



Volume 36 Number 3 May - June 2017
ISSN : 1686-9664

Journal of
SCIENCE and TECHNOLOGY
MAHASARAKHAM UNIVERSITY
www.journal.msu.ac.th

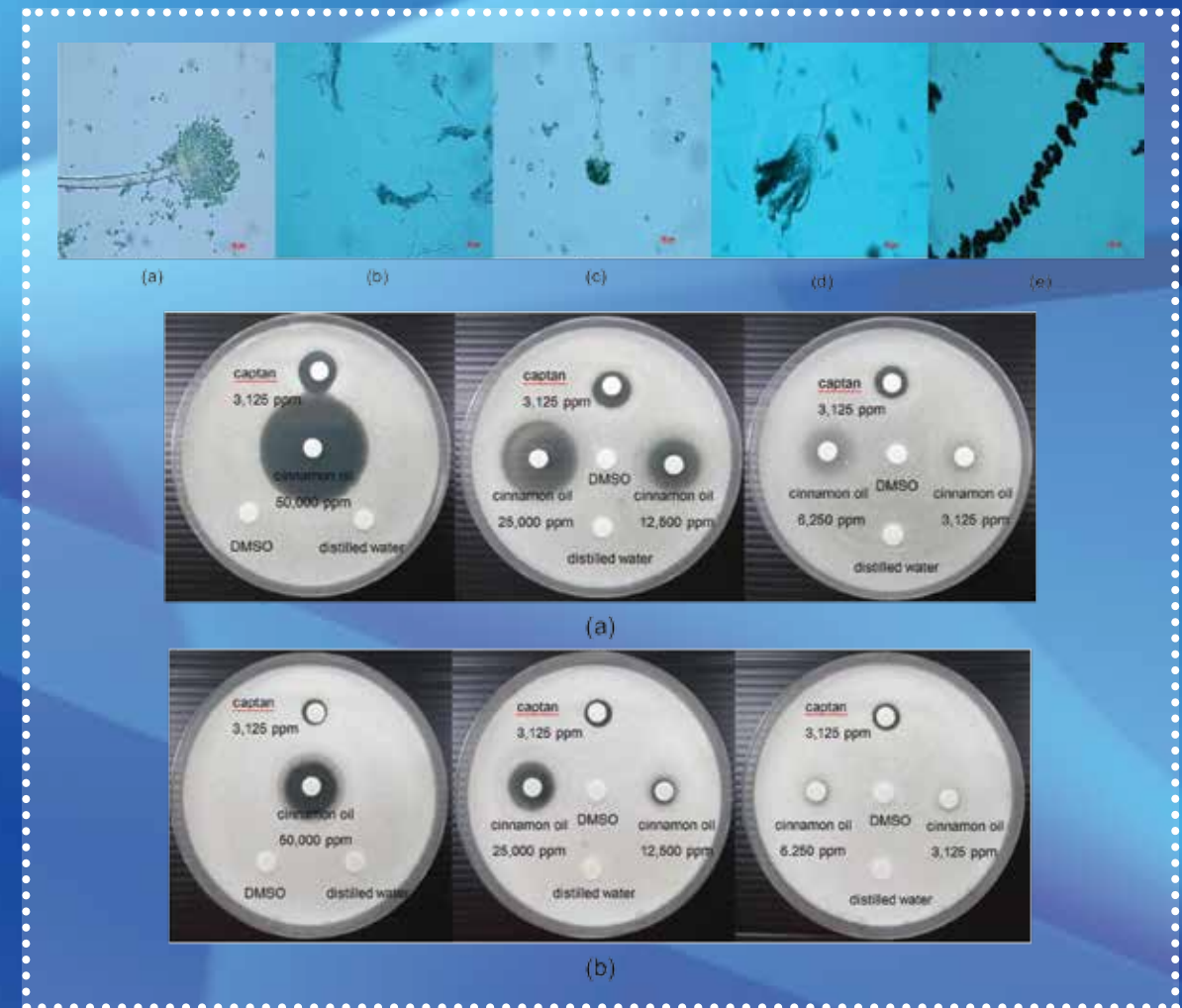


ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2560
ISSN : 1686-9664

วารสาร
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 พฤษภาคม - มิถุนายน 2560

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 36 Number 3 May - June 2017



Journal of Science and Technology Maharakham 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 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ นพ.ดร.เรื่อน สมณะ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ ไบไม่
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมพรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิขำ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

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

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

เลขานุการ

นางพัศตรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

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

Aim and Scope:

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

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

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

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirarat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

การตีพิมพ์ผลงานวิจัยเผยแพร่ในวารสารวิชาการเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับการถ่ายทอดองค์ความรู้จากผู้วิจัยสู่นักวิจัยท่านอื่นๆ องค์ความรู้ที่เผยแพร่ผ่านวารสารวิชาการเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ หรือการวิจัยต่อยอดในอนาคต วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตระหนักถึงความสำคัญดังกล่าว จึงทำหน้าที่เป็นสื่อกลางเผยแพร่ผลงานวิจัยในสาขาวิชาต่างๆ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยผ่านกระบวนการพิจารณาคัดกรอง ตรวจสอบความถูกต้อง จากผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาต่างๆ รวมถึงกองบรรณาธิการ เพื่อให้บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีคุณภาพสูงสุด

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 3 ตีพิมพ์บทความวิจัย 16 เรื่อง กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะได้ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ความรู้ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อแวดวงวิชาการ ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อเชื้อรา *Penicillium citrinum* และ *Aspergillus flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่นในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี

ภาพปก : รัญญ์วาริน ชูวัฒน์วรกุล และคณะ. 2560, 392-398.

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

- การขยายและกรองสัญญาณทางแสงหลายย่านความยาวคลื่นด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่เจือด้วยเออร์เบียม
โดยการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ให้กับเลเซอร์ปั๊ม 265
**Multi-wavelength Tunable Optical Amplifier and Filter by Electrical Pulse Signal
Modulation into Laser Pumping of EDFA**
ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง, เสกสรร สุขะเสนา
Poramate Chunpang, Secksons Sukhasena
- การตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีคงสภาพแบนด์วิดท์ 270
DDoS Attack Response using Bandwidth Reservation
ประดิษฐ์ พิทักษ์เสถียรกุล, ศิรปรัชญ์ บุญครอง
Pradit Pitaksathienkul, Sirapat Boonkrong
- ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย 277
Real-Time Home Monitoring System using Wireless Sensor Network
ภาคย์ สธนเสาวภาคย์
Pak Satanasawapak
- การจัดการสื่อดิจิทัลสร้างสรรค์เพื่อการอนุรักษ์ผ้าไหมมรดกมรดกสกลนคร 285
Creative Digital Media Management for Conserving the Indigo Fabric in SakonNakhon Province, Thailand
ฐิติพร การสูงเนิน, ฐาปนี เฮงสนันกุล, สาวินี แสงสุริยนต์, วไลลักษณ์ วงษ์รัตน์
Thitiporn Kansungnern, Thapani Hengsanankun, Sawinee Sangsuriyun, Walailuck Wongruen
- การพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา 291
Commercial Electronic Website Development Ranking using Search Engine Marketing Techniques
อัชฌาพร กวางสวัสดิ์, วีระชัย คอนจจอหอ, รัชฎานันท์ นิลสุข, ปานจิตต์ หลงประดิษฐ์
Achaporn Kwangsawad, Veerachai Konjoho, Prachyanun Nilsook, Panchit Longpradit
- การพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล 302
**Development of the Average of Water Stream Flow Prediction Models
for Nakhonratsima Province using Data mining Techniques**
มังกร เจนชัย, จารี ทองคำ
Mungkorn Janechai, JareeThongkam
- การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง 313
The assessment of climate change impacts on runoff in Huai Luang watershed
กรรณิการ์ บุตรคำ, รัตนา หอมวิเชียร
Kannika Buthkham, Rattana Hormwichian

สารบัญ

- ผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย
ของหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร 324
**Influence of High Organic Substance Concentrations in Fermented Rice Noodle (Khanomjeen)
Factory Wastewater on Efficiency Wastewater Treatment of *Vetiveria Zizanioides* Nash.
and *Cyperus Corymbosus* Rottb**
ชัชณพวงศ์ ประทุม
Chitsanuphong Pratum
- คุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรและลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร 333
Quality of Groundwater Used in Swine Farm and Swine Wastewater Characteristics
พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก
Pantip Klomjek
- ผลของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิ 341
Effects of Calcium Carbonate on the Browning Appearance of Jasmine Flower
ธัญญภัทร์ ศรีวิจารย์, เบญจวรรณ ชุติชูเดช, ประสิทธิ์ ชุติชูเดช
Thanyaphat Sriwichan, Benjawan Chutichudet, Prasit Chutichudet
- การดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยใช้ขี้เลื่อยและขี้เลื่อยปรับสภาพ 348
Adsorption of Lead (Pb^{2+}) Using Saw Dust and Modified Saw Dust
พลวัฒน์ พาพรหมพีก, ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, ธาตุกร พระบำรุง
Polawat Phaphromphuek, Panjai Sueprasearsit, Thayukorn Prabamroong
- การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรใช้แทนกัน
ระหว่างโสมจีนและไพล ตามทฤษฎีการแพทย์แผนไทย 360
**Comparison of chemical composition of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels.
and *Zingiber cassumunar* Roxb., a substitute herb according to Thai Traditional Medicine**
จิตรลดา คงคำ, อติสรณ์ คงคำ
Chitrada Kongkum, Adisorn Kongkum
- การเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้ไผ่รวกเพื่อนำไปสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง 368
Strength improvement for Ruak bamboo to build pre-stress reinforced concrete slab
ไตร คระนันท์, สมชาย แยมใส
Tri Kharanan, Somchai Yamsai

สารบัญ

- พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น 377
Self-care Behavior Patients with Upper Gastrointestinal Hemorrhage
ขนิษฐา รักษาเคน, สุพัตรา บัวที
Khanittha Raksaken, Supatra Buatee
- ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกายกับมะเร็งเต้านมในสตรีไทยอายุน้อยกว่า 45 ปี 383
Association between physical activities and breast cancer among Thai women under 45 years old
วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์, รังษิณพดล โถทอง, ปรรารถนา สติติวิภาวี, ศุภชัย ปิติกุลตั้ง
Wisit Chaveepojnkamjorn, Natchaporn Pichainarong, Rungsinoppadol Thotong,
Pratana Satitvipawee, Supachai Pitikultang
- ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อเชื้อรา *Penicillium citrinum* และ *Aspergillus flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่นในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี 392
Antifungal Activity of Cinnamon Essential Oils on *Penicillium citrinum* and *Aspergillus flavus* Isolated from Rubber Sheets in Ubon Ratchathani
ธัญญ์วาริน ชูวัฒน์วรกุล, พิชญาการณ์ สุวรรณกัญญา, สมจินตนา ทวีพานิชย์, สายสมร ลำลอง
Thanwarin Chuwatworakoon, Pitchayaporn Suwanakood, Somjintana Taveepanich, Saisamorn Lumlong

