และ HCG8/1 สามารถเจริญได้น้อยกว่า 10% จัดอยู่ในกลุ่ม sensitive (Car^s) phenotype สำหรับไอโซเลท DCG1, DCG2, DCG3, DCG4-30S, DCG5-30S, DCG8, DCG8-120, DCG9, DCG10-120S, HCG4/1, HCG5/1, HCG7/1 และ HCG9/1 สามารถเจริญได้ $\geq 10 - 35\%$ ในอาหารที่ผสมคาร์เบนดาซิมความเข้มข้น 500 mg/L จึงจัดให้อยู่ในกลุ่ม weakly resistant (Car^{WR}) phenotype (Table 3)

Table 3 Efficiency of various carbendazim fungicide concentrations on percent inhibition of mycelia radial growth and phenotype reactions of *Colletotrichum gloeosporioides*

Carbendazim concentrations	Percent inhibition of radial growth (%) ^{1/}														
	DCG1	DCG2	DCG3	DCG4-30S	DCG4-60S	DCG5-30S	DCG8	DCG8-120	DCG9	DCG10-120S	HCG4/1	HCG5/1	HCG7/1	HCG8/1	HCG9/1
0 mg/L	0.00±0.6 ²	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0b	0.00±0c
100 mg/L	70.33±2.1a	71.56±2.9a	88.56±0.5a	88.67±0.5a	92.56±0.3a	90.89±2.6a	88.78±0.9a	64.89±4.8a	83.99±1.3a	88.11±0.6a	88.44±1.0a	82.44±1.7a	70.44±1.9a	92.56±0.5a	88.89±2.0a
500 mg/L	71.56±1.2a	76.78±6.5a	89.33±1.0a	89.11±0.6a	92.78±0.4a	92.22±0.4a	88.89±0.6a	82.33±5.3a	83.22±5.0a	88.56±0.6a	88.67±0.5a	87.67±1.8a	67.00±1.9a	92.78±0.6a	83.67±11.3a
1000 mg/L	70.33±2.2a	74.78±7.9a	88.66±0.8a	88.67±0.2a	92.89±0.4a	92.89±3.2a	89.44±0.8a	88.33±4.8a	85.67±1.7a	89.44±0.8a	88.89±0.4a	88.11±2.4a	68.22±3.9a	92.89±0.8a	87.89±11.9a
CV (%)	3.15	9.58	1.09	0.62	0.49	1.99	1.04	30.95	4.32	1.29	0.89	2.65	4.61	11.85	15.82
Phenotype reactions ^{3/}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^S	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^{WR}	CAR ^S	CAR ^{WR}

1/ Means of five replications ±SD

2/ Means followed by a common letter in each column are not significantly different by LSD at P < 0.05

3/ Phenotype reactions of *Colletotrichum gloeosporioides* on carbendazim amended PDA

วิจารณ์และสรุป

เชื้อรา *C. cassiicola* ถูกยับยั้งด้วยสารคาร์เบนดาซิมความเข้มข้น 100, 500 และ 1000 mg/L ได้สูงสุด 92.44%, 92.56% และ 93.11% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่เชื้อรา *C. gloeosporioides* ถูกยับยั้งด้วยสารคาร์เบนดาซิมความเข้มข้น 100, 500 และ 1000 mg/L ได้สูงสุดเท่ากับ 92.89%, 92.78% และ 92.56% ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าสารคาร์เบนดาซิมสามารถนำไปใช้เพื่อควบคุมโรคใบจุดทั้งสองชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพในระดับห้องปฏิบัติการ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วการควบคุมเชื้อรา *C. cassiicola* นั้นเกษตรกรส่วนมากใช้สารเคมีในกลุ่ม benzimidazole (เบนโนมิล/คาร์เบนดาซิม (50% a.i.): อัตราแนะนำ= 1000 mg/L) และ morpholine (ไตรดีมอร์ฟ (75% a.i.): อัตราแนะนำ= 1000 mg/L) เพื่อกำจัดเชื้อราเหล่านี้ แต่ด้วยว่าสารกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิมเป็นสารประเภทดูดซึมมีประสิทธิภาพในการป้องกันและกำจัดเชื้อราสูง แม้ใช้ในความเข้มข้นต่ำก็ยังสามารถใช้ควบคุมโรคได้ดีในพืชหลายชนิด เช่น ข้าว อุ่น แดงโม ถั่ว มะม่วง พริก พริกไทย มะเขือเทศ กาแฟ ยาสูบ ฝ้าย กล้วยไม้ ผักต่างๆ ไม้ดอกไม้ประดับทุกชนิด ถึงแม้ว่ายังไม่มียางานการพบการดื้อต่อสารคาร์เบนดาซิม ของเชื้อรา *C. cassiicola* ในประเทศไทย แต่พบว่าในต่างประเทศมียางานการดื้อของเชื้อรา *C. cassiicola* ต่อสารเคมีในกลุ่ม Benzimidazole, N-phenylcarbamates และ Qol fungicides²¹⁻²⁵ และยังพบว่าเชื้อรา *C. cassiicola* ดื้อต่อสารกำจัดเชื้อรา boscalid (94.4% a.i.) ซึ่งเป็นสารเคมีกำจัดเชื้อรากลุ่มใหม่ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ succinate dehydrogenase หรือที่รู้จักกันในชื่อของ carboxamide ความเข้มข้น 0, 0.1, 1, 5, 10 และ 30 µg/ml ในเชื้อรา *C. cassiicola* สาเหตุของโรคใบจุดในแตงกวา ทำให้เชื้อราที่มีความต้านทานต่อสารชนิดนี้ในระดับปานกลาง หรือสูงจะลดประสิทธิภาพของสารกำจัดเชื้อราชนิดนี้ลง²⁶ เช่นเดียวกับ การควบคุมเชื้อรา *C. gloeosporioides* เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีชนิดดูดซึมในการป้องกันกำจัดโรคพืชกลุ่ม benzimidazole (benomyl/carbendazim) กลุ่ม polychlorinated aromatic (Chlorothalonil) และสารเคมีในกลุ่ม polymeric dithiocarbamate fungicides (propineb, zineb) สารเคมีเหล่านี้กลายเป็นสิ่งจำเป็นและขาดไม่ได้เนื่องจากสะดวกและมีประสิทธิภาพดี แต่การใช้สารเคมีประเภทดูดซึมติดต่อกันเป็นระยะเวลายาวนานเป็นการสะสมสารเคมีในสิ่งแวดล้อม²⁷ โดยสารเคมีในกลุ่ม benzimidazole (benomyl/ carbendazim) มียางานมาตลอดหลายสิบปีว่ามีผลต่อการดื้อยาของเชื้อรา *C. gloeosporioides* ในพืชหลายชนิด ด้วยกลไกการออกฤทธิ์

ของคาร์เบนดาซิมนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อการยับยั้งการสังเคราะห์ DNA และ RNA และการแบ่งเซลล์ของเชื้อรา โดยคาร์เบนดาซิมจะไปจับที่ตำแหน่งของยีน β -tubulin ภายในไมโครทิวบูลที่จะสร้างเป็น spindle fiber เมื่อไม่สามารถสร้างไมโครทิวบูลได้ การแยกตัวของโครโมโซมคู่เหมือนจะถูกยับยั้งลงไป ดังนั้นเชื้อราจึงไม่สามารถแบ่งตัวได้ตามปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าสารเคมีกำจัดเชื้อราที่เป็นสารเคมีประเภทดูดซึมมีประสิทธิภาพในการป้องกันกำจัดเชื้อราได้ดีกว่าสารเคมีกำจัดเชื้อราประเภทสัมผัสตาย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการใช้สารเคมีกำจัดเชื้อราประเภทดูดซึมต้องพึงระมัดระวังในการใช้มากกว่าเพราะมีโอกาสก่อเกิดการกลายพันธุ์ของประชากรศัตรูพืชได้สูงกว่า²⁸⁻²⁹ เนื่องจากเมื่อมีการใช้สารคาร์เบนดาซิมบ่อยครั้งจนทำให้ประชากรเชื้อราเกิดการแปรผันทางพันธุกรรมไปโดยยีน β -tubulin ของเชื้อรานั้นมีการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างภายในทำให้สารคาร์เบนดาซิมไม่สามารถจับที่ตำแหน่งดังกล่าวได้ เชื้อราจึงยังสามารถเจริญต่อไปได้ตามปกติซึ่งถือว่าเกิดความล้มเหลวในการควบคุมเชื้อราชนิดนั้นๆ ไป นอกจากนี้มีรายงานว่าเชื้อราก็มีโอกาสที่จะดื้อต่อสารตัวอื่นในกลุ่มเดียวกันได้ เช่น ดื้อต่อสารเบนโนมิลแล้วก็จะดื้อต่อสารคาร์เบนดาซิม หรือดื้อต่อสารไทอะเบนดาโซลก็จะดื้อต่อสารเบนโนมิลด้วย เป็นต้น

นอกจากนี้เป็นที่น่าสังเกตว่า เชื้อราที่สามารถเจริญบนอาหาร PDA ที่ผสมสารคาร์เบนดาซิมทุกความเข้มข้นตั้งแต่ระดับ 100 - 1000 mg/L มีการสร้าง pigment สีม่วงเข้มรอบโคโลนีของเชื้อรา *C. cassiicola* และ *C. gloeosporioides* เช่นเดียวกับที่พบในเชื้อรา *Cercospora lactucae-sativae* สาเหตุโรคใบจุดของผักกาดหอมที่ดื้อต่อสารคาร์เบนดาซิม (CAR^{HR}) โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงของลักษณะ phenotype เช่น การเจริญ เส้นใย การสร้างสปอร์ แต่พบการเปลี่ยนแปลงของลำดับเบสของยีน β -tubulin ในตำแหน่ง โคดอนที่ 198 จาก adenine ไปเป็น cytosine ส่งผลให้ชนิดของกรดอะมิโนใน wild type (CAR^S) เปลี่ยนจาก glutamic acid (GAG) ไปเป็น alanine (GCG) ในไอโซเลทที่ดื้อยา (CAR^{HR})²⁹

จากผลจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าสารคาร์เบนดาซิมทุกความเข้มข้นตั้งแต่ระดับ 100 - 1000 mg/L สามารถควบคุมการเจริญของเส้นใยเชื้อรา แตกต่างจากชุดควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งที่อัตราแนะนำบนฉลากของสารคาร์เบนดาซิมนั้นอยู่ที่ 1000 mg/L ซึ่งนั่นหมายความว่าสารคาร์เบนดาซิมเพียง 100 mg/L ให้ผลเทียบเคียงกับที่ความเข้มข้น 1000 mg/L แสดงว่าเกษตรกรสามารถใช้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่าอัตราแนะนำบนฉลากได้ เพื่อไม่ให้เกิดการดื้อต่อสารคาร์เบนดาซิมนี้ในอนาคต แต่ทั้งนี้การศึกษาการประเมินระดับความต้านทานของเชื้อรา *C. cassiicola* และ *C. gloeospori-*

oides สาเหตุโรคใบจุดก้ำปลา และใบจุดหนูนต่อสารเคมีกำจัดเชื้อราคาร์เบนดาซิม ในการยับยั้งเส้นใยเชื้อ *C. cassicola* และ *C. gloeosporioides* เป็นการทดสอบเบื้องต้นในอาหารเลี้ยงเชื้อภายในห้องปฏิบัติการ ซึ่งเป็นสภาวะควบคุมปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ผสมสารคาร์เบนดาซิมที่ทราบความเข้มข้นแน่นอนทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพเบื้องต้นของสารเคมีได้ชัดเจนแต่ในสภาวะแปลงปลูกนั้นความเข้มข้นที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อาจจะใช้ไม่ได้ผลเนื่องจากมีปัจจัยด้านสภาวะแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นในขั้นต้นเกษตรกรต้องใช้สารเคมีชนิดนี้ในระดับต่ำก่อน เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการใช้จริงในแปลงปลูกต่อไปและผู้วิจัยเองควรได้มีการศึกษาระดับแปลงเพิ่มเติมในอนาคตด้วย

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณรายได้ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปีงบประมาณ 2557

เอกสารอ้างอิง

1. อุมารณณ์ อุดมผล, บัญชา สมบูรณ์สุข. การสร้างแบบจำลองระบบการทำฟาร์มสวนยางพาราและสวนปาล์ม น้ำมันในอำเภอคลองท่อม จังหวัดกระบี่. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2554. 520 หน้า.
2. Workman D. Natural rubber exports by country in world top exports. 2018. Available from: URL:<http://www.worldstopexports.com/natural-rubber-exports-country/> May 5 2018.
3. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. สถิติส่งออกยางธรรมชาติ. (คั่นวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2561) สืบค้นจาก URL:<http://rubber.oie.go.th/lmExThaiByProduct.aspx?pt=ex>.
4. สมาคมยางพาราไทย. สถิติยางไทย. (คั่นวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2561) สืบค้นจาก URL:<http://www.thainr.com/th/?detail=stat-thai>.
5. การยางแห่งประเทศไทย. การปลูกยางพารา- พันธุ์ยางที่นิยมปลูกในประเทศไทย. (คั่นวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2561) สืบค้นจาก URL:<http://km.rubber.co.th/>.
6. กรรณิการ์ เพ็ญนภักดิ์, กัญจนนา โป๊ะเงิน, อุบล คือ ประโคน, วิรัช ชูบำรุง, สัญชัย ดันตยาภรณ์. *Corynespora cassicola* เชื้อราสาเหตุโรค target spot ของมะละกอ. วารสารวิชาการเกษตร. กรมวิชาการเกษตร. 2533;8(1):25-30
7. สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. ยางพารา. (คั่นวันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2561) สืบค้นจาก URL:<http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/para/controller/01-05.php>.
8. พงษ์เทพ ขจรไชยกูล, อมรมณัฏ์ โรจน์สุจิตร์, เก็บ หนูศรี, วันเพ็ญ หวังเกียรติ, อาคม โทมณี และกาศศิลป์ รัตนะ. ปฏิบัติการของยางพันธุ์บราซิลต่อเชื้อ *Corynespora cassicola* Curt. & Wei. ที่แยกได้จากยางพารา. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร. 2541. กรุงเทพฯ. 9 หน้า.
9. Ogbemor NO, Adekunle AT Enobakhare, DA. Inhibition of *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Sac. causal organism of rubber (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) leaf spot using plant extracts. Afr J Biotechnol. 2007;6(3):213-218
10. Begho ER. Nursery diseases of *Hevea brasiliensis* in Nigeria, and their control. Proceedings of a National workshop on fruit/tree crop seedling production NEARLS. Zaria. 1990;103-106
11. Sabu PI, Kuruvilla CJ, Manju MJ, Kothandaraman R. Current status of *Corynespora* Leaf fall disease in India. In: the International Rubber Research and development board (IRRDB) workshop on *Corynespora* leaf fall of Rubber in Kuala Lumpur and Medan; 2000 June 6 – 14; 2000. p5.
12. Podila GK., Rogers LM, Kolattukudy PE. Chemical signals from avocado surface wax trigger germination and appressorium formation in *Colletotrichum gloeosporioides*. Plant Physiol. 1993;103:267-272
13. Wilson LL, Madden LV, Ellis MA. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature and mature strawberry fruit by *Colletotrichum acutatum*. Phytopathology. 1990;80(1): 111-116
14. อนันต์ วงเจริญ. ผลของสารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อราต่อการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคของข้าว. วารสารแก่นเกษตร. 2556;41(ฉบับพิเศษ): 527-531
15. พัฒนา สนธิรัตน์, ลักษณะ วงศ์หิรัญภิญโญ, วิรัช ชูบำรุง, ประไพศรี พิทักษ์ไพรวิน. สันฐานวิทยา สรีรวิทยา และพืชอาศัยของเชื้อรา *Corynespora cassicola* สาเหตุโรคใบจุดก้ำปลาของยางพารา. ใน:รายงานการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 30 ระหว่างวันที่ 29 มกราคม-1 กุมภาพันธ์ 2535. มหาวิทยาลัย

- เกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ:2535;395-401
16. Soytong, K. Biological Control of Plant Pathology. 1989. 362pp.
 17. Peres NAR, Souza NL, Peever TL. and Timmer LW. Benomyl sensitivity of Isolates of *Colletotrichum acutatum* and *Colletotrichum gloeosporioides* from citrus. Plant Dis. 2004;88:125-130
 18. นริสา จันทร์เรือง, ประภา พัฒนกุล, อุไร จันทร์ประทีน, บัญญัติ สิทธิผล. ศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ต่อต้านในการป้องกันกำจัดโรคยางพาราที่สำคัญ. รายงานผลงานวิจัย กรมวิชาการเกษตร ประจำปี 2537. 2537;11 หน้า
 19. Wei CT. Notes on *Corynespora*. J Myco Papers. 1950;34:10 pp
 20. Sutton BC. The Coelomycetes. Kew. Surrey. England; 1992
 21. Hasama W. Occurrence and characteristics of resistant strains of *Corynespora melonis* against benzimidazole compounds. Ann. Phytopathol. Soc. 1991;57:312-318
 22. Hasama W, Sato M. Occurance and distribution of fungicide-resistant field isolates of strains of *Corynespora cassiicola* causal fungus of target leaf spot of cucumber. In :Kyushu and Okinawa districts. Proceeding of the association for Plant Protection of Kyushu. 1996;42:30-26
 23. Date H, Kataoka E, Tanina K. Sensitivity of *Corynespora cassiicola*, casual agent of *Corynespora* leaf spot of cucumber, to thiophanate-methyl, dithiofen-carb and azoxystrobin. Jpn J Phytopathol. 2004;70:10-13
 24. Takeuchi T, Kubo C, Ishii H. Sensitivity of Chiba Prefecture isolates of *Corynespora cassiicola*, causal agent of *Corynespora* leaf spot on cucumber, to several fungicides. Annual report of Kanto-Tosan Plant Protection Society. 2006;53:55-60
 25. Ishii H, Yano K, Date H. Molecular characterization and diagnosis of QoI resistance in cucumber and eggplant fungal pathogens. Phytopathology. 2007;97:1458-1466
 26. Miyamoto T, Ishii H, Stammler G, Koch A, Ogawara T, Tomita Y, Fountaine, JM, Ushio S, Seko T, Kobori S. Distribution and molecular characterization of *Corynespora cassiicola* isolates resistant to boscalid. Plant Pathol. 2010;59(5):873-881
 27. บุญผา อุ๋นแสงจันทร์, วิทยา ยกจวี, ทรงพล โต้ซารี. รายงานสถานการณ์มลพิษทางน้ำจากการปลูกยางพารา. ส่วนน้ำเสียเกษตรกรรม สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. กรุงเทพฯ. 2556;50 หน้า
 28. Kongtragoul P, Na lumpang S, Miyamoto Y, Izumi Y, Akimitsu K. Mutation at Codon 198 of TUB2 gene for carbendazim resistance in *Colletotrichum gloeosporioides* causing mango anthracnose in Thailand. J. Plant Prot Res. 2011;51(4):377-384
 29. Suwan N, Nuandee N, Akimitsu K, Na Lumpang S. Analysis of β -tubulin gene from carbendazim resistant isolates of *Cercospora lactucae-sativae* on Lettuce in Thailand. Int J Agri Techno. 2012;8(2):711-723

ผลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของหญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) ในช่วงฤดูแล้ง

Effect of Organic Fertilizer on the Growth and Yield of Pangola (*Digitaria eriantha*) during the Dry Season

ธันวา ไวยบอท^{1*}

Thunwa Wiyabot^{1*}

Received : 15 May 2018 ; Accepted : 8 August 2018

บทคัดย่อ

แปลงหญ้าเป็นสิ่งสำคัญสำหรับเกษตรกรเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้งเมื่อการขาดแคลนอาหารเกิดขึ้นและการจัดการคุณภาพอาหารไม่ดี อย่างไรก็ตามผลผลิตสามารถเพิ่มขึ้นและค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับปุ๋ยเคมีลดลงผ่านการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ราคาไม่แพง การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการตอบสนองของปุ๋ยอินทรีย์สำหรับปลูกหญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) ต่อคุณภาพผลผลิตและคุณภาพดินหลังปลูกช่วงฤดูแล้งในประเทศไทยโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.8 ± 1.1 องศาเซลเซียส และความชื้นเฉลี่ย $75.0 \pm 7.6\%$ วางแผนการทดลองใช้แบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ได้รับ 1 สูตร คือสูตรที่ 1 (สูตรควบคุม) สูตร 2 (ปุ๋ยอินทรีย์จากร้านค้าปุ๋ย) สูตรที่ 3 (มูลสุกร มูลไก่ และดิน อัตราส่วน 1: 1: 1) และสูตรที่ 4 (มูลสุกร, มูลไก่ และดิน (อัตราส่วน 1.5: 1.5: 0) ผลการทดลองพบว่า อัตราการตอบสนองของสูตรปุ๋ยอินทรีย์สำหรับหญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) สูตร 4 (อัตราส่วน 1.5: 1.5: 0) มีสมรรถนะต่อการผลิตที่ 0-15 วันสูงกว่าสูตร 1, 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สูตรที่ 3 (อัตราส่วน 1: 1: 1) ทำให้หญ้าแพงโกล่ามีความสูงกว่าสูตร 1 สูตร 2 และสูตร 4 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และจำนวนหน่อตอกออก อยู่ระหว่าง 0-15 และ 30-45 ของการใช้สูตรที่ 2 และ 3 ช่วยเพิ่มจำนวนหน่อตอกออกมากกว่า สูตร 1 และสูตร 4 แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของหญ้าแห้งสูตร 4 มีความชื้นและโปรตีนสูงกว่าถ้าไขมันและเส้นใยและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาณโพแทสเซียมและแคลเซียมในดินทุกวิธีมีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความเป็นกรด – ด่างลดลง