การขยายและกรองสัญญาณทางแสงหลายย่านความยาวคลื่นด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่เจือด้วยเออร์เบียม โดยการมอดูเลตสัญญาณพัลส์ให้กับเลเซอร์บีเอ็ม

Multi-wavelength Tunable Optical Amplifier and Filter by Electrical Pulse Signal Modulation into Laser Pumping of EDFA

ปรเมษฐ์ จันทร์เพ็ง¹, เสกสรร สุขะเสนา²

Poramate Chunpang¹, Seckson Sukhasena²

Received: 28 September 2016; Accepted: 1 February 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาการขยายและกรองความยาวคลื่นแสงแบบหลายย่านความยาวคลื่นด้วยเส้นใยแก้วนำแสงที่เจือด้วยเออร์เบียม โดยการศึกษาใช้อุปกรณ์เพียงน้อยชิ้นเพื่อทำการสืบสาวถึงผลกระทบของการนำสัญญาณพัลส์มาทำการมอดูเลตให้กับเลเซอร์ที่ใช้บีเอ็มให้กับเส้นใยแก้วนำแสงที่เจือด้วยเออร์เบียม จากการทดลองพบว่าสัญญาณแสงที่ผ่านเข้ามาในเส้นใยแก้วนำแสงนี้สามารถจะเลือกให้มีการส่งผ่านสัญญาณหรือลดทอนช่วงสัญญาณทางแสงได้ด้วยการควบคุมความถี่ที่มอดูเลตให้กับเลเซอร์บีเอ็ม ผลที่ได้จากการศึกษานี้จะมีค่าที่สามารถปรับจูนได้อยู่ในช่วง 1-5 นาโนเมตร โดยการมอดูเลตความถี่ในช่วง 0-100 เฮิรตซ์ มีค่ากำลังขยายสัญญาณทางแสงสูงสุดที่ 0.63 มิลลิวัตต์ ที่กำลังเลเซอร์ที่ใช้บีเอ็ม 50 มิลลิวัตต์ และสามารถลดกำลังแสงลงได้ถึง -43 เดซิเบล

คำสำคัญ: เส้นใยที่เจือด้วยเออร์เบียม การแบ่งคลื่นเป็นช่วง ๆ เลเซอร์หลายความยาวคลื่น

Abstract

We set up an experiment by using minimal equipment to investigate the properties of optical amplifier and filter by using an Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) to modulate a pulse signal into laser pumping. The channels of light can be chosen to transmit or distort the optical signal by using a frequency modulated light source to pump the EDF. The wavelength spacing could be tuned to achieve about 1-5 nm by adjusting the range of frequencies between 0-100 Hz. The maximum optical output power including amplifier is 0.63 mW at the pumping power of 50 mW while the distortion of light after passing through the EDF is -43 dB.

Keywords: Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA), WDM, Multi Wavelength Laser.

Introduction

The Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) has been actively used in a variety of applications including communications, optical fiber lasers and components in the measurement systems¹⁻⁵. Its advantages are because of its low noise, high gain bandwidth and, many amplification

of multi-channels at different wavelengths⁶. EDFA wavelengths have the ranged in the C-Band and L-Band. Some research projects require the amplification of specific wavelengths, so when creating a tunable fiber laser source, the wavelength can be adjusted accordingly⁷⁻⁸. This is a crucial part of the present experiment.

¹ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน "สถาบันสำนักเรียนท่าโพธิ์ชัย" มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Department of Physics, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand

Author for correspondence: secksons@nu.ac.th Poramate_c@hotmail.com

² The Institute for Fundamental Study "The Tah Poe Academia Institute" Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

In this paper, the requirement is to filter and amplify a wavelength signal. As such, it become necessary to select a filter such as the Mach-Zehnder Interferometer (MZI) optical grating filter or a fiber optic ring resonator⁹⁻¹⁰. We designated the EDFA as an important component to be used in the design of the optical signal amplifier and filter. The function of selecting a wavelength for the desired

amplifier or filter, by means of a modulation pulse signal is applied to the laser pumping source which provide the signal for the EDFA. This approach is to show that by using a few optical devices can produce the results shown in [Figure 4 and 5], making a lighting system cheaper and easier to prepare and manipulate [Figure 1].

Experimental setup and Results

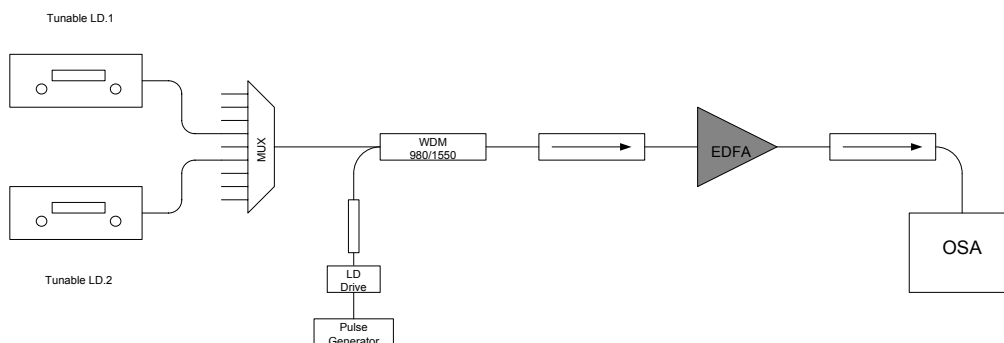


Figure 1 The Experimental setup of tunable amplifier and filter by modulation pulse signal into the laser pumping.

The experimental setup of the multi-wavelength tunable optical amplifier is illustrated in Figure 1. The output of tunable laser diodes1 and 2 (Tunable LD.1, LD.2) are launched into the wavelength division multiplexer (MUX) using a Fiber-optic connector (FC). The output power is 0.16 mW and the wavelengths are 1,546 and 1,547.6 nm respectively. The output of the MUX is fusion spliced to an end arm of 1,550 nm at WDM 980/1550. The 980 input port of WDM 980/1550 is spliced to a fiber pigtailed 980 nm laser diode to serve as a pumping source for the EDFA. The output port of this WDM is spliced to an optical isolator to improve the noise

figure return to the laser diode (LD.1, LD.2 and LD. pump). The output port of the optical isolator is also spliced to the EDFA. The other end of the EDFA is spliced to the optical isolator, again for protection against noise returning to the EDFA. The output port of the second optical isolator is connected to the Optical Spectrum Analyzer (OSA.) with a FC connector to allow analysis of the optical output. The pumping laser (LD.pump) is controlled by the laser diode drive and modulation circuit (LD. Drive). In the modulation circuit, we use an electrical pulse generator to generate the modulation pulse signal into the laser pump.

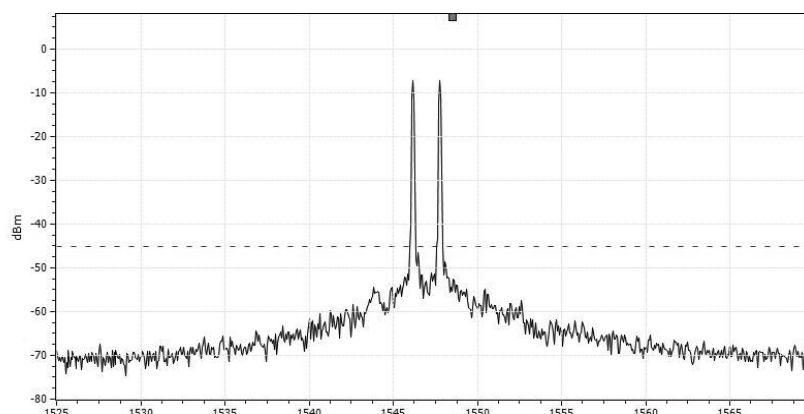


Figure 2 Spectrum of tunable laser (LD1 and LD2) with multiplexing by MUX

The modulator (Mod.) is used to modulate the pulse signal by using a pulse generator to control the

current in the laser diode with a frequency pulse varying from 10 Hz to 100 Hz in steps of 5 Hz.

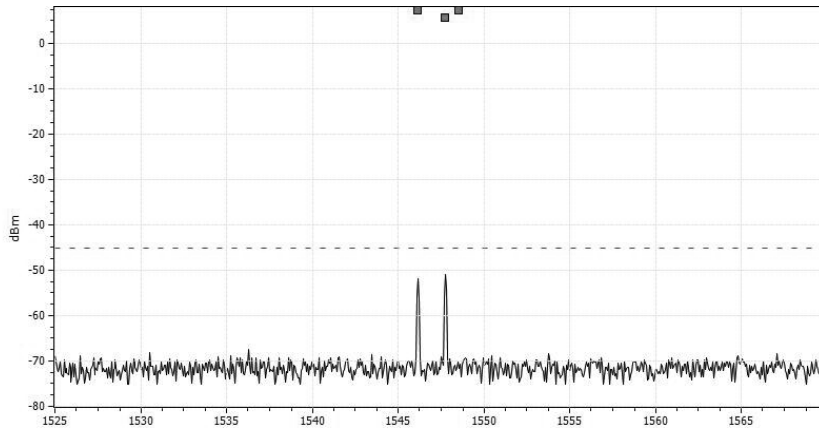


Figure 3 Spectrum after passing EDF without laser pumping.

The operational principle of the tunable optical amplifier and filter by EDFA relies on the result of applying a low frequency modulation pulse signal into laser pumping at 0 to 100 Hz. We measured the spectrum after LD.1 and LD.2 multiplexing by the MUX and then measured at the output port of the MUX by using the OSA. The result of multiplexing is illustrated in Figure 2. The wavelength spacing of our experiment is 1.6 nm, and the maximum output power is -7 dBm. After measuring the optical multiplexing, we splice the output port of MUX into the EDFA system and then measured the output spectrum and its power at the output port of the optical isolator. The result is shown in Figure 3. The results show that an optical fiber can filter with attenuation of the optical signal at -43 dB.

For the next experiment, we modulate an electrical pulse signal into the laser pumping from 0 to 100 Hz by increasing the frequency in steps of 5 Hz. The

laser output power is set at 50 mW. Figure 4 shows the output spectrum of the unmodulated signal (0 Hz), the output power from LD.1 and LD.2 is about -5 dBm.

The results of applying a modulated signal into the laser pumping are shown in Figure 5. Figure 5 (a) illustrates the spectrum of the light source with a modulation pulse signal at 30 Hz, from LD.1. The light source is distorted -33 dB and LD.2 is amplified to 5.98 dB. The optical power with modulation at 45 Hz., with the amplifier at channel 1 (LD.1) and filter at channel 2 (LD.2) is shown in Figure5 (b) where the amplifier is 6.90 dB and loss is -26 dB. Figure 5(c) shows the spectrum with the frequency set at 80 Hz. At this frequency, the EDFA is filtering the wavelength from LD.1 and LD.2 with distortion at -19.00 dB and -13.00 dB respectively. The modulation pulse signal at 95 Hz gives an output power of 4.98 dB as shown in Figure 5 (d).

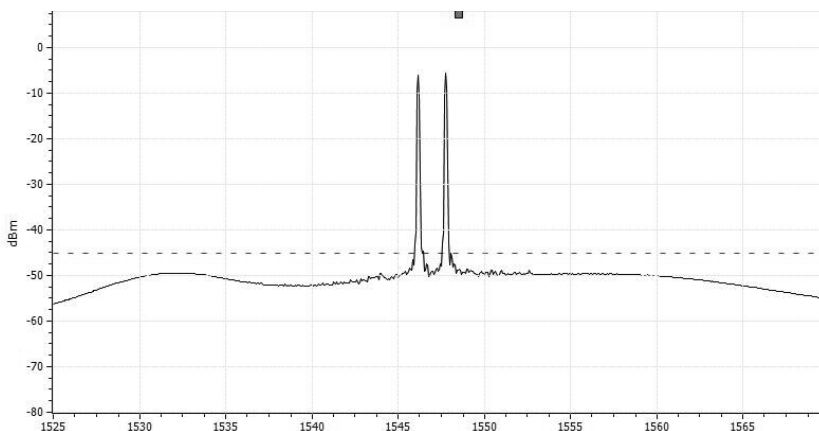


Figure 4 Spectrum of light signal with laser pumping at 50 mW with non-modulation pulse signal (0 Hz)

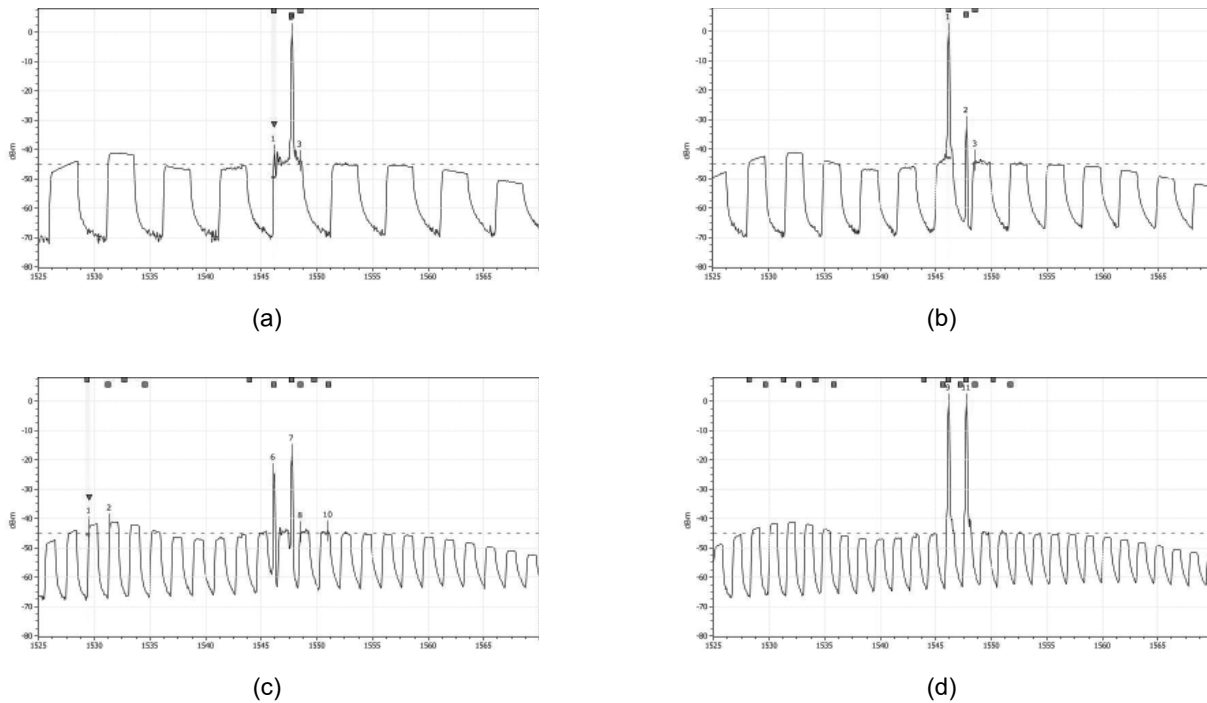


Figure 5 Spectral response of EDF with modulation pulse signal at frequencies (a) 30 Hz,(b) 45 Hz,(c) 80 Hz and (d) 95 Hz respectively.

The wavelength spacing of the EDFA with modulation pulse signal is shown in Figure 6. This result shows the frequencies which are modulated and

compared to the spectral range for being choices for the selective range of the amplifier and filter.

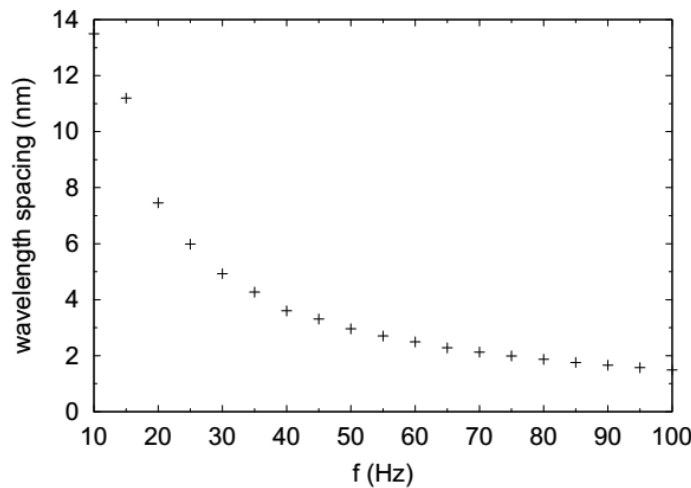


Figure 6 The wavelength spacing versus pulse signal with modulation in the laser pumping

Discussion and Conclusion

Devising a multi-wavelength tunable optical amplifier and filter by modulating a pulse signal into laser pumping is reported. The spectrum for the amplifier and filter is tuned by adjusting the frequency modulation. The tuning range of 1 nm is obtained in this experiment. In the future investigations, improvement in the tuning range may be

obtained by using a high frequency laser diode driving and modulation circuits. The demonstration devices used in this research are selected for their simplicity, moreover, they made it easy to select from the entire Erbium window (C-band), the group of wavelengths for filtering and amplifying.

Acknowledgements

The authors would like to thank their colleagues at the department of Physics, Mahasarakham University and the Institute for Fundamental Study "The Tah Poe Academia Institute" Naresuan University, for their interest. S.Sukhasena have been supported by DRA, Naresuan University.

References

1. Quan, M., Li, Y., Tiann, J., Yao, Y. 2015. Multifunctional tunable multiwavelength erbium-doped fiber laser based on tunable combfilter and intensity-dependent loss modulation. *Optics Communications* 340, 63–68.
2. Choia, H.B., Oh, J.M., Lee, D., Ahn, S.J., Park, B.S., Lee, S.B. 2002. Simple and efficient L-band erbium-doped fiber amplifiers for WDM networks. *Optics Communications* 213, 63–66.
3. Mahdi, M.A., MahamdAdikan, F.R., Poopalan, P., Selvakennedy, S., Ahmad, H. 2001. A novel design of bi-directional silica-based erbium-doped fiber amplifier for broadband WDM transmissions. *Optics Communications* 187, 389-394.
4. Marques, C. A.F., Oliveira, R. A., Pohl, A.A.P., Nogueira, R. N. 2012. Adjustable EDFA gain equalization filter for DWDM channels based on a single LPG excited by flexural acoustic waves. *Optics Communications* 285, 3770–3774.
5. Chen, H., Leblanc, M., Schinn, G.W. 2003. Gain enhanced L-band optical fiber amplifiers and tunable fiber lasers with erbium-doped fibers. *Optics Communications* 216, 119–125.
6. Singh, S., Singh, A., Kaler, R.S. 2013. Performance evaluation of EDFA, RAMAN and SOA optical amplifier for WDM systems. *Optik* 124, 95–101.
7. Choi, B.-H., Kwon, Il-B. 2013. A wide tunable fiber laser for two independent C-band and L-band wavelengths. *Optics Communications* 286, 156–160.
8. Qian, L., Fen, D., Xie, H., Sun, J. 2015. A novel tunable multi-wavelength Brillouin fiber laser with switchable frequency spacing. *Optics Communications* 340, 74–79.
9. Mo, B., Zhong, R., Wan, Z. 2014. Line width analysis of a tunable optical filter based on free-space optics. *Optik* 125, 6488–6490.
10. Razak, N.F., Ahmad, H., Zulkifli, M.Z., Muhammad, F.D., Munajata, Y., Harun, S.W. 2015. Single mode EDF fiber laser using an ultra-narrow bandwidth tunable optical filter. *Optik* 126, 179–183.

การตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีคงสภาพแบนด์วิดท์

DDoS Attack Response using Bandwidth Reservation

ประดิษฐ์ พิทักษ์เสถียรกุล¹, ศิรปรัชญ์ บุญครอง²

Pradit Pitaksathienkul¹, Sirapat Boonkrong²

Received: 13 May 2016 ; Accepted: 23 September 2016

บทคัดย่อ

การโจมตีแบบกระจายเพื่อหยุดให้บริการ (DDoS) เป็นสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งผลของการโจมตีเพื่อหยุดให้บริการนี้ ได้ก่อให้เกิดความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และต่อผู้ใช้งาน โดยที่เครื่องที่ถูกโจมตีจะไม่สามารถให้บริการหรือประมวลผลใด ๆ ได้ งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางในการตอบสนองการโจมตี เพื่อที่จะสามารถเป็นก้าวหนึ่งในการแก้ไขปัญหาจากการโจมตีนี้ ซึ่งจะใช้วิธีการอาศัยความร่วมมือของอุปกรณ์ในเครือข่าย โดยให้อุปกรณ์ในเครือข่ายจำกัดอัตราการส่งข้อมูลการโจมตีมายังเครื่องเป้าหมาย เพื่อให้เครื่องเป้าหมายสามารถรับส่งข้อมูลปกติต่อไปได้ จากผลการวิจัยนั้นปรากฏว่า แนวทางนี้สามารถคงสภาพการรับส่งข้อมูลปกติในเครื่องเป้าหมายจากการโจมตีประเภทนี้ได้

คำสำคัญ: การตอบสนองการโจมตี การคงสภาพแบนด์วิดท์

Abstract

Distributed Denial of Service (DDoS) is one of many threats that cause abnormality on the Internet. The attack can result in a lot of damage to the economy, society as well as to users in that the victim will not be able to provide services of process anything. This research, therefore, provides an approach to respond to this type of attack, which will be a step towards a solution to the DDoS problem. The research proposes a method by using a cooperative between network devices that can be used in response to a DDoS attack. This response can maintain normal operation between legitimate devices. The result appears that this method can maintain bandwidth in trade for responding this type of attack.

Keywords: Attack Response, Bandwidth Reservation

บทนำ

การโจมตีแบบกระจายเพื่อหยุดให้บริการ (DDoS) เป็นการโจมตีที่สร้างปัญหาต่อประสิทธิภาพการใช้งานในระบบเครือข่าย ทำให้ผู้ใช้ไม่สามารถใช้งานระบบเครือข่ายได้ตามปกติ การโจมตี DDoS โดยอาศัยความจำกัดของทรัพยากร อย่างเช่น แบนด์วิดท์ (Bandwidth) หรือ หน่วยความจำ และ โดยอาศัยความเป็นระบบเปิดของระบบเครือข่าย จากการสำรวจข้อมูล พบว่าการโจมตีด้วยวิธีการส่งข้อมูลจำนวนมากมายังเครื่องเป้าหมาย

อย่างต่อเนื่อง ทำให้เครื่องเป้าหมายได้รับข้อมูลจำนวนมากอย่างรวดเร็วในระยะเวลาอันสั้น เป็นสาเหตุให้แบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายหมดไป เกิดปัญหาคอขวด และ เครื่องเป้าหมายไม่สามารถส่งข้อมูลปกติได้ต่อไป เครื่องโจมตีสามารถส่งข้อมูลจำนวนมาก ด้วยโปรโตคอล ICMP UDP หรือ TCP ก็ได้ ซึ่งเป็นการโจมตีที่สามารถกระทำได้ง่าย แต่ป้องกันได้ยาก¹

จากปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ จึงนำเสนอวิธีคงสภาพแบนด์วิดท์ สำหรับตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS คือ

¹ นักศึกษาระดับปริญญาเอก, ²รองศาสตราจารย์, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 10800

¹ Doctoral student, ²Associate Professor, Department Of Information Technology, King Mongkut's University Of Technology North Bangkok 10800

^{*} Corresponding author, Pradit Pitaksathienkul, Department Of Information Technology, King Mongkut's University Of Technology North Bangkok 10800, Thailand

เมื่อเครื่องเป้าหมายตรวจพบการโจมตีเกิดขึ้น จะทำการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เครือข่ายที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อจำกัดการส่งข้อมูลโจมตี ก่อนที่เครื่องเป้าหมายจะไม่สามารถส่งข้อมูลปกติออกไปได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่ Ioannidis และ Bellovin¹² ได้นำเสนอ วิธีการนี้ ไม่ได้หยุดการโจมตี แต่ทำให้เครื่องเป้าหมายยังสามารถใช้งานเครือข่ายได้ตามปกติ เนื่องจากการหยุดการโจมตีที่เครื่องต้นทาง เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การโจมตีด้วยการส่งข้อมูลจำนวนมาก

การโจมตีด้วยวิธีการนี้ อาจใช้วิธีการหลอกให้คอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่าย (ที่อยู่ในลำดับเหนือเครื่องเป้าหมาย) ซึ่งมีอยู่จำนวนมาก ถูกติดตั้งโปรแกรมควบคุมด้วยวิธีการบางอย่างโดยผู้ใช้ไม่ทราบ เช่น โปรแกรมสคริปต์ บนเว็บเพจ เพื่อควบคุมให้คอมพิวเตอร์เหล่านั้น ให้ส่งข้อมูลแพ็กเก็ตโจมตีเมื่อถึงกำหนดเวลาที่ต้องการ คอมพิวเตอร์ที่ถูกควบคุมเหล่านี้ ก็ทำการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตโจมตีพร้อมๆกัน ไปยังเครื่องเป้าหมาย เพื่อให้แบนด์วิดท์ของระบบเครือข่ายหมดไป โดยทั่วไปการโจมตีด้วยวิธีการส่งข้อมูลจำนวนมาก จึงเป็นการโจมตีแบบ DDoS ดัง Figure 1

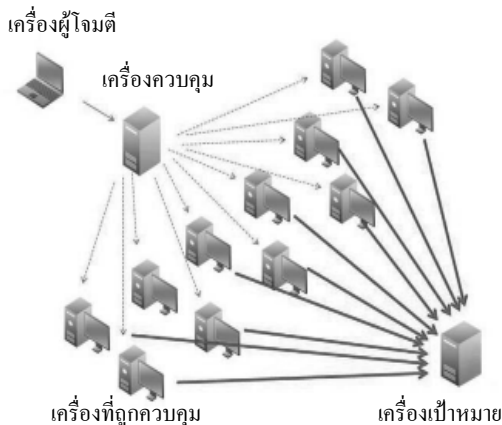


Figure 1 The DDoS attack by sending a large amount of data

2. การตอบสนองการโจมตี

การตอบสนองการโจมตี เป็นวิธีการที่เครื่องเป้าหมายกระทำการโจมตีนั้น เพื่อรักษาสภาพการใช้งานให้คงอยู่ต่อไปได้ ซึ่งมีด้วยกัน 3 วิธี คือ

2.1 การตอบสนองการโจมตี โดยดำเนินการบนอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เครื่องโจมตี (Source based)

Mirkovic และคณะ³ ทำการวิจัยโดยกำหนดการตอบสนองบนอุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกับเครื่องโจมตี

พบว่า การตอบสนองโดยใช้อุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เครื่องโจมตีมากที่สุด จะช่วยลดปริมาณข้อมูลโจมตีที่ถูกส่งมายังเครื่องเป้าหมายได้ เพราะยังไม่ถูกส่งมายังเครื่องเป้าหมาย ช่วยลดความเสี่ยงที่เครื่องเป้าหมายจะหยุดทำงาน แต่ปัญหาหลักคือ ในการโจมตีแบบกระจายนั้น ผู้โจมตีอาศัยเครื่องโจมตีจำนวนมาก การตอบสนองบนอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เครื่องโจมตี ไม่สามารถดำเนินการให้ครอบคลุมได้ และ ด้วยปริมาณข้อมูลที่อยู่ใกล้เครื่องโจมตีมีไม่มากพอ ทำให้ไม่สามารถแยกได้ว่า เป็นข้อมูลการโจมตีหรือ ข้อมูลปกติ

2.2 การตอบสนองการโจมตี โดยดำเนินการบนอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เครื่องที่ถูกโจมตี (Victim based) เช่น การตั้งข้อกำหนดบนอุปกรณ์ป้องกันการโจมตี เช่น Firewall โดยทำการจำกัดการเข้าถึงจากเครื่องโจมตี (Access List Control)¹³ โดยการตรวจสอบว่า การโจมตีนั้น เกิดจากเครื่องโจมตีใดในเครือข่าย แล้วนำที่อยู่ของเครื่องโจมตี มาทำการกำหนดในรายการจำกัดการเข้าถึง เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและตอบสนองการโจมตีได้แม่นยำ เพราะดำเนินการใกล้กับเครื่องที่ถูกโจมตี แต่มีข้อจำกัดคือ อุปกรณ์ Firewall จะต้องมีขนาดใหญ่ เพื่อประมวลผลข้อมูลจราจรที่ไหลผ่านจำนวนมาก

จากวิธีการตอบสนองการโจมตีทั้ง 2 วิธีดังกล่าวที่เป็นอุปกรณ์ระบบเดียวกัน มีข้อจำกัดคือ การตอบสนองที่ไม่ครอบคลุม และ ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง จึงมีวิธีการตอบสนอง โดยใช้ความร่วมมือกันของอุปกรณ์ในเครือข่าย เพื่อให้ได้การตอบสนองการโจมตีที่มีประสิทธิภาพ¹⁴ ซึ่งทำการตรวจจับการโจมตีบนเครื่องเป้าหมาย เมื่อมีการโจมตีเกิดขึ้น

2.3 การตอบสนองการโจมตี แบบคงสภาพแบนด์วิดท์ Ioannidis และ Bellovin¹² ทำการวิจัยโดยใช้วิธี Pushback เมื่อตรวจพบการโจมตีเกิดขึ้น เครื่องเป้าหมายจะส่งข้อมูลสื่อสารไปยังอุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกัน เพื่อให้ทำการลดอัตราการส่งผ่านข้อมูล โดยปรับอัตราการเข้าออกของข้อมูลใน Queue ของอุปกรณ์ Router และทำเช่นนี้ย้อนกลับไปจนถึงเครื่องโจมตี วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือ เป็นการเพิ่มภาระให้กับอุปกรณ์ Router ในการจัดการข้อมูลแพ็กเก็ตใน Queue

จากการศึกษาการตอบสนองการโจมตีที่กล่าวมาทั้ง 3 ประเภท พบว่า สิ่งที่ต้องการในการตอบสนองการโจมตีคือ การที่เครื่องเป้าหมายยังคงสามารถรับส่งข้อมูลปกติต่อไปได้ ขณะที่มีการโจมตีเกิดขึ้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการตรวจจับการโจมตีบนเครื่องเป้าหมาย ตามงานวิจัยของ ประดิษฐ์ และ ศิริปัฐ⁷ ซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็ว โดยพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของการส่งข้อมูลแพ็กเก็ต

ปกติของเครื่องเป้าหมาย และ ใช้วิธีการตอบสนองการโจมตี โดยใช้ความร่วมมือกันของอุปกรณ์ในเครือข่าย เพื่อให้เครื่องเป้าหมายสามารถรับส่งข้อมูลปกติต่อไปได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีการอาศัยความร่วมมือของอุปกรณ์ในเครือข่าย จะกระทำภายหลังจากมีการตรวจจับการโจมตีเกิดขึ้น โดยจะทำการทดลองดังต่อไปนี้