คำสำคัญ : ปุ๋ยอินทรีย์ การเจริญเติบโตและผลผลิต หญ้าแพงโกล่า (*Digitaria eriantha*) ฤดูแล้ง

Abstract

Pasture is important for farmers, especially during the dry season, when food shortages occur and food quality management is poor. However, productivity can be increased and the costs associated with chemical fertilizers lowered via the use of inexpensive organic fertilizers. The objective of this study was to investigate the effect of organic fertilizer on the growth and yield of Pangola (*Digitaria eriantha*) during the dry season. During the experiment, the average temperature was $29.8 \pm 1.1^{\circ}\text{C}$, and the average humidity was $75.0 \pm 7.6\%$. A randomized complete block design (RCBD) was implemented, with the study site divided into 3 grass plots. Each plot of grass received all formulas, with formula 3 composed of fertilizer, chicken manure and soil in a 1:1:1 ratio and formula 4 composed of pig manure, chicken manure and soil in a 1.5:1.5:0 ratio. The results showed that the effect of organic fertilizer on Pangola (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand using formula 1 (1.5:1.5:0) was significantly ($P < 0.05$) higher at 0-15 days compared with that of formulas 2 and 3. The number of shoots per clump from 0-15 days and 30-45 days of treatments was significantly higher for formula 3 (1:1:1) than formulas 1, 2 and 4 ($P < 0.05$). The number of shoots

¹ Assist.Prof., Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, 60000, Thailand

* Corresponding author ; Animal Production Technology, Department of Agricultural Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University, 60000, Thailand

per clump was significantly higher under formulas 2 and 3 than formulas 1 and 4 ($P < 0.05$). The chemical composition of the drought-tolerant grass under formula 4 was significantly higher in moisture and protein content than ash, fat and fiber content, and these results were significantly different from the other treatments ($P < 0.05$). Moreover, the potassium and calcium content in all soils were significantly increased, and the pH values were decreased.

Keywords : Organic Fertilizer, Growth and Yield, Pangola (*Digitaria eriantha*), Dry season

Introduction

Feed production is particularly important for animal feed management, which is implemented to ensure that animal feed is of sufficient quality and suitable for animal production. Therefore, farmers should consider cultivation practices that can compensate for or replace and reduce the roughage costs during the dry season.¹ Feedstuffs and other materials can now be used for livestock in each season, which is important for the production of livestock farmers.^{5,8} The quantity and quality of food are important factors for increasing the productivity of ruminants.^{4,14} The nutritional requirements of ruminants vary according to the amount of energy that animals use in their activities associated with living, growing and producing. Therefore, diets that provide nutrients to ruminants are important and primarily focused on energy and protein. However, the dry season in Thailand is a difficult time period because of the reductions in the quantity and quality of food.^{23,25} The cultivation of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) has been studied in all seasons in Thailand.^{24,32} Pangola grass (*Digitaria eriantha*) is very fragrant and suitable for use as a rough feed for ruminants because it includes 29% fiber, 8.2% ash and 46% carbohydrates. The total digestible nutrients (TDNs) in pet feed are 59%, with 23% ADF at 35.7%, NDF at 63.3%, Ca at 0.44% and P at 0.3%.^{2,23} The Department of Livestock Development in Thailand has introduced and encouraged farmers to grow Pangola (*Digitaria eriantha*). This grass is soft and has small flesh; thus, it is easily digested and utilized by ruminants. The general characteristics of this grass are numerous.^{31,26} After many years, this grass can grow in many types of soil and is more resistant to flooding than other grasses.^{1,10} This grass can grow in lowland areas and meadows, which can be utilized for the release of animals to feed and are suitable for grass-fed production. Pangola

grass (*Digitaria eriantha*) is suitable in flood-prone areas for many years.^{23,17} Animals find this grass palatable; thus, the grass is suitable as hay. The grass has trunks along the surface and is spread by using 7-13 sections of 3-8 cm long sections of cracked roots and shoots. For the conversion of grass, farmers generally use chemical fertilizers to increase yields. The long-term use of fertilizers can cause pollution to the soil, water and air, and it results in the increased yield and quality of raw materials due to increased soil acidity.^{24,11} Based on information from pastures or pets, the proportion of animals is very low compared to the number of animals. Fertilizers often focus on plant nutrients, such as nitrogen, phosphorus, and potassium.^{16,18} The long-term use of chemical fertilizers without soil improvement may degrade the soil until it is unsuitable for crop production via hardening of clay and changes to the soil pH and salinity. Moreover, the long-term use of chemical fertilizers affects the surrounding ecosystems as a result of contaminated soil or water, which leads to impacts on consumers. Using organic fertilizer may represent an option for soil improvement,^{9,30} and it can reduce production costs and provide a nutrient source that is beneficial to plants when degraded via microorganisms.^{7,22} Groundnut organic fertilizer is derived from the manure of animals (e.g., ducks, chickens, pigs and cows),¹⁰ and it represents a source of nutrients that can improve the soil, especially during the dry season.^{2,36} To increase productivity and reduce costs, organic fertilizers are generally produced locally by using locally sourced raw materials, and these fertilizers may also include different nutrients.^{12,15}

The objective of this study was to investigate the effect of organic fertilizer on the yield and quality of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand.

Materials and Methods

The effects of the application of organic fertilizer on the yield of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand from February to May 2017 were studied. The average temperature was 29.8 ± 1.1 °C, and the average humidity was $75.0 \pm 7.6\%$. The effect on the leaf number of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) was recorded, and the chemical composition of the grass, such as the moisture, ash, fat, fiber and protein content, was measured.^{2,37} Each plot was treated with either formula 1 (control formula), formula 2 (organic fertilizer from the fertilizer store), formula 3 (pig manure, chicken manure and soil in a 1:1:1 ratio) and formula 4 (pig manure, chicken manure and soil in a 1.5:1.5:0 ratio) The results of the nutrient volume analysis for the organic fertilizer indicated that the contents were not significantly different at N = 1.75, P₂O₅ = 1.66, and K₂O = 1.01.

Experimental areas. The experimental plot of Pangola (*Digitaria eriantha*) was 6x8 m, and 3 kg / 100 m³ of fertilizer was applied. At 3 time intervals 0-15, 15-30 and 30-45 days

Data collection: After 45 days of randomization with 10 × 30 cm sieve equipment, random sampling was performed for 10-15 points in each plot, and mowing was performed to obtain data on the growth rates. The number of shoots, height, leaf weight per stem, number of leaves per bouquet, fresh weight, number of shoots per 10 stems, and ratio of shoots to shoots were determined. For each plot, the composition of each formula was assessed to analyze the chemical composition of the grass, with the analyses performed at the animal feed laboratory at Nakhon Sawan Rajabhat University.

Soil samples were collected before and after the organic fertilizer treatments. Before digging the soil, the grass was removed, and any debris was swept away (we did not cut or scrape off the soil) using a drop or shovel. Then, holes were dug at a vertical depth to the level of tillage for all plants (except grass, which is 5 cm deep, and perennials, which is 30 cm). The thickness of the hole was approximately 2-3 cm at the bottom.²⁹ The clay content was determined by combining the soil in a bucket or plastic container.^{1,28}

An analysis of variance was performed using the Statistical Analysis System (SAS) program for randomized complete block design (RCBD),³⁴ and the mean values were compared using Duncan's new multiple range test.³⁵ The differences in means were considered significant at P < 0.05.

Results

The effect of organic fertilizer on the yield of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand from February to May 2017 was investigated. The average temperature was 29.8 ± 1.1 °C, and the average humidity was $75.0 \pm 7.6\%$. The results are as follows.

The effect of organic fertilizer on Pangola grass (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand showed that the height of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) under formula 4 was significantly increased at 0-15 days (P < 0.05). At 15-30 days, the height was significantly higher for formula 3 compared with formula 1, formula 2 and formula 4 (P < 0.05), although the values of the latter three formulas significantly differed (P > 0.05). From days 0-15, 15-30 and 30-45 days, the weight of the grass did not significantly differ (P > 0.05), and the number of shoots per clump of Pangola grass (*Digitaria eriantha*). The ratio of organic fertilizer to shoots of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) was 0-15 days. Formulas 2 and 3 produced a higher number of shoots than formula 1 and formula 4 (P < 0.05). For 15-30 Statistically significant differences (P > 0.05) were not observed from days 15-30. Formula 1 and formula 2 were significantly higher than formula 1 and formula 4 (P < 0.05). The ratio of organic fertilizer to the leaves of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) showed that formulas 1, 2, 3 and 4 did not affect the number of stems per clump, and were not significantly differences (P > 0.05), as shown in Table 1.

The effect of organic fertilizer on the chemical composition of Pangola (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand was also assessed, and the results showed that the moisture, ash, fat and protein contents were higher under formula 4 (7.27 %CP) compared with formulas 1, 2 and 3; the difference was statistically significant (P < 0.05), as shown in Table 2.

The assessment of soil quality showed that the long-term use of chemical fertilizers on grass causes soil deterioration and increases the acidity, while the use of organic fertilizer increases the amount of organic matter and nutrients. The organic matter content in the soil was 1.6%, and the average phosphorus content was 1.8 mg / kg. The average potassium content was 7.66 mg / kg, and the average acid content was 7.56 mg / kg. of soil. Thus, the use of organic fertilizer (i.e., manure) is recommended to increase the efficiency of chemical fertilizer applications. The potassium content in the plant was 17 mg / kg, the calcium content was 654 mg / kg, and the

pH was 6.9 in grassland 2, which presented a phosphorus concentration of 1 mg / kg. The average organic matter content was 16% and 732 mg / kg, and the pH was 5.8 in grassland level 3, which presented a phosphorus concentration of 1 mg / kg, an average potassium content of 17 mg / kg, calcium content of 897 mg / kg, and a pH of 6.4. At 16.66 mm; the amount of calcium per kilogram on average was 7.61, and the acid - base average occurred at 6.36 mg / kg. Higher potassium and calcium contents corresponded to lower pH as shown in Table 3.

Table 1 The effect of organic fertilizer on the productive performance of Pangola grass.

Item	Organic fertilizer				Ave	SEM	P-value
	Formula 1 Control	Formula 2 Market	Formula 3 (1:1:1)	Formula 4 (1.5:1.5:0)			
Height (Day)	(cm)						
0-15	39.66 ^c	41.33 ^b	36.00 ^c	43.33 ^a	40.00	1.66	0.04 [*]
15-30	32.33 ^b	31.66 ^b	36.33 ^a	27.33 ^c	31.92	1.51	0.01 [*]
30-45	48.66	54.33	52.00	51.66	51.49	2.49	0.34 ^{ns}
Ave	40.22	42.44	41.44	40.77			
Weight (Day)	(g)						
0-15	250.00	250.00	216.66	210.00	231.5	23.78	0.75 ^{ns}
15-30	296.66	313.33	320.00	333.33	315.83	22.98	0.30 ^{ns}
30-45	343.33	383.33	433.33	380.00	384.99	28.19	0.51 ^{ns}
Ave	296.66	236.66	323.33	307.77			
Number of shoots per clump (Day)	(shoots)						
0-15	7.80 ^b	10.7 ^a	11.2 ^a	9.50 ^b	9.80	0.761	0.02 [*]
15-30	15.00	15.40	14.60	13.30	14.57	1.06	0.66 ^{ns}
30-45	13.90 ^b	16.50 ^a	15.20 ^a	14.60 ^b	15.05	1.04	0.01 [*]
Ave	12.23	14.2	13.66	12.46			
Number of trunks per 10 clumps (trunks)	11.70	11.40	9.50	9.90		0.723	0.10 ^{ns}
Ratio of clump (clump)	9.60	9.80	8.60	9.20		0.719	0.66 ^{ns}
Leaf per clump (leaf)	32.8	31.4	28.0	24.9		2.13	0.12 ^{ns}

^{abc}The letters displayed in each row. The difference was statistically significant (P <0.05).

^{ns}= difference (p>0.05) * = significant difference (p <0.05)

Table 2 The effect of organic fertilizer on the chemical composition of Pangola grass.

Item	Organic fertilizer				SEM	P-value
	Formula 1 Control	Formula 2 fertilizer store	Formula 3 (1:1:1)	Formula 4 (1.5:1.5:0)		
Moisture	32.38 ^b	29.33 ^b	33.04 ^b	36.73 ^a	0.464	0.01 [*]
Ash	2.75 ^b	2.89 ^b	3.34 ^b	4.29 ^a	0.206	0.01 [*]
Fat	1.92 ^b	1.09 ^b	1.50 ^b	2.38 ^a	0.561	0.04 [*]
Fibre	37.97 ^a	38.85 ^a	38.36 ^a	36.26 ^b	2.15	0.02 [*]
Protein	5.22 ^b	5.08 ^b	5.75 ^b	7.27 ^a	0.109	0.01 [*]

^{abc}The letters displayed in each row. The difference was statistically significant (P <0.05).

Table 3 Soil sample analysis results before and after the trial.

Grass experiment plot	Mineral				
	Organic matter (%)	Phosphorus (mg / kg)	Potassium (mg / kg)	Calcium (mg / kg)	Acid-base (pH 1:1)
Pre-trial					
1	0.97	3	8	-	6.3
2	1.31	2	9	-	8.5
3	1.70	1	6	-	8.3
Average	1.6	1.8	7.66	-	7.56
After trial					
1	-	1	17	654	6.9
2	-	1	16	732	5.8
3	-	1	17	897	6.4
Average	-	1	16.66	761	6.36

Discussion and Conclusions

The effect of organic fertilizer on the yield and quality of Pangola grass (*Digitaria eriantha*) during the dry season in Thailand was determined by measuring the height, weight, number of shoots, number of leaves and number of leaves per clump. The composition of grass was studied based on a 45-day cutting test.^{6,20} The analysis showed that the moisture content, ash, fat, fiber and protein of Pangola (*Digitaria eriantha*) at 45 days under formula 4 (7.27 %CP) were higher than that of the other formulas, and the difference was statistically significant. From 15-30 days, the number of shoots per clump, fresh

weight, number of shoots per 10 clumps and number of leaves per clump were not significantly different. The soil quality after planting was assessed, the potassium and calcium contents were higher, and a lower pH was observed.

Various chemical fertilizers have been applied to improve the growth of Pangola grass (*Digitaria eriantha*). The findings of this study showed that Pangola presented a positive response to organic fertilizer in terms of productivity and soil quality when planted at sites located in the drought region in Thailand. The results of the soil nutrient analysis at the end of the experiment showed

that the potassium and calcium content in the soil increased and the pH decreased. Rodchum *et al* (2017) reported that the organic matter (OM), P, K, Ca and N_2O and NH_3 contents were consistent with those found by Kulana *et al.*, (2007) reports have indicated that high-quality organic fertilizers only improve the chemical properties of the soil after planting. Organic compounds, nitrogen and phosphorus are beneficial to plants. This study investigated the proportion of organic fertilizer that improved production, and the results obtained using organic fertilizer are consistent with those using chemical fertilizer. Pumparn *et al.*, (2017) reported that more than 2,000 kg per rai was required. Therefore, the stem height, leaf number, leaf width, leaf length, and fresh weight of the plants were tested. The dry matter and total yield obtained with phosphorus fertilizer were higher than those obtained with the chicken manure application. The only fertilizer application was the growth, yield and nutrient absorption. The phosphorus content in rice and corn grown using high-quality organic fertilizer was the same or better compared with that using chemical fertilizer alone. High-quality chemical fertilizers have the potential to improve soil chemical properties via the inclusion of nitrogen and phosphorus and maximizing the ash and protein content. In addition, the chemical composition of organic fertilizer is higher in certain nutrients than chemical fertilizer. (Pholsen, 2007) As the amount of nitrogen and ash content in livestock feedstock increased, only fertilizer was used. The use of chicken manure in drought-tolerant grass reduces the protein content and lowers the chemical composition of the grass compared with the use of urea.^{5,19} Organic grass production using organic fertilizers is recommended for the production of organic animal products derived from ruminants, such as buffalo, goat and sheep, to reduce fertilizer costs, provide safe products for consumers and reduce global pollution.

2,9,25

Acknowledgements

The authors would like to express our most sincere thanks to the Land Development Office, Region 9, Nakhon Sawan and Nakhon Sawan Rajabhat University.

References

1. Department of Livestock. 2012. Guidance document. Department of Livestock, Ministry of Agriculture and Cooperatives. Department of Livestock. 2012. Retrieved on November 30, 2017. Source: <http://www.dld.go.th>.
2. Department of Agriculture. 2006. Organic fertilizer guide. Agricultural Cooperative Federation of Thailand, Bangkok.
3. Land Development Department, Ministry of Agriculture and Cooperatives. 2012. Soil Analysis for Soil Analysis Guidance document. Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok.
4. Tawatree, K. N. 2009. Effect of chemical inputs on growth and yield of maize. Suwan 4452. Master Thesis, Kasetsart University.
5. Wiyabot, T. W. and S. J. Penvijet. 2010. Study on the use of chicken manure on the composition of the local goat grass. Nakhon Sawan Province. 11th, Annual Meeting of the Veterinary Medical Academy, 2010. "Livestock Business Opportunity Veterinary and Veterinary Services Thailand. 10 - 11 June 2010. Page 174 – 177.
6. Wiyabot, T. W. and M. T. Thonechuea. 2013. Effect of age on mulch cropping and nutritive value in the field. Nakhon Sawan Province. Agricultural Core 41 : Special Page : 376-380.
7. Mala, T. C. and A. T. C. Vongmarote. 1998. Improvement of soil using compost. Academic Publications laboratory. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University. Nakhon Pathom.
8. Chevaisarakul, B.L. 1998. Animal Nutrition. Animal Health Research Institute, Tanta Laboratory.
9. Ratnetu, B.C. 2012. Organic fertilizer with poor soil improvement. Narathiwat Rajanagarindra University. 4 (2) : 115-127.
10. Oucholnorn, P. M. 2004. Effects of different manure application on yield, percent starch of cassava roots, and The nutrient element of it. Master Thesis, Kasetsart University. Nakhon Pathom.
11. Oucholnorn, P. M., S. T. C. Kaewsuone. and S. Y. Juttupornpong. 2011. The response of grass is ex-

- pensive. Go to the top of the page Fertilizer Urea and Dairy Cattle as Fertilizer. Master Thesis, Kasetsart University, Nakhon Pathom.
12. Pumparn, P. P., V. P. Srikontiwong., C. V. Pemjarern., P. W. Chompupeil. 2017. Fertilizer high quality for rice production Suphanburi 1. Science and Technology. 25 (2) : March - April.
 13. Rodchum, P.C. 2009. Influence of fodder grass in organic production on Korat soil series. Master of Science. Thesis Faculty of Animal Science, Graduate School. KhonKaen University, KhonKaen.
 14. Wanapat, M. 2009. Local animal feed resources to optimize the production of ruminants. Seminar Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.
 15. Osotsapa, Y.L. 2000. Plant nutrients. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.
 16. Chanhom, V.N.P. 1991. Plant nutrients. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University.
 17. Tekul, V.L. 1993. Study on the quality of grass and legumes of some tropical species at the growth stage. Master Thesis, Graduate School Kasetsart
 18. Rumtenin, V.P. 1986. Study on the quality of grass and legumes of some tropical species at the growth stage. Master Thesis, Graduate School Kasetsart University.
 19. Sititul, S.N. 2002. The use of chicken manure as phosphorus fertilizer and the results of phosphorus fertilization with silane. Growth and Phosphorus Absorption of Maize Grown in Oxisols Soil Series Master thesis, Kasetsart University. Bangkok.
 20. Tathchee, S.Y. 1997. Tropical fodder of Agronomy, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok. production and management. Department 2 nd Seminar Sukhothai Thammathirat Open University, Bangkok.
 21. Ponmeeru, S. S., A.C. Jedakon and H.D Patdilok. 2012. The effect of using manure, compost, and chemical fertilizers. Production of buds. Conference on Graduate Research,
 22. Juttupornpong, S. K. Y., P. T. M. Auychunen and A. T. Kanto. 2006. Utilization of manure and farm waste water animal husbandry is a variety of organic fertilizer. For economic crops. Suvarnabhumi Kasetsart University. Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom.
 23. Kulana, S. N., V. R. K. Jemjetjalum and S. D. V. Punpiwet. 2007. Product and Chemical components of Variegated grasses grown at different rates in the lowlands of Sukhothai Province. Animal Conference Science 3. Department of Animal Science Faculty of Agriculture, Khon Kaen University.
 24. Tuikumpe, S. P., J. N. Wongnakna, S. H. Zubrod, S. T. Ornsongchan. and V.D. Kamnerdpetch. 2008. Dairy Replacement technology. Animal Husbandry Division, Department of Livestock.
 25. Pholsen, C. D., P. C. Rodchoum, K. P. Sommart, Productivity and quality Three types of fodder crops and organic production methods with and without mixed bean. Core Agriculture. 42 (1) : 65-80.
 26. Pusitikul, A. N., S. K. Saengchod, S. J. Inmanee and J.T.K., Aranan. 1990. Grain digestible fluke for ruminants. Research Report, 1990. Department of Livestock Development, Department of Livestock. Page 323-333.
 27. Anukoonprasert, A. P., P.S. Boonwatnakul and S. C. Chatakan. 2015. The effect of using high quality organic fertilizer. Chemical fertilizers and their effects on the growth and yield of Chinese cabbage. Science and Technology 23 (6) : 2015.
 28. Alexander, M. 1967. Organic matter decomposition. 2 ds. In Introduction to soil microbiology. John Wiley and sons, Inc.: New York. p. 422-424.
 29. Cecilia, L. F., S. L. Amigot., M. Gaggiotti., L.A. Romero and J.C. Basilio. 2007. Forage Quality: Techniques for Testing. Fresh produce. (1) : 121-131.
 30. Dormaar, J.F. and C. Chang. 1995. Effect of twenty annual applications of excess feedlot manure on labile soil phosphorus. Can. J. Soil Sci. 75: 507-512.
 31. Hare, M.D., P. Booncharern, P. Tatsapong, K. Wongpichet, C. Kaewkunya, and K. Thummasaeng. 1999. Performance of para grass (*Brachiaria mutica*) and