การทดลองในงานวิจัยนี้ จะเป็นสร้างแบบจำลองเครือข่าย ด้วยโปรแกรม NS2 version 2.35 สร้างการโจมตีจากโหนดในระบบเครือข่าย จำนวน 100 โหนด ใช้เวลาในการทดลอง 80 วินาที เครื่องเป้าหมายทำการส่งข้อมูลปกติตั้งแต่วินาทีที่ 10 และ การโจมตีเกิดขึ้นตั้งแต่วินาทีที่ 30 ทำการวัดค่าทรูพุท ที่เครื่องเป้าหมาย เพื่อคำนวณค่าเฉลี่ยของการส่งข้อมูลปกติ ก่อนเกิดการโจมตี และ คำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การทดลองนี้ใช้วิธีจำลองเครือข่ายแบบ transit-stub¹⁰ ด้วย Waxman algorithm¹¹ เชื่อมต่อแต่ละโหนดเข้าด้วยกัน

เป็นการจำลองเครือข่ายที่ใกล้เคียงระบบเครือข่ายที่มีการใช้งานจริง ในแต่ละ link มีการรับส่งข้อมูลแบบ full duplex รองรับแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbit/s มีการกำหนด queue ด้วยวิธีการ droptail โปรแกรมทำงานบนคอมพิวเตอร์ CPU Intel Core2 Duo 2.28 GHz ระบบปฏิบัติการ Ubuntu version 12.04 จำนวนโหนดที่ใช้ กำหนดไว้ใน Table 1

Table 1 Nodes using in Model

โหนดสำหรับการทดลอง	จำนวน
จำนวนโหนดทั้งหมด	200 โหนด
จำนวนโหนดที่ส่งแพ็กเก็ตโจมตี	100 โหนด
จำนวนโหนดเป้าหมาย	1 โหนด
จำนวนโหนดในเส้นทางปกติ	5 โหนด
จำนวน Router node	50 โหนด

ทำการทดลองรับส่งข้อมูล ตามภาพแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น ดัง Figure 2

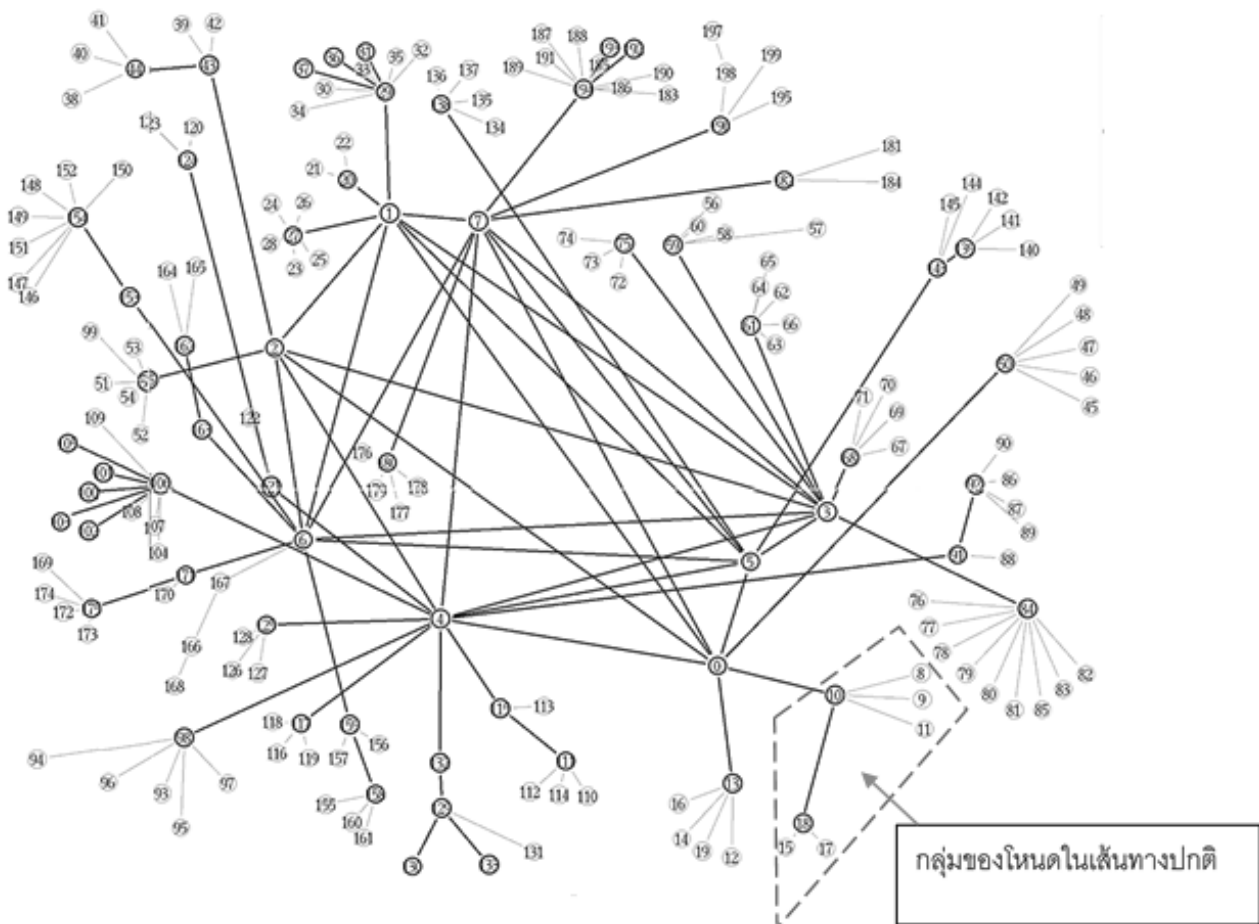


Figure 2 The model of the network used in this research

1. ออกแบบการทดลองขณะยังไม่มีโจมตี

ขั้นตอนแรก ทำการกำหนดเครื่องที่เป็นเป้าหมายของการโจมตี ทำการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตจำนวน 1 โหนด มีการส่งข้อมูลแบบ udp และ tcp จากโหนดที่อยู่ข้างเคียง ไปยังเครื่องอื่นในเครือข่าย ขนาดของแพ็กเก็ต เป็น 100 bytes ด้วยอัตราการส่งถ่ายข้อมูล 200,000 แพ็กเก็ต ต่อวินาที ตามลำดับ เริ่มจากวินาทีที่ 10 ถึงวินาทีที่ 80 ทำการจับเวลา โหนดที่รับข้อมูล ทุก 0.5 วินาที เพื่อคำนวณแบนด์วิดท์

2. ออกแบบการทดลองขณะมีการโจมตี

ขั้นตอนที่สอง ที่เวลา 30 วินาที กำหนดให้เริ่มมีการโจมตี จากกลุ่มของโหนดที่วงกลมไว้ ใช้โหนดการโจมตีจำนวน 100 โหนด ซึ่งทำให้เครื่องเป้าหมายแทบจะไม่สามารถส่งข้อมูลปกติไปยังโหนดข้างเคียงได้ (เข้าใกล้ 0)

ในการโจมตีนั้น กำหนดให้แต่ละโหนดโจมตี มีการส่งข้อมูล ชนิด udp ด้วยขนาดของแพ็กเก็ต เป็น 100 bytes ด้วยอัตราการส่งถ่ายข้อมูล 50,0000 แพ็กเก็ตต่อวินาที ตามลำดับ

ทำการคำนวณค่าแบนด์วิดท์ ทั้งที่เป็นแบนด์วิดท์ของการส่งข้อมูลปกติ และ แบนด์วิดท์ของการส่งข้อมูลโจมตีที่เครื่องเป้าหมาย ขณะเกิดการโจมตี

3. ค่าเทรซโพลต์ของการทดลอง

ขั้นตอนที่สาม ก่อนที่จะทำการโจมตี ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตปกติ และ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การคำนวณหาค่าเทรซโพลต์ ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบว่าเกิดการโจมตี โดยใช้ค่าเทรซโพลต์ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์เครือข่ายเพื่อจำกัดการส่งข้อมูลมายังเครื่องเป้าหมาย ก่อนที่เครื่องเป้าหมายจะไม่สามารถรับส่งข้อมูลต่อไปได้ ในการวิจัยนี้ ใช้ค่าเทรซโพลต์จากการวิจัยของประดิษฐ์ และ ศิริปรัชญ์

4. ออกแบบการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ในเครือข่าย

เมื่อมีการโจมตีเกิดขึ้น เครื่องเป้าหมายจะทำการติดต่อกับอุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกัน เพื่อขอให้ลดการส่งข้อมูล เส้นทางโจมตีแสดงด้วยเส้นทึบ ข้อมูลสื่อสารแสดงด้วยเส้นประ เมื่ออุปกรณ์ Router ได้รับการติดต่อ ก็ทำการควบคุมแบนด์วิดท์ ด้วยค่าเทรซโพลต์ที่ได้คำนวณไว้ ดัง Figure 3

เมื่ออุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกับเครื่องเป้าหมายทำการควบคุมแบนด์วิดท์ ก็จะส่งข้อมูลสื่อสารไปยังอุปกรณ์ Router ที่อยู่ถัดไป เพื่อขอให้ลดการส่งข้อมูลตามเส้นทางโจมตี ขณะเดียวกัน อุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกับเครื่องเป้าหมาย จะกลับมาส่งข้อมูลด้วยอัตราปกติ เพื่อให้เครื่องเป้าหมายสามารถรับส่งข้อมูลปกติต่อไปได้ ดัง Figure 4

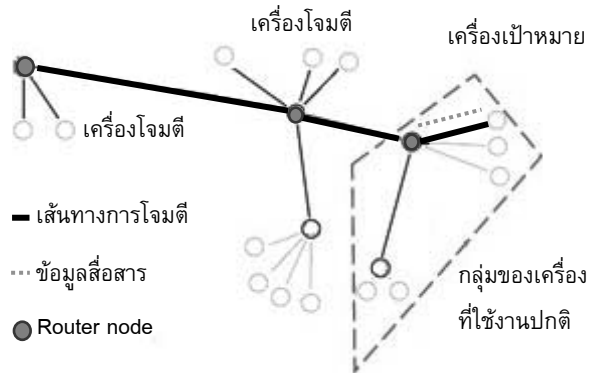


Figure 3 The victim sends information to the Router adjacent to reduce the data rate

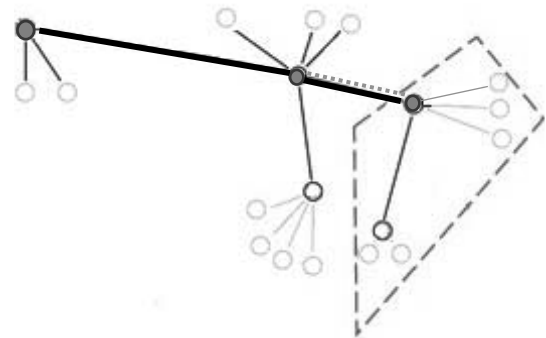


Figure 4 The Routers on the attack path contact between them to reduce the data rate

กระบวนการนี้ จะดำเนินไปจนกระทั่งถึงอุปกรณ์ Router ที่อยู่ติดกับเครื่องโจมตี ดัง Figure 5

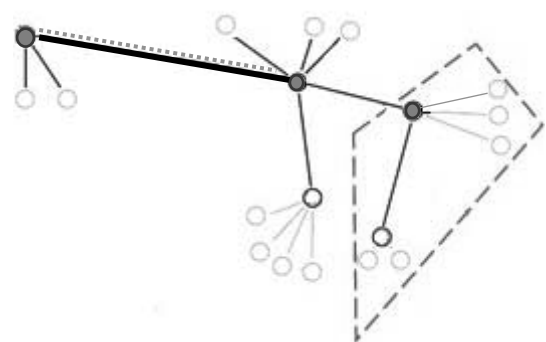


Figure 5 The process respond to an attack action until the equipment Router adjacent source attack

5. การหาเส้นทางย้อนกลับไปยังเครื่องโจมตี

ในการสร้างแบบจำลองระบบเครือข่ายนั้น โปรแกรม NS2 ได้จัดทำข้อมูลเส้นทางเชื่อมต่อของแต่ละโหนด (Routing Table) สำหรับค้นหาเส้นทางเชื่อมต่อกันระหว่าง

โหนดไว้ด้วย

ข้อมูล Routing Table จะถูกเก็บในรูปแบบ Adjacency Matrix ในอะเรย์ 2 มิติ มีขนาดเท่ากับ O (จำนวนโหนด²) โดยเป็นข้อมูลเส้นทางการเชื่อมต่อของทุกโหนดในเครือข่าย ดัง Figure 6

	โหนดปลายทาง	โหนดปลายทาง	โหนดปลายทาง	...
โหนดต้นทาง	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	
โหนดต้นทาง	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	
โหนดต้นทาง	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	โหนดถัดไป	
...				

Figure 6 Attributes of Routing Table

ตัวอย่าง Routing Table ของแบบจำลอง ดัง

Figure 7

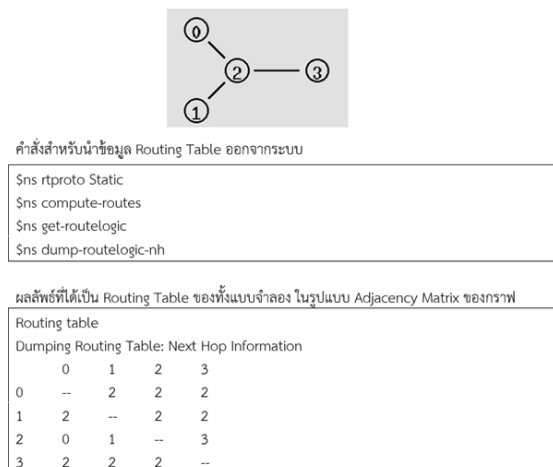


Figure 7 Example of Routing Table

ในแบบจำลองเครือข่ายที่สร้าง ใช้ OSPF Protocol ในการจัดทำข้อมูล Routing Table สำหรับแต่ละโหนด เพื่อใช้ในการหาเส้นทางสำหรับการส่งข้อมูลในเครือข่าย

ตัวอย่างคำสั่งในการทำ OSPF ใน NS2

```
Agent/rtProto/OSPF set helloInterval 1
Agent/rtProto/OSPF set routerDeadInterval 4
$ns rproto OSPF
```

6. ออกแบบข้อมูลสื่อสาร

เป็นข้อมูลสื่อสารที่เครื่องเป้าหมายใช้ในการติดต่อกับ Router Node เพื่อร้องขอให้ทำการจำกัดข้อมูลที่ส่ง และเป็นข้อมูลสื่อสารระหว่าง Router Node ที่อยู่ในเส้นทางการโจมตี โดยส่งค่าเทรซโฮลต์ ที่คำนวณได้จากการตรวจจับการ

โจมตี ด้วยการสร้าง packet ในรูปแบบของ IP Datagram และเพื่อความปลอดภัยของการสื่อสาร จึงนำข้อมูลที่ส่ง ไปผ่าน Hash Function และ ทำการ Encryption ด้วย CESAR Cipher กำหนด key=3 ดัง Figure 8

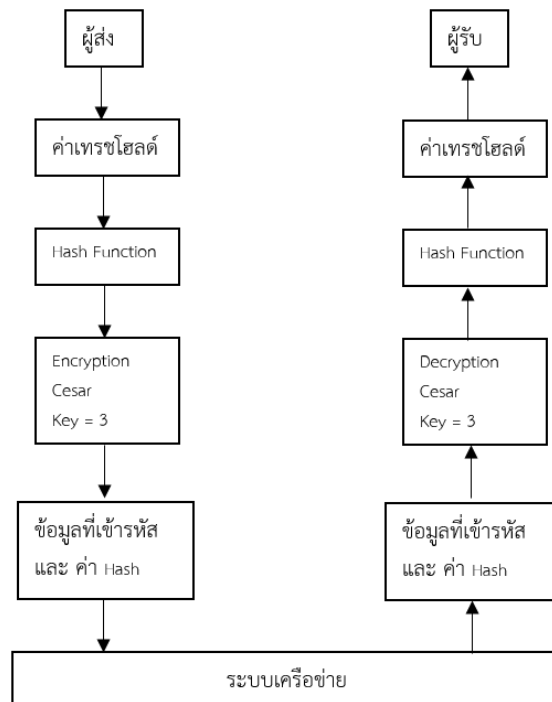


Figure 8 Step of Encryption and Decryption

เมื่อผู้รับได้รับข้อมูลสื่อสาร จะทำการถอดรหัสด้วย CESAR Cipher โดยใช้ key=3 จะได้ข้อมูลค่าเทรซโฮลต์ และ ค่า Hash ที่ถูกส่งมาด้วย

จากนั้นนำข้อมูลที่ผ่านการถอดรหัสแล้ว ไปคำนวณเพื่อหาค่า Hash แล้วนำค่า Hash ที่คำนวณได้ มาเปรียบเทียบกับ ค่า Hash ที่ถูกส่งมากับข้อมูล

หากค่า Hash มีค่าเท่ากัน แสดงว่า ข้อมูลสื่อสารนั้นถูกต้อง ไม่ได้ถูกแก้ไขระหว่างทาง

ผลการวิจัย

จากการออกแบบ แบบจำลองเครือข่าย เริ่มต้นจากการที่ยังไม่เกิดการโจมตี ทำการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตโจมตีจากโหนดที่กำหนดให้ เมื่อเวลาวินาที่ 30 มายังเครื่องเป้าหมาย ทำการวัดปริมาณข้อมูลที่เครื่องเป้าหมาย เมื่อปริมาณข้อมูลแพ็กเก็ตโจมตีมากถึงระดับหนึ่ง จะทำให้ข้อมูลแพ็กเก็ตปกติของเครื่องเป้าหมาย สามารถส่งออกมาได้น้อยลง การตรวจจับการโจมตี กระทำที่เครื่องเป้าหมาย ดัง Figure 9

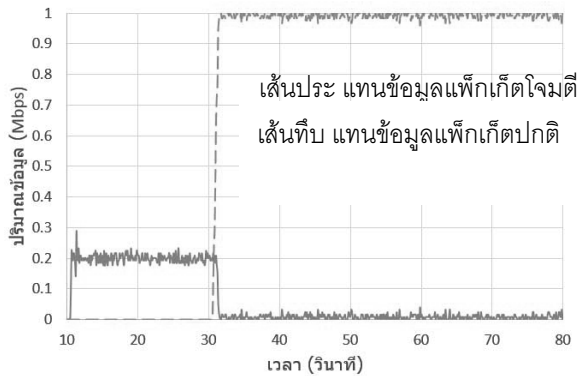


Figure 9 Characteristic of Attack and Normal packet before responding

ทำการระบวงการตอบสนองการโจมตี โดยเครื่องเป้าหมายติดต่อกับ Router node ที่อยู่ติดกับเครื่องเป้าหมาย เพื่อจำกัดแบนด์วิดท์ Router node ทำการติดต่อกับ Router node ที่อยู่ถัดขึ้นไป ทำการจำกัดแบนด์วิดท์ Router node ที่อยู่ติดกับเครื่องเป้าหมายปรับแบนด์วิดท์เป็นอัตราปกติ ทำให้เครื่องเป้าหมายสามารถรับส่งข้อมูลเป็นปกติได้กระทำการย้ายโอนไปตามเส้นทางโจมตี จนถึงเครื่องโจมตี ดัง Figure 10

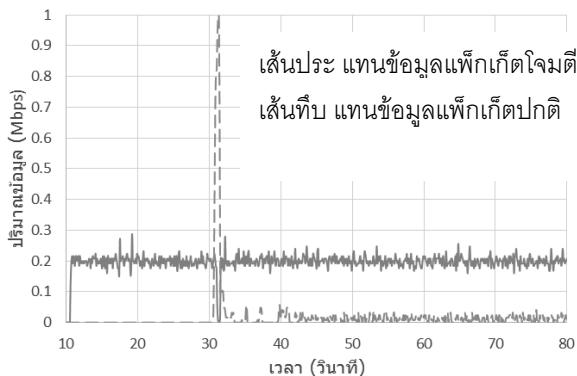


Figure 10 Characteristic of Attack and Normal packet after responding

ทำการเปรียบเทียบแบนด์วิดท์ของข้อมูลปกติ ขณะทำการตอบสนองการโจมตี ด้วยการคงสภาพแบนด์วิดท์ กับแบนด์วิดท์ของข้อมูลปกติก่อนการโจมตี และทำการเปรียบเทียบการแบนด์วิดท์ของข้อมูลปกติ ที่ไม่มีการตอบสนองการโจมตี ผลลัพธ์ที่ได้ แสดงให้เห็นว่า การตอบสนองการโจมตีแบบคงสภาพแบนด์วิดท์ สามารถทำให้เครื่องเป้าหมาย ยังคงรักษาสภาพการรับส่งข้อมูลปกติได้ใกล้เคียงกับ แบนด์วิดท์ของข้อมูลปกติก่อนการโจมตี ดัง Figure 11