- Ubonpaspalum (*Paspalum atratum*) on seasonally wet soils in Thailand. *Tropical Grasslands*. 33 : 75–81.
32. Inoko, A. 1984. Compost as a source of plant nutrient. In organic matter and rice. Manila : IRRI. p 135-145.
 33. National Research Council (NRC). 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 6th. Rev. ed. Washington, D.C. National Academy Press.
 34. SAS. 1998. SAS/STAT User 's Guide. Version 6.12. SAS Inc., Cary' NC.
 35. Steel, R. G. D. and J. H. Torrie. 1985. Principles and procedure of statistics. McGraw-Hill Publishing Co., New York.
 36. Thomas, D., F.E. most. and M, Soil. 2001. Fertilizer. Kit Printed. by Oxford graphic printers.
 37. AOAC. 1990. Official methods of Analysis (15th Ed.) Association of official analytical chemists, Arlington, VA.

การเปลี่ยนแปลงจุลกายวิภาคเหงือกและผิวหนังของลูกปลาไนที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟต

Histological Alterations in Gills and Skin of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fry Exposed to Copper Sulfate

ขวัญประเสริฐ พันธุ์ชัย^{1*}, นฤมล แสงประดับ², ชุตินา หาญจวนิช²

Kwanprasert Panchai^{1*}, Narumon Sangpradub², Chutima Hanjavanit²

Received : 22 June 2018 ; Accepted : 21 August 2018

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อหาความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ทำให้ลูกปลาไนตายร้อยละ 50 ภายใน 96 ชั่วโมง (LC₅₀ - 96 hr) ด้วยวิธีระบบชีววิเคราะห์ในน้ำนิ่ง และประเมินผลความเป็นพิษของคอปเปอร์ซัลเฟตต่อเหงือกและผิวหนังของลูกปลาไน โดยแช่ลูกปลาไนในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0, 6, 12, 18, 24 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าค่า LC₅₀ ของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 6.671 มิลลิกรัมต่อลิตร ลักษณะจุลพยาธิสภาพเหงือกที่พบมากในลูกปลากลุ่มทดลอง คือ เซลล์เนื้อเยื่อบุผิวบางบริเวณเพิ่มจำนวนทำให้ซี่เหงือกเชื่อมติดกัน ชั้นเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวบางบริเวณแยกตัวออกจากกัน และซี่เหงือกบางอันเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ นอกจากนี้ยังพบส่วนปลายของซี่เหงือกบางอันเกิดการม้วนตัว และยังมีพบคอลลอยด์แทรกตัวในซี่เหงือกบางอัน คอปเปอร์ซัลเฟตไม่มีผลต่อลักษณะจุลกายวิภาคของผิวหนัง ไม่ก่อให้เกิดแผลผิวหนังลำตัว และพบว่าความหนาของชั้นหนังกำพร้าของลูกปลากลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับกลุ่มควบคุม (p>0.05) ผลการศึกษาครั้งนี้อาจชี้ให้เห็นถึงความไวของลูกปลาไนที่มีต่อคอปเปอร์ซัลเฟต โดยพิจารณาจากลักษณะจุลพยาธิสภาพของเหงือกปลา ซึ่งอาจใช้เป็นเครื่องมือที่บอกถึงผลความเป็นพิษของคอปเปอร์ซัลเฟตในสภาพแวดล้อมและสัตว์น้ำ

คำสำคัญ: คอปเปอร์ซัลเฟต จุลพยาธิสภาพเหงือก จุลพยาธิสภาพผิวหนัง ปลาไน

Abstract

The objectives of this research were to determine the median lethal concentration at 96 hours (LC₅₀-96 hr) of copper sulfate in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry by static bioassay test, and to evaluate the toxicity of copper sulfate in the gills and skin of Nile tilapia fry. The fish were exposed to 0, 6, 12, 18, 24 and 30 mg/L of copper sulfate, respectively. The 96 hr LC₅₀ value of copper sulfate was 6.671 mg/L. Histopathological changes of gill in the treatment groups were focal hyperplasia in gill lamellae and caused lamellar fusion. Focal epithelial lifting and disarray of some gill lamellae were also observed. Furthermore, curling at the tips of some gill lamellae and colloid droplet deposited in gill lamellae were occasionally found. Copper sulfate had no effect on skin histology of the treatment groups and no external lesions occurred. The epidermal thickness of the skin from the treatment groups showed non-significant difference from the control group (p>0.05). The results of this study may indicate the sensitivity of Nile tilapia fry to copper sulfate and the histopathology of the gills may be a tool to reveal the toxicity effect of copper sulfate in the environment and aquatic biota.

Keywords: copper sulfate, gill histopathology, skin histology, *Oreochromis niloticus*

¹ อาจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา 30000

² อาจารย์ สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 40002

¹ Lecturer, Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

² Lecturer, Division of Biology, Faculty of Science, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand

* Corresponding author: Kwanprasert Panchai, Division of Biology, Faculty of Science and Technology, Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand, e-mail: kwanprasert.p@nrnu.ac.th

บทนำ

คอปเปอร์ (copper) เป็นธาตุที่สำคัญและจำเป็นต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะคนและสัตว์ คอปเปอร์มีบทบาทสำคัญต่อการสร้างฮีโมโกลบิน (haemoglobin) และฮีโมไซยานิน (haemocyanin) ซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบขนส่งออกซิเจนในเลือดของสัตว์มีกระดูกสันหลัง และสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มมีเปลือก (shellfish) เช่น หอย ปู และกุ้ง ฯลฯ อย่างไรก็ตาม การที่สัตว์จะรับคอปเปอร์เข้าสู่ร่างกายต้องได้รับในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากคอปเปอร์เป็นธาตุอาหารเสริม (micronutrient) หากร่างกายได้รับในปริมาณมากจนเกินไปอาจก่อให้เกิดการสะสมและเป็นพิษได้ เช่น ผู้ใหญ่มีความต้องการคอปเปอร์ประมาณ 0.9 มิลลิกรัมต่อวัน ส่วนเด็กต้องการประมาณ 0.3-0.4 มิลลิกรัมต่อวัน² หากได้รับในปริมาณมากจะทำให้เกิดอาการคลื่นไส้อาเจียน มีอาการปวดท้องและกล้ามเนื้อ³ การปนเปื้อนของคอปเปอร์ในสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปมาจากความเจริญก้าวหน้าทางอุตสาหกรรม เนื่องจากคอปเปอร์เป็นกลุ่มโลหะที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การทำลวด เครื่องมือถ่ายเทความร้อน อุปกรณ์ไฟฟ้า และยังนำไปใช้ผสมกับโลหะอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ⁴ นอกจากนี้สารประกอบคอปเปอร์ยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรมและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในรูปของคอปเปอร์ซัลเฟต (copper sulfate) หรือ จุนลีซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเกษตร โดยเป็นส่วนผสมของปุ๋ยเพื่อป้องกันสปอร์ของฟังไจที่เป็นพาหะนำโรคของพืช⁵ และเป็นสารกำจัดวัชพืช (herbicide) สารกำจัดหอย (molluscicide)⁶ นอกจากนี้ยังมีบทบาทในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยใช้เป็นสารกำจัดสาหร่าย (algaecide)⁷ และยังเป็นสารช่วยควบคุมปรสิตภายนอกแก่ปลา โดยเฉพาะโรคจุดขาว (white spot, Ich)⁸ การใช้งานคอปเปอร์ซัลเฟตจะอยู่ในรูปของสารละลาย ดังนั้นหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเฉพาะปลา กุ้ง และปู¹ ทั้งนี้เนื่องจากคอปเปอร์เป็นโลหะหนักที่ย่อยสลายได้ยาก อาจเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อของสัตว์น้ำและจะเพิ่มขึ้นตามลำดับชั้นของห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศ ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์ที่บริโภคสัตว์น้ำที่มีโลหะหนักสะสมในเนื้อเยื่อในปริมาณที่สูงมากอีกด้วย⁹ ดังนั้นการควบคุมปริมาณและความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตก่อนนำไปใช้งานหรือปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญ การศึกษาเพื่อทราบระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อสัตว์น้ำทำได้โดยการทดลองแบบระบบชีววิเคราะห์ในน้ำนิ่ง (static bioassay) เป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว สามารถทดลองในห้องปฏิบัติการ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปลานิล (*Oreochromis niloticus*) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย

เพราะเป็นปลาที่นิยมนำมาบริโภค เนื่องจากราคาไม่แพง เพาะเลี้ยงได้ง่าย ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง¹⁰ สำหรับใช้ในการศึกษาความเป็นพิษเฉียบพลันของคอปเปอร์ซัลเฟตและการเปลี่ยนแปลงลักษณะจุลพยาธิสภาพของเหงือกและผิวหนังของปลานิล

วิธีการศึกษา

การเตรียมสัตว์ทดลอง

ปลานิลจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น ขนาดความยาวลำตัวทั้งหมด (total length) เฉลี่ย 3.74 ± 0.53 เซนติเมตร ($n=200$) นำมาเลี้ยงเพื่อปรับสภาพก่อนการทดลองในบ่อที่บรรจุน้ำประปาปราศจากคลอรีน และให้ออกซิเจนตลอดเวลาเป็นเวลา 7 วัน พร้อมกับให้อาหารลูกปลา 2 ครั้งต่อวัน ต่อมาคัดแยกปลานิลให้มีขนาดใกล้เคียงกันจำนวนประมาณ 200 ตัว และงดให้อาหาร 1 วัน ก่อนการทดลอง

การทดสอบขั้นต้น (preliminary test)

หาความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้ปลานิลตายทั้งหมดและความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่ทำให้ปลานิลตายทั้งหมดที่ระยะเวลา 96 ชั่วโมง โดยหาจากระดับความเข้มข้นช่วงกว้างของคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) ด้วยการเตรียมคอปเปอร์ซัลเฟต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Merck KGaA, Germany) เข้มข้น 0, 10, 30, 50, 70 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จำนวนลูกปลาที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นอย่างละ 10 ตัว ทดลองกลุ่มละ 3 ซ้ำ และให้ออกซิเจนตลอดเวลาของการทดลอง จากนั้นบันทึกจำนวนลูกปลาที่ตายทุก 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมของลูกปลาในระหว่างทดลอง หากพบว่าลูกปลาไม่เคลื่อนที่หรือไม่มีการตอบสนอง ให้นำลูกปลาที่ตายออกจากภาชนะทดลองทันที หลังจากให้นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการทดลองอย่างละเอียดต่อไป

การทดลองอย่างละเอียด (full scale test)

นำผลการทดลองจากการทดลองขั้นต้นมาหา LC_{50} -96 hr ของคอปเปอร์ซัลเฟต โดยกระจายความเข้มข้นออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 6, 12, 18, 24 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร จำนวนลูกปลานิลที่ใช้ในแต่ละความเข้มข้นอย่างละ 10 ตัว ทดลองอย่างละ 3 ซ้ำ และให้ออกซิเจนตลอดเวลา จากนั้นบันทึกจำนวนลูกปลาที่ตายทุก 1, 2, 3, 6, 12, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ พร้อมทั้งสังเกตพฤติกรรมของลูกปลาในระหว่างทดลอง หากพบว่าลูกปลาไม่เคลื่อนที่หรือไม่มีการตอบสนอง ให้นำลูกปลาที่ตายออกจากภาชนะทดลองทันที

การทดสอบ LC₅₀-96 hr ของคอปเปอร์ซัลเฟตต่อ ลักษณะจุลพยาธิสภาพเหงือกและผิวหนังของลูกปลา กลุ่มทดลอง

นำผลการทดลองอย่างละเอียดมาคำนวณหาค่า LC₅₀ โดยใช้วิธี Probit analysis¹¹ จากนั้นนำค่า LC₅₀ ที่คำนวณได้ มาทดสอบกับกลุ่มทดลองที่เวลา 1, 2, 6, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนกลุ่มควบคุมทดสอบในช่วงเวลาเดียวกันกับกลุ่มทดลองและใช้ปลาจำนวน 10 ตัว ทดลองอย่างละ 5 ซ้ำ การทดลองนี้ได้รับการรับรองจริยธรรมในการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์จากคณะกรรมการจริยธรรมและมาตรฐานการเลี้ยงและการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (เอกสารหมายเลข 0514.1.12.2/33)

การเตรียมสไลด์ถาวรตัวอย่างเหงือกและ ผิวหนังด้วยกรรมวิธีพาราฟิน

สุ่มเก็บตัวอย่างลูกปลานิลทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่เวลา 1, 2, 6, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง อย่างละ 10 ตัว นำมารักษาสภาพด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ฟอร์มาลินร้อยละ 10 (10% Phosphate buffered formalin, 10% PBF) จากนั้นเปลี่ยนมาแช่ในสารละลายอีดีทีเอ (Ethylene diamine tetra-acetic acid, EDTA) แล้วนำชิ้นส่วนของเหงือกและลำตัวขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร เข้าสู่กระบวนการพาราฟินโดยใช้เครื่องเตรียมเนื้อเยื่ออัตโนมัติ (Leica รุ่น TP1020) จากนั้นนำชิ้นเนื้อเยื่อมาฝังในบล็อกพาราฟินด้วยเครื่องฝังตัวอย่าง (Leica รุ่น EG1160) และตัดให้เป็นแผ่นบางโดยใช้เครื่องตัดเนื้อเยื่อชนิดล้อหมุน (Shandon รุ่น M1R) หนา 5 ไมโครเมตร นำสไลด์ตัวอย่างเหงือกและลำตัวของลูกปลามาย้อมด้วยสีฮีมาทอกซิลินและอีโอซิน (hematoxylin and eosin, H&E) และผนึกเป็นสไลด์ถาวร

การวิเคราะห์ผลจุลพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ เหงือกและผิวหนัง

นำสไลด์ที่ย้อมสีแล้วไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยสุ่มตรวจความผิดปกติของเนื้อเยื่อเหงือก (n=5) ที่กำลังขยาย 10x เท่า และสุ่มวัดความหนาชั้นหนึ่งกำพวด (epidermis) ของผิวหนังที่บริเวณข้างลำตัว โดยใช้ ocular micrometer ที่กำลังขยาย 40x เท่า (n=5)

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

คำนวณหาค่า LC₅₀ ที่ระยะเวลาทดสอบ 96 ชั่วโมง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้วิธี Probit analysis และความหนาชั้นหนึ่งกำพวดของผิวหนังลูกปลากลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง โดยวิเคราะห์หาความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ Two-way ANOVA ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Statistics 17.0

ผลการศึกษา

การทดลองขั้นต้น

ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต 30, 50, 70 และ 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ มีผลทำให้ลูกปลานิลตายทั้งหมด 30 ตัว (ร้อยละ 100) ส่วนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พบลูกปลานิลตายเพียง 6 ตัว จาก 30 ตัว (ร้อยละ 20) และไม่พบการตายของปลาในกลุ่มควบคุม ดังนั้นจึงนำค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ไม่ทำให้ลูกปลาตายทั้งหมด และความเข้มข้นสูงสุดที่ทำให้ลูกปลาตายทั้งหมด ไปกำหนดช่วงความเข้มข้นที่นำไปใช้การทดลองอย่างละเอียด คือ 0-30 มิลลิกรัมต่อลิตร

การทดลองอย่างละเอียด

นำผลความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ระดับ 0-30 มิลลิกรัมต่อลิตร มากระจายออกเป็น 5 ความเข้มข้นย่อย ได้แก่ 6, 12, 18, 24 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าที่ความเข้มข้น 0, 6, 12, 18 และ 24 มิลลิกรัมต่อลิตร มีลูกปลานิลตาย 3 (ร้อยละ 10), 14 (ร้อยละ 47), 22 (ร้อยละ 73), 29 (ร้อยละ 97) และ 28 (ร้อยละ 93) ตัว จาก 30 ตัว ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้น 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ลูกปลานิลตายทั้งหมด 30 ตัว (ร้อยละ 100)

ค่า LC₅₀-96 hr

นำค่าความเข้มข้นระดับต่างๆ และจำนวนการตายสะสมของลูกปลานิลจากผลการทดลองอย่างละเอียดมาคำนวณหาค่า LC₅₀-96hr โดยใช้วิธี Probit analysis มีค่าเท่ากับ 6.671 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลของคอปเปอร์ซัลเฟตต่อจุลพยาธิสภาพของ เหงือกและผิวหนังลูกปลานิล

ผลของค่าความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ LC₅₀ ต่อเนื้อเยื่อลูกปลานิลที่ 1, 2, 6, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง พบว่ากลุ่มควบคุมเนื้อเยื่อเหงือกมีลักษณะปกติซึ่งประกอบด้วยซี่เหงือก (secondary lamellae) หลายอันเรียงตัวด้านข้างของก้านเหงือก (primary lamellae) ปกคลุมด้วยเนื้อเยื่อบุผิวรูปร่างแบนบางเรียงตัวชั้นเดียว (simple squamous epithelium) ภายในซี่เหงือกประกอบด้วยเซลล์พิลลาร์ (pillar cells) และหลอดเลือด (capillary) (Figure 1A) กลุ่มทดลองมีลักษณะผิดปกติของซี่เหงือก คือเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวเพิ่มจำนวนทำให้ซี่เหงือกเชื่อมติดกัน (fusion) ชั้นเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวบางบริเวณแยกตัวออกจากกัน (lifting) และซี่เหงือกเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ (disarray) นอกจากนี้ยังพบส่วนปลายของซี่เหงือกบางอันเกิดการม้วนตัว (curling) และยังมีพบคอลลอยด์ (colloid droplet) แทรกตัวในซี่เหงือก (Table 1, Figure 1B-F) ส่วนลักษณะจุลกายวิภาคผิวหนังปลากลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

ที่ได้รับ LC_{50} ของคอปเปอร์ซัลเฟตที่ช่วงเวลาต่างๆ มีลักษณะปกติ โดยผิวหนังประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ได้แก่ ผิวหนังชั้นหนังกำพร้า (epidermis) ผิวหนังชั้นหนังแท้ (dermis) และผิวหนังใต้ชั้นหนังแท้ (hypodermis) ซึ่งตั้งอยู่บนชั้นกล้ามเนื้อ

และพบว่าความหนาชั้นหนังกำพร้าลูกปลานิลกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง Table 2

Table 1 Gill histopathology of Nile tilapia fry after treated with $CuSO_4$ at LC_{50} concentration for 1, 2, 6, 24, 48, 72 and 96 hours (n=10).