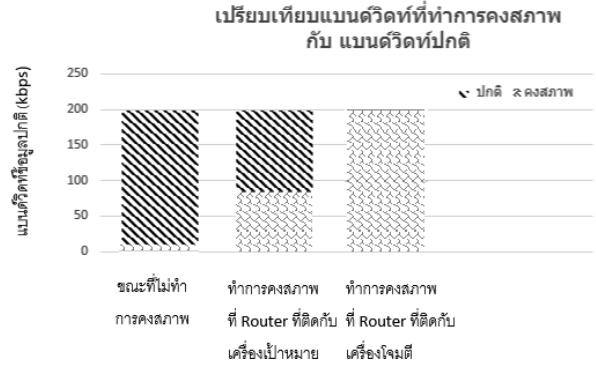


Figure 11 Efficiency of Responding method compare with normal packet

สรุปผลการวิจัย

การตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีคงสภาพแบนด์วิดท์ เป็นส่วนหนึ่งในการทำให้ เครื่องเป้าหมายที่ถูกโจมตี ยังคงสามารถรับส่งข้อมูลปกติต่อไปได้ ในขณะที่มีการโจมตี เกิดขึ้น ซึ่งมีหลายแนวทาง เช่น การตอบสนองที่เครื่องโจมตี การตอบสนองที่เครื่องเป้าหมาย และ การตอบสนองโดยอาศัยอุปกรณ์ในเครือข่าย วิธีการนี้ เป็นการสกัดกั้นข้อมูลโจมตีไม่ให้ส่งมาถึงยังเครื่องเป้าหมายได้ ผลปรากฏว่า สามารถทำให้เครื่องเป้าหมาย สามารถรับส่งข้อมูลปกติได้ 98% เปรียบเทียบกับข้อมูลปกติก่อนเกิดการโจมตี

การตอบสนองการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีคงสภาพแบนด์วิดท์ น่าจะเป็นแนวทางหนึ่งในการรักษาสภาพการใช้งานในเครือข่าย แต่ควรได้รับการศึกษาวิจัยในปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติม

เอกสารอ้างอิง

- Gupta D, Grover A, Bhandari. "Detection Techniques Against DDoS Attacks: A Comprehensive Review". International Journal of Computer Applications; 2014. pp.49-57.
- Kumar S, "A Pattern matching model for misuse intrusion detection". In Proceeding of the 17th National Computer Security Conference, 1994. pp. 11 – 21.
- Mirkovic J, Reiher P, Prier G, "A Source Router Approach to DDoS Defense". Usenix Security Symposium 2001 Work In Progress Session; 2001, pp. 1 – 16.
- Blazek R B et al, "A Novel Approach to Detection of 'Denial-of-Service' Attacks via Adaptive Sequential

- and Batch-Sequential Change-Point Detection Methods". In Proceeding of IEEE Workshop Information Assurance and Security; 2001, pp. 220 – 226
5. Fang-Yie L, I-Long L, "A DoS/DDoS Attacks Detecting System Using Chi-Square Statistic Approach". Systemics, Cybernetics&Informatics, Vol. 8 Issue 2, p41 – 51, 2010.
 6. Mirkovic J, "A Taxonomy of DDoS Attack and DDoS Defense Mechanisms". ACM SIGCOMM Computer Communications Review, vol.34 no.2; 2004, pp. 39 – 53
 7. ประดิษฐ์ พิทักษ์เสถียรกุล และ ศิรปรัชญ์ บุญครอง, การตรวจจับการโจมตีแบบ DDoS ด้วยวิธีการกำหนดค่าเรชโซลต์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ราชวมงคลชัยบุรี 2559; 6[2]: หน้า 153-163.
 9. J. Mirkovic, M. Robinson, P. Reiher, G. Oikonomou, "Distributed Defense Against DDoS Attacks", University of Delaware. 2005; pp. 1 – 12,
 10. Zegura E W, Calvert K L, Acharjee S B, "How to model an internet network", INFOCOM '96. Fifteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer Societies. Networking the Next Generation. 1996. vol.2 , pp. 594 - 602.
 11. Waxman, "Routing of multipoint connections", IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 1988. vol. 6, no. 9, pp. 1617–1622.
 12. Ioannidis J, Bellovin S.M. "Implementing Pushback: Router-Based Defense Against DDoS Attacks", In Proceeding of Internet Society Symposium on Network and Distributed System Security; 2002. p. 1-12.
 13. Cisco. "Strategies to protect against distributed denial of service attacks.[online]. 2008; <http://www.cisco.com/warp/public/707/newsflash.html>
 14. Mirkovic J, Robinson M, Reiher P, "Alliance Formation for DDoS Defense", In Proceeding of NSPW'03 workshop on New security paradigms; 2003. p. 11-18.

ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Real-Time Home Monitoring System using Wireless Sensor Network

ภาคย์ สธนเสาวภาคย์¹

Pak Satanasawapak¹

Received: 23 May 2016 ; Accepted: 3 October 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เซ็นเซอร์โหนดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้ตรวจวัดสภาพแวดล้อมต่างๆ แบ่งเป็น 2 สถานการณ์ คือ การตรวจวัดในพื้นที่แบบปิด (ภายในบ้าน) และการตรวจวัดพื้นที่แบบเปิด (ภายนอกบ้าน) สำหรับในพื้นที่ปิดมี 5 ตัวแปรที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความสว่างของแสง ระดับคุณภาพของอากาศ ระดับรังสีอัลตราไวโอเล็ตและการเคลื่อนที่ และในพื้นที่เปิดมี 5 ตัวแปรที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นในดิน ระดับคุณภาพอากาศ ระดับรังสีอัลตราไวโอเล็ต และการตรวจจับน้ำฝน โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สถาปัตยกรรมของ Raspberry Pi ให้เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดที่ทำหน้าที่รับข้อมูลต่างๆ ที่ถูกตรวจวัดได้จากเซ็นเซอร์โหนด ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูล เพื่อแจ้งให้ผู้พักอาศัยได้ทราบผ่านทางเว็บซ็อกเก็ต ผลการทดสอบประสิทธิภาพพบว่า 1) การตั้งค่าความถี่ในการส่งข้อมูลที่ต่ำจะส่งผลให้ค่าความล่าช้าของข้อมูลมีน้อยและมีอัตราการได้รับข้อมูลที่เพิ่มขึ้น 2) การกำหนดโหมด sleep ในอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะทำให้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานและมีระยะเวลาในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น 3) การใช้ฐานข้อมูลประเภท NoSQL สำหรับการเก็บข้อมูลตามเวลาจริงจะมีความเร็วในการเขียนข้อมูลมากกว่าฐานข้อมูลประเภท SQL และ 4) ในส่วนของการทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงนั้นระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ยิ่งไปกว่านั้นระบบที่ออกแบบขึ้นยังใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ

คำสำคัญ: ระบบตรวจวัดในบริเวณบ้านตามเวลาจริง ระบบตรวจวัด เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

Abstract

This research aimed to develop a real-time home monitoring system using a wireless sensor network and evaluate the performance of the system. The sensor node used in this study was designed to measure two environments: In a closed area. Five variables were measured; temperature, brightness of light, levels of air quality, levels of ultraviolet radiation and movement. In an open area, five variables were measured, including temperature, soil moisture, levels of air quality, levels of ultraviolet radiation and raindrop detection. Raspberry Pi architecture was applied to be a server node that received the data detected by the sensor node. The data were stored in the database and sent to the residents via web socket. The results included the following. 1) Setting low frequency data transmission resulted in less delay of the data and packet delivery ratio was increased. 2) Setting the sleep mode in a wireless sensor network device can help save energy and the lifetime of sensor node increased. 3) Using NoSQL database to store real-time data resulted in higher speed in writing the data than that of SQL database. 4) According to the test results of the real-time monitoring system, the system can work without errors. Moreover, the designed system consumed low power.

Keywords: Real-time Monitoring System, Home Monitoring System, Wireless Sensor Network

¹ อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000,

¹ Lecturer, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University. Maha Sarakham, 44000, Thailand.

Corresponding author: Pak Satanasawapak, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Nakorn Sawan Rd. Talad District. Amphor Muang, Maha Sarakham, 44000, Thailand. E-mail: pak.satanasaowapak@gmail.com

บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากในชีวิตประจำวัน ซึ่งจะเห็นได้จากการพัฒนาระบบเครือข่ายให้มีประสิทธิภาพและครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ในอนาคตระบบเครือข่ายภายในบ้านจะไม่เป็นเพียงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอินเทอร์เน็ตเท่านั้นแต่จะมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้านซึ่งอุปกรณ์แต่ละชนิดจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แตกต่างกัน

ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านจะเป็นสิ่งที่จำเป็นในอนาคต ระบบนี้จะทำให้เจ้าของบ้านได้รับรู้ถึงข้อมูลต่างๆ และสามารถนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ได้ ยกตัวอย่างเช่น การรับรู้ถึงอุณหภูมิภายในบ้าน ถ้าอุณหภูมิต่ำจะทำให้เจ้าของบ้านสามารถทราบได้ว่าอาจจะมีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศหรือถ้าหากมีอุณหภูมิสูงเกินไปอาจจะเกิดจากเหตุอัคคีภัย การรับรู้ถึงค่าปริมาณแสงภายในบ้านจะทำให้เจ้าของบ้านทราบถึงการเปิดไฟภายในบ้าน การรับรู้ถึงความชื้นในดินจะทำให้เจ้าของบ้านทราบความต้องการน้ำของต้นไม้และช่วยให้ใช้ทรัพยากรน้ำคุ้มค่ามากที่สุด สำหรับตัวกลางการส่งข้อมูลในการระบบตรวจวัดในงานวิจัยนิยมใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย¹ และเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย²

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและวัดประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านที่ใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เนื่องจากเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะไม่ใช้ IP Address ร่วมกับเครือข่ายไร้สาย ซึ่งระบบที่พัฒนาจะแสดงผลและเก็บข้อมูลตามเวลาจริง โดยมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน เซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศ เซ็นเซอร์วัดรังสีอัลตราไวโอเลต เซ็นเซอร์วัดน้ำฝน เซ็นเซอร์วัดแสงสว่าง และเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ข้อมูลจากเซ็นเซอร์โหนดแต่ละตัวจะถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์โหนดเพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลตามเวลาจริง นอกจากนี้ยังสามารถดูภาพผ่านกล้องที่ติดตั้งเอาไว้ในเครือข่ายไร้สายได้อีกด้วย