Histopathology	No. of abnormal fish / No. of fish examined (hour)						
	(n=10)						
	1	2	6	24	48	72	96
1. Fusion of gill lamellae	9/10 (90)	6/10 (60)	6/10 (60)	-	1/10 (10)	2/10 (20)	5/10 (50)
2. Disarray of gill lamellae	1/10 (10)	4/10 (40)	2/10 (20)	6/10 (60)	4/10 (40)	1/10 (10)	3/10 (30)
3. Lifting of gill lamellae	3/10 (30)	2/10 (20)	4/10 (40)	3/10 (30)	-	-	-
4. Colloid in gill lamellae	-	2/10 (20)	-	-	1/10 (10)	3/10 (30)	2/10 (20)
5. Curling in gill lamellae	-	2/10 (20)	-	-	1/10 (10)	-	-

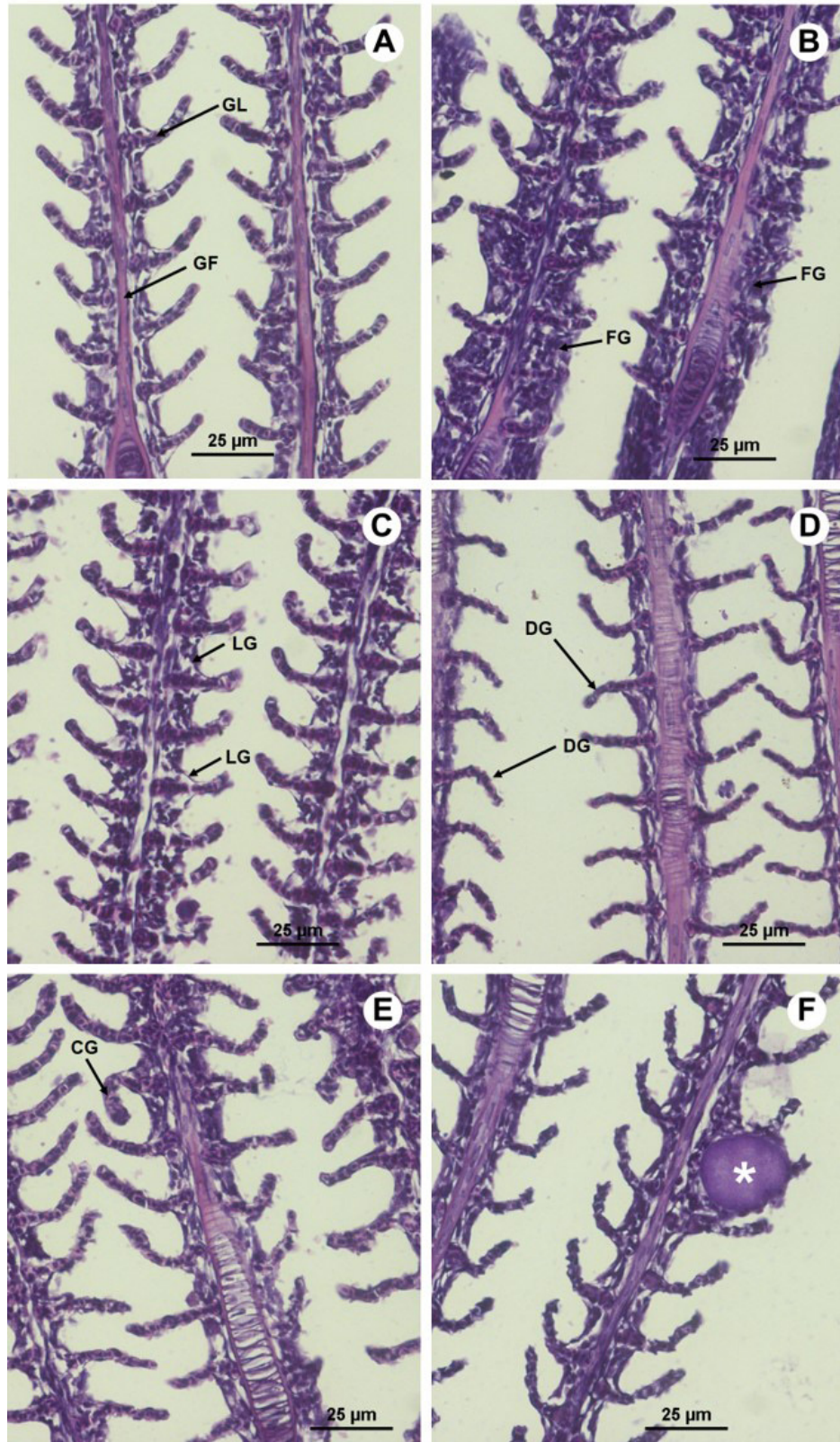


Figure 1 Histopathological changes in gills of Nile Tilapia fry after treated with CuSO_4 (H&E). A. Control group showing normal gill filament (GF) and gill lamellae (GL). B-F. Treatment groups for 1, 2, 24, 48 and 96 hours showing fusion (FG), lifting (LG), disarray (DG), curling (CG) of gill lamellae and colloid (*) in gill lamella.

Table 2 Mean±standard deviation (SD) of epidermal thickness of Nile tilapia fry (n=10) of both control and treatment groups after treatment with LC₅₀ concentration of copper sulfate at 1, 2, 6, 24, 48, 72 and 96 hours. (n=10).

Durations (hour)	Epidermal thickness (Mean±SD) (µm)	
	Control group	Treatment group
1	39.20±5.30	37.20±2.83
2	47.20±6.27	40.40±3.40
6	33.60±10.22	40.00±6.83
24	39.20±4.34	44.40±7.71
48	45.60±10.63	33.60±2.37
72	40.80±8.18	42.80±8.45
96	36.80±7.61	36.40±3.60

พฤติกรรมกรวยน้ำของลูกปลา

ลูกปลากลุ่มทดลองในการทดลองขั้นต้นและขั้นละเอียดที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตทุกระดับความเข้มข้น แสดงพฤติกรรมกรวยน้ำที่ผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยลูกปลานิลว่ายน้ำแบบสะเปะสะปะ บางตัวว่ายน้ำขึ้นมาสูบอากาศที่ผิวน้ำ ปิด-เปิดแผ่นปิดเหงือกถี่ขึ้น เสียการทรงตัว เมื่อเวลาผ่านไปลูกปลาว่ายน้ำช้า และหยุดเคลื่อนไหว มีสีลำตัวและแถบลดตายซีดจาง และตายในที่สุด

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการศึกษานี้พบว่าค่า LC₅₀-96 hr ของ คอปเปอร์ซัลเฟตต่อลูกปลานิลเท่ากับ 6.671 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการศึกษาผลของคอปเปอร์ซัลเฟตต่อปลานิลระยะรุ่น (fingerling) และระยะโตเต็มวัย (adult) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 31.20¹² และ 58.83¹³ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากระยะการเจริญของสัตว์ทดลองที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นระยะลูกปลา จากการทดลองทำให้พบว่าระยะการเจริญของปลาอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ปลาระยะวัยอ่อน (juvenile) มีความไวต่อคอปเปอร์ซัลเฟตได้เร็วกว่าปลาระยะโตเต็มวัย¹ รวมทั้งความเป็นพิษของ คอปเปอร์ซัลเฟตอาจมีความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญระหว่างชนิดของปลาและปัจจัยอื่น เช่น ขนาดของปลา กลไกทางเมแทบอลิซึมของคอปเปอร์ไอออนซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของปลา¹⁴ และสภาพทางสรีระของปลา¹⁵ นอกจากนี้การที่ LC₅₀ ของคอปเปอร์มีค่าแตกต่างกันนั้น อาจเนื่องจากลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำที่ใช้

ทดสอบ ชนิดและอายุของปลาที่ใช้ทดลองและอัตราความไวของปลาต่อคอปเปอร์เป็นผลทำให้ความเป็นพิษมีค่าแตกต่างกัน¹⁶ ปลาแต่ละชนิดจะมีวิถี เมแทบอลิซึม (metabolic pathway) แตกต่างกันอาจเนื่องจากรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ (bio-transformation) มีความแตกต่างกัน ส่งผลให้เกิดเมแทบอลิต์ (metabolite) ที่เป็นพิษมากหรือน้อย ในการศึกษาครั้งนี้ค่า LC₅₀-96 hr ที่ได้มีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่า LC₅₀-96 hr ที่ปลาตุ๊กแอฟริกา (*Clarias gariepinus*) ได้รับ (70.135 มิลลิกรัมต่อลิตร)¹³ ดังนั้นชนิดของปลาที่ใช้ทดลองจะส่งผลต่อการตอบสนองต่อความเป็นพิษของคอปเปอร์ซัลเฟตด้วย¹⁷

ในการศึกษานี้ คอปเปอร์ซัลเฟตมีผลอย่างรุนแรงต่อเหงือกของลูกปลานิลทุกกลุ่มทดลองที่ได้รับสารนาน 1, 2, 6, 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ ลักษณะจุลพยาธิสภาพที่พบมากที่สุด คือเนื้อเยื่อบุผิวของซี่เหงือกเพิ่มจำนวน จึงทำให้ซี่เหงือกเชื่อมติดกัน ชั้นเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวบางบริเวณแยกตัวออกจากกัน บางบริเวณเกิดการบวมหน้าและแยกตัวออก ซึ่งสอดคล้องกับความผิดปกติที่พบในปลานิลระยะโตเต็มวัย (น้ำหนักเฉลี่ย 35.30±5.9 กรัม) ที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร นาน 21 วัน¹⁸ รวมทั้งความผิดปกติของเหงือกปลาไน (*Cyprinus carpio*) ที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.25, 0.50, 1.0, 2.0 และ 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร¹⁹ เช่นเดียวกับการพบลักษณะการเพิ่มจำนวนเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวและการเชื่อมติดกันของซี่เหงือกในปลาลิ้นหมา (*Solea senegalensis*) วัยอ่อนที่ได้รับ LC₅₀-96 hr คอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร²⁰ การเพิ่มจำนวนเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวและการเชื่อมติดกันของซี่เหงือกเป็นกลไกที่ปลาใช้ป้องกันตัวเอง เนื่องจากการแยกตัวของชั้นเซลล์ในซี่เหงือกเป็นการเพิ่มระยะทางของการแพร่ผ่านของมลพิษในน้ำที่จะเข้าถึงกระแสเลือดให้มากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การแลกเปลี่ยนก๊าซของเหงือกเสียไป^{18, 19}

ในลูกปลานิลบางตัวพบการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ การงอ และม้วนตัวของซี่เหงือก ซึ่งได้ผลคล้ายกับลักษณะที่ผิดปกติของซี่เหงือกที่พบในปลาไน¹⁹ ซึ่งอาจเป็นผลโดยตรงจากโลหะหนัก นอกจากนี้ยังพบหยดคอลลอยด์ (colloid) มีลักษณะมันวาวเห็นเป็นเนื้อเดียวกัน (glassy homogeneous material) แทรกตัวในซี่เหงือกบางอันของลูกปลานิลกลุ่มทดลองภายหลังได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตนาน 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ตามลำดับ เหงือกเป็นอวัยวะสำคัญที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนก๊าซ และมีหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับควบคุมไอออน ออสโมซิส และรักษาสมดุลกรด-ด่าง²¹ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงลักษณะจุลพยาธิสภาพของเหงือกส่งผลให้การหายใจของปลาผิดปกติ

และไปขัดขวางสมดุลของอิเล็กโทรไลต์ (electrolytes) เมื่อปลาได้รับคอปเปอร์แล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะจุลกายวิภาคของเหงือกดังกล่าว ซึ่งถือว่าเป็นการป้องกันจากการอักเสบ (inflammatory response) และการชดเชยในร่างกาย (compensatory response) โดยมีการเพิ่มจำนวนเซลล์และมีการหลั่งเมือก^{22, 23} การตอบสนองทั้ง 2 อย่างนี้เป็นการช่วยให้การแพร่ผ่านของสารพิษหรือมลพิษช้าลง ยับยั้งไม่ให้สารพิษหรือมลพิษเข้าไปใกล้กระแสเลือดและช่วยป้องกันการทำลายที่เกิดจากคอปเปอร์โดยตรง เช่น มีการตายและการหลุดลอกของเนื้อเยื่อเหงือก²⁴ และการที่เหงือกปลามีการเปลี่ยนแปลงนั้นสามารถก่อให้เกิดผลเสียอย่างรุนแรงต่อสุขภาพปลา อาจไปเพิ่มความไวต่อการติดเชื้อของปลา ในที่สุดทำให้ปลาตาย²⁵ ในการศึกษาครั้งนี้ พบว่าคอปเปอร์ซัลเฟตไม่มีผลต่อผิวหนังลูกปลานิลทุกกลุ่มทดลอง คือไม่พบความผิดปกติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมเช่นเดียวกับการได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อลิตรของปลา Khazar white (*Rutilus kutum*)²⁶

นอกจากนี้ คอปเปอร์ซัลเฟตยังมีผลต่อพฤติกรรมการว่ายน้ำที่ผิดปกติของลูกปลานิลทุกกลุ่มทดลอง ซึ่งได้ผลคล้ายกับการศึกษาในปลานิลระยะโตเต็มวัยโดยพบว่า 3 วันแรกที่ปลาได้รับคอปเปอร์ ซัลเฟตจะมีการปิด-เปิดแผ่นปิดเหงือกถี่ขึ้น ตามด้วยสีลำตัวเข้มขึ้น สูญเสียสมดุลในการว่ายน้ำและจมอยู่ที่ก้นภาชนะที่ใช้ทดสอบจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง²⁷ รวมทั้งยังพบพฤติกรรมที่ผิดปกติในปลาชนิดอื่น เช่น ปลาหางนกยูง (*Poecilia reticulata*) ที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 1.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ปลาแสดงพฤติกรรมการว่ายน้ำผิดปกติ สูญเสียความสมดุล และมีอัตราการตายสูง¹⁷ เช่นเดียวกับปลาตู้แอฟริกาที่ได้รับคอปเปอร์ซัลเฟตมีแบบแผนการว่ายน้ำไม่คงที่ โดยมีการกระตุกส่วนลำตัว ส่วนหางแข็งตัวและยืดออก ปลาสูญเสียความสมดุลและหมดแรงภายหลังจากที่ปลาพยายามหลีกเลี่ยงจากความเครียด (stress avoidance) ที่เกิดจากคอปเปอร์ซัลเฟต ปลายังคงลอยตัวอยู่ในแนวตั้งโดยมีปากตั้งขึ้นใกล้กับผิวน้ำ และมีส่วนหางชี้ลงด้านล่าง แล้วปลาจะจมอยู่ที่ก้นภาชนะและไม่เคลื่อนไหว¹³

การศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงจุลกายวิภาคของเหงือกเป็นผลมาจากปลาได้รับคอปเปอร์ซัลเฟต แต่ไม่มีผลต่อจุลกายวิภาคของผิวหนัง ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการว่ายน้ำของลูกปลานิลกลุ่มทดลองที่ว่ายน้ำผิดปกติ สูญเสียความสมดุล แผ่นปิดเหงือกปิด-เปิดอย่างรวดเร็ว และสีลำตัวซีด ดังนั้นอาจใช้เหงือกเป็นเครื่องมือที่บอกความไวต่อความเป็นพิษของโลหะหนักและสิ่งก่อมลพิษอื่นที่ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณทัศนพร กาญจนเรखा สำหรับการเตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตในการทดสอบทุกระดับความเข้มข้นตลอดการทดลอง และขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดจังหวัดขอนแก่นที่อนุเคราะห์พันธุ์ปลาที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Okocha RO, Adedeji OB. Overview of copper toxicity to aquatic life, Rep Opinion 2012; 4(8): 57-67.
- Trumbo P, Yates AA, Schlicker S, Poos M. Dietary reference intakes: vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium and zinc, J Am Diet Assoc 2001; 101(3): 294-301.
- CDA. Copper in human health. Copper Development Association 2015. Available from: http://www.copper.org/consumers/health/cu_health_uk.html. Accessed January 29, 2016.
- สุนิสา ชายเกลี้ยง. พิษวิทยาสาธารณสุข. พิมพ์ครั้งที่ 1 ขอนแก่น: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2557.
- CDA. Uses of copper compounds: copper sulphate's role in agriculture. Copper Development Association 2014. Available from: http://www.copper.org/resources/properties/compounds/copper_sulfate02.html. September 15, 2014.
- U.S. EPA. Copper facts. Office of pesticides programs. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 2008.
- Bartley TR. Investigations of copper sulfate for aquatic weed control. Water Resources Technical Publication Environmental Science Section Engineering and Research Center. Colorado: 1976.
- Watson C, Yanong RP. Use of copper in freshwater aquaculture and farm ponds. In Fact Sheet of Food and Agricultural Science FA-13, Department of Fisheries and Aquatic Science, Florida; 2006: 1-2.
- ศิริพร บุญดาว, นิตานาถ ละอองพันธ์, อุไร เฟงพิศ, อัมพร คล้ายแก้ว. การประเมินผลตกค้างของสารควบคุมสาหร่ายชั้นต่ำโดยใช้สัตว์พื้นท้องน้ำในอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี. รายงานผลการวิจัยของสำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์;

- 2552.
10. สันต์ นาทะสุวรรณ. คู่มือปลาหน้าจืด. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์เทพพิทักษ์; 2548.
 11. Finney DJ. Probit Analysis. 3rd Edition Cambridge: Cambridge University Press; 1971.
 12. Alkobaby AI, El-Wahed R KA. The acute toxicity of copper to Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings and its effects on gill and liver histology. J Aquac Res Development 2017; 8: 1(1-6).
 13. Ezeonyejiaku CD, Obiakor MO, Ezenwelu CO. Toxicity of copper sulphate and behavioral locomotor response of tilapia (*Oreochromis niloticus*) and catfish (*Clarias gariepinus*) species. J Anim Feed Res 2011; 1(4): 130-134.
 14. De Boeck G, Meeus W, De Coen W, Blust R. Tissue-specific Cu bioaccumulation patterns and differences in sensitivity to waterborne Cu in three freshwater fish: rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*), common carp (*Cyprinus carpio*). Aquat Toxicol 2004; 70: 179-188.
 15. Tavares-Dias M, Ferreira J, Affonso E, Ono E, Martins M. Toxicity and effects of copper sulphate on parasitic control and haematological response of Tambaqui *Colossoma macropomum*. Boletim do Instituto de Pesca 2011; 37: 355-365.
 16. Johnson CM, Toledo MF. Acute toxicity of endosulfan to the fish *Hyphessobrycon bifasciatus* and *Brachydanio rerio*. Arch Environ Contam 1993; 24: 151-155.
 17. Park K, Heo GJ. Acute and subacute toxicity of copper sulfate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) in the guppy (*Poecilia reticulata*). J Vet Med Sci 2008; 71(3): 333-336.
 18. Figueiredo-Fernandes A, Ferreira-Cardoso JV, Garcia-Santos S, Monteiro SM, Corrola J, Matos P, Fontainhas-Fernandes A. Histopathological changes in liver and gill epithelium of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, exposed to waterborne copper. Pesquisa Veterinaria Brasileira 2007; 27(3): 103-109.
 19. Karan V, Vitorovic S, Tutundzic V, Poleksic V. Functional enzymes activity and gill histology of carp after copper sulfate exposure and recovery, Ecotoxicol Environ Saf 1998; 40: 49-55.
 20. Oliva M, Garrido MC, Sales Márquez D, González de Canales M.L. Sublethal and lethal toxicity in juvenile Senegal sole (*Solea senegalensis*) exposed to copper: a preliminary toxicity range-finding test, Exp Toxicol Pathol 2009; 61(2): 113-21.
 21. Evans DH. The fish gill: site of action and model for toxic effects of environmental pollutants, Environ Health Perspect 1987; 71: 47-58.
 22. Mallatt J. Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review, Can J Fish Aquat Sci 1985; 42: 48-630.
 23. Takashima F, Hibiya T. An atlas of fish histology. 2nd Edition Tokyo: Kodansha. 1995.
 24. Cerqueira C, Fernández M. Gill tissue recovery after copper exposure and blood parameter responses in the tropical fish *Prochilodus scrofa*, Ecotoxicol Environ Saf 2002; 52: 83-91.
 25. Hawkins WE, Overstreet RM, Provancha JM. Effects of space shuttle exhaust plumes on gills of some estuarine fishes: a light and electron microscopic study, Gulf Res Rep 1984; 7: 297-309.
 26. Farokhrooz M, Zamini A, Mozafari E. Effects of formalin and copper sulfate on skin tissues of Khazar white fish (*Rutilus kutum*). Quart J Anim Phys Dev, 2014; 7(24): 49-58.
 27. Nouh WG, Selim AG. Toxopathological studies on the effect of formalin and copper sulphate in tilapia as a commonly used disinfectant in aquaculture, JAEBS 2013; 3(6): 7-20.

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 และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่เรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".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)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรรู้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งที่น่าสนใจ จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษากับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) 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).

ชมพูนุช อ่องจิต. คลื่นไฟฟ้าหัวใจทางคลินิก. พิมพ์ครั้งที่ 5 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2539

2. การอ้างอิงจากวารสาร

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่องหรือชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่พิมพ์ เดือนย่อ 3 ตัวอักษร วันที่;ปีที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

ตัวอย่าง:

ก. วารสารไม่เรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FK, Coppel AL, Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

วิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. Ln vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

วิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical informatics. In: 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 พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะเนงศักดิ์ มณีวรรณ, พongam เดชคาร์ณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูดของพริก. 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).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมั่นใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.
2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.
3. Browallia font type is required with font size as follows:
 - Title the article: 18 pt. Bold
 - Name(s) of the authors: 16 pt.
 - Main Heading: 16 pt. Bold
 - Sub-heading: 14 pt. Bold
 - Body of the text: 14 pt
 - Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.
4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.
5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.
6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters. Name(s) of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. If the information is complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Submission of manuscripts

1. Manuscripts should be submitted through the Thai Jo Manuscripts submission system at www.journal.msu.ac.th.
2. The uncorrected manuscripts will be rejected by the editorial board.

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

ส่งจ่ายผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาทำขออนุญาตมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ science.msu@hotmail.com หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150