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบตรวจวัดข้อมูลตามเวลาจริงจะมีการเก็บข้อมูลหลากหลายชนิดตามสถานการณ์ที่ต้องการตรวจวัด ดังแสดงใน (Table 1) ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดคุณภาพน้ำ^{1,3} จะตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่างค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อุณหภูมิและการนำไฟฟ้า เป็นต้น การตรวจวัดทางด้านสุขภาพ² จะวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิตและอุณหภูมิของร่างกาย เป็นต้น การตรวจวัดในโรงงานอุตสาหกรรม⁴ จะนิยมตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น ในด้านการเกษตรจะมีการติดตามการกระจายสินค้าทางการเกษตรตามเวลาจริงโดยใช้เครือข่าย

เซ็นเซอร์ไร้สายร่วมกับเครือข่าย GSM⁵ เป็นต้น การตรวจวัดในด้านสิ่งก่อสร้าง^{6,7,8} จะตรวจวัดค่าอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ค่าความเข้มแสงและการแตกร้าวของอิฐ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้การตรวจวัดจำนวนอุปกรณ์ที่เปิดใช้งาน Bluetooth ในบริเวณที่กำหนดเพื่อนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต⁹ อุปกรณ์เซ็นเซอร์โหนดที่ใช้สร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายมีหลายชนิด เช่น MSP430, CC2430, XBee Pro¹⁰ เป็นต้น มีการนำ Raspberry Pi^{9, 11} มาประยุกต์ร่วมกับ XBee Pro เพื่อเพิ่มความสามารถเซ็นเซอร์โหนดและมีการประยุกต์ใช้สมาร์ตโฟน² มาทำเป็นเซ็นเซอร์โหนดเพื่อความสะดวกในการดูข้อมูลแบบพกพาได้ การเก็บค่าจากเซ็นเซอร์โหนดจะมีช่วงเวลาตั้งแต่ 1 วินาทีไปจนถึง 10 นาทีต่อการส่งข้อมูลหนึ่งครั้ง ไปยังเซิร์ฟเวอร์โหนดซึ่งถ้าข้อมูลที่ต้องการตรวจวัดมีความสำคัญมากอาจจะจำเป็นที่จะต้องมีความถี่ในการส่งข้อมูลสูงแต่จะส่งผลให้การใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนดมีมากขึ้น ในทางกลับกันการตรวจวัดค่าที่ไม่มีผลกระทบและไม่เปลี่ยนแปลงบ่อยก็จะใช้ความถี่ในการส่งข้อมูลต่ำ ซึ่งการกำหนดให้เซ็นเซอร์ปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการส่งจะสามารถทำให้เพิ่มระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ได้¹² ซึ่งระยะเวลาในการเก็บข้อมูลของแต่ละงานวิจัยจะมีตั้งแต่ 3 ชั่วโมงไปจนถึง 2 เดือน ซึ่งขึ้นอยู่กับการนำข้อมูลที่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล งานวิจัยส่วนมากจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดและเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลประเภท SQL นอกจากนี้ยังสามารถเก็บข้อมูลลงใน log file¹² และรับค่ามาเป็นข้อมูลดิบ³ เพื่อแสดงผลเท่านั้น ในส่วนของการแสดงผลข้อมูลนั้นงานวิจัยส่วนใหญ่จะแสดงผลบนเว็บไซต์ นอกจากนี้ยังประยุกต์ให้แสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น¹² ในการรับข้อมูลและแสดงผลตามเวลาจริงนั้นอาจจะใช้เครือข่ายอื่นเข้ามาช่วยในการเข้าถึง ซึ่งในงานวิจัยต่างๆ ได้ใช้เทคโนโลยี เช่น GPRS, UMTS, 3G หรือ Wi-Fi ในการรับและเข้าถึงข้อมูลตามเวลาจริงจากระยะไกล

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการใช้ Raspberry Pi มาแทนที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์โหนดเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดการใช้พลังงาน การใช้โมดูล XBee Pro ในการสร้างเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และการใช้ฐานข้อมูล MongoDB¹³ แทนการใช้ฐานข้อมูล SQL โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้พัฒนาการแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บซ็อกเก็ต ซึ่งจะช่วยทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลและแสดงผลตามเวลาจริงได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องทำการโหลดหน้าเว็บใหม่ ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นถูกออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำที่สุด

Table 1 Related research

Related Work	Another Network	Sampling Interval	Monitor Point	Tested Time	Sensor Node	Measurement	Server	Database	Display
[1]	GPRS	10 min	5	5 days	MSP430 + CC2430	pH, DO, Temperature	PC	N/A	N/A
[2]	GPRS/ Wi-Fi/3G	~ 1 s	1	3 hours	Acer E3 Smart Phone (Android)	Heart Rate, Blood Pressure, Body Temperature	PC	SQLite	Android / Web
[3]	GPRS	self-configures	3	~ 11 hours	ZigBee	pH, DO, Temperature, Conductivity	PC	Raw Data	Web
[6]	UMTS/ GPRS	10 min	3	55 days	MSP430 + CC2420	Temperature, Humidity, Rain, Light, Masonry Cracks	PC	SQL	Web (Java)
[9]	Wi-Fi	2 min	4	2 hours	RasPi + XBee	Detect Bluetooth Device	PC	N/A	Web
[12]	N/A	1s	4	1 month	ZigBee	CO	PC	Log File	Computer

วัตถุประสงค์

(1) เพื่อสร้างระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้านโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายให้สามารถใช้งานได้จริง (2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงในบริเวณบ้านโดยใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่สร้างขึ้น

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวิธีการศึกษาดังต่อไปนี้

1) การติดตั้งเซ็นเซอร์โหนด เซิร์ฟเวอร์โหนดและคาเมราโหนดเซ็นเซอร์โหนด คือ อุปกรณ์ XBee Pro S2 ZB 50mW ที่ทำหน้าที่เป็น end device โดยเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดดังแสดงใน (Table 2) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีเซ็นเซอร์โหนดจำนวน 10 ชุด

เซิร์ฟเวอร์โหนด คือ อุปกรณ์ XBee Pro S2 ZB 50mW ที่ทำหน้าที่เป็น coordinator โดยเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi 2 Model B โดยส่วนของเว็บซ็อกเก็ตที่ใช้แสดงผลจะอยู่ในส่วนนี้

คาเมราโหนด คือ Raspberry Pi ที่เชื่อมต่อกับโมดูล Raspberry Pi Camera ทำหน้าที่เป็นกล้องตรวจจับภายในบ้านและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายเพื่อแสดงผลผ่านทางเว็บซ็อกเก็ต

ผู้วิจัยได้ติดตั้งโหนดต่างๆ บนพื้นที่ทดลองขนาด 16 เมตร x 16 เมตร ดังแสดงใน (Figure 1) ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของโหนดที่ใช้ในการทดลองนี้ โดยที่เซ็นเซอร์โหนดทุกตัวจะติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์โหนดโดยตรง ซึ่งไม่ผ่านรีเลย์โหนด

Table 2 Grove sensor module for home monitoring¹⁴

Sensors	Power	Standby Current Supply	Status in Web Socket
Temperature	3.3 - 6 V	40 - 50 μ A	Cold / Cool / Warm / Hot / Very Hot
Moisture	3.3 - 5 V	0 - 35 mA	Air / Dry Soil / Humid Soil / Water
UV	3 - 5.1 V	0.31 mA	Low / Moderate / High / Very High / Extreme
Air Quality	5 V	40-60 mA	Air Fresh / Low Pollution / High Pollution
Light	3 - 5 V	0.5 - 3 mA	Dark / Normal / Bright
PIR	3 - 5 V	100 - 150 μ A	No Motion / Motion Detected
Water	4.75 - 5.25 V	< 20mA	Clearing Up / Raining

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงใน (Figure 2) และแผนภาพระบบตรวจวัดตามเวลาจริงภายในบริเวณบ้าน โดยการใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแสดงใน (Figure 3) ซึ่งเป็นการออกแบบระบบให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ผู้วิจัยได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 2 บริเวณ คือ ภายนอกบ้านและภายในบ้าน

ภายนอกบ้าน

ค่าที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นภายในดิน คุณภาพอากาศ รังสีอัลตราไวโอเล็ต และการตรวจวัดน้ำฝน โดยติดตั้งเซ็นเซอร์วัดความชื้นภายในดินไว้ใต้ต้นไม้ และเซ็นเซอร์อื่นๆ ไว้กลางแจ้ง

ภายในบ้าน

ค่าที่ตรวจวัด ได้แก่ อุณหภูมิ คุณภาพอากาศ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสง และการเคลื่อนไหวที่ นอกจากนี้ยังมีคาเมรา โหนดที่ทำหน้าที่แสดงภาพตามเวลาจริง เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะติดตั้งกระจายไปตามบริเวณบ้าน

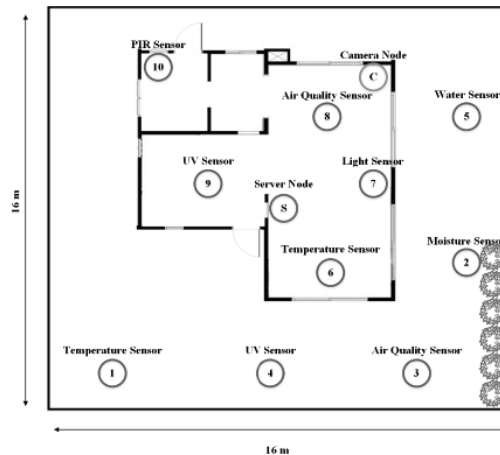


Figure 1 Testing ground and location of sensor nodes in the house

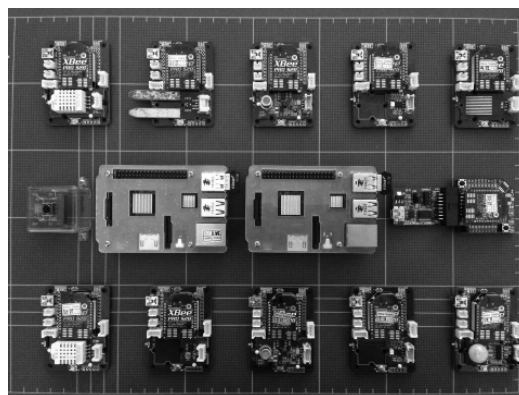


Figure 2 Equipment used in the experiment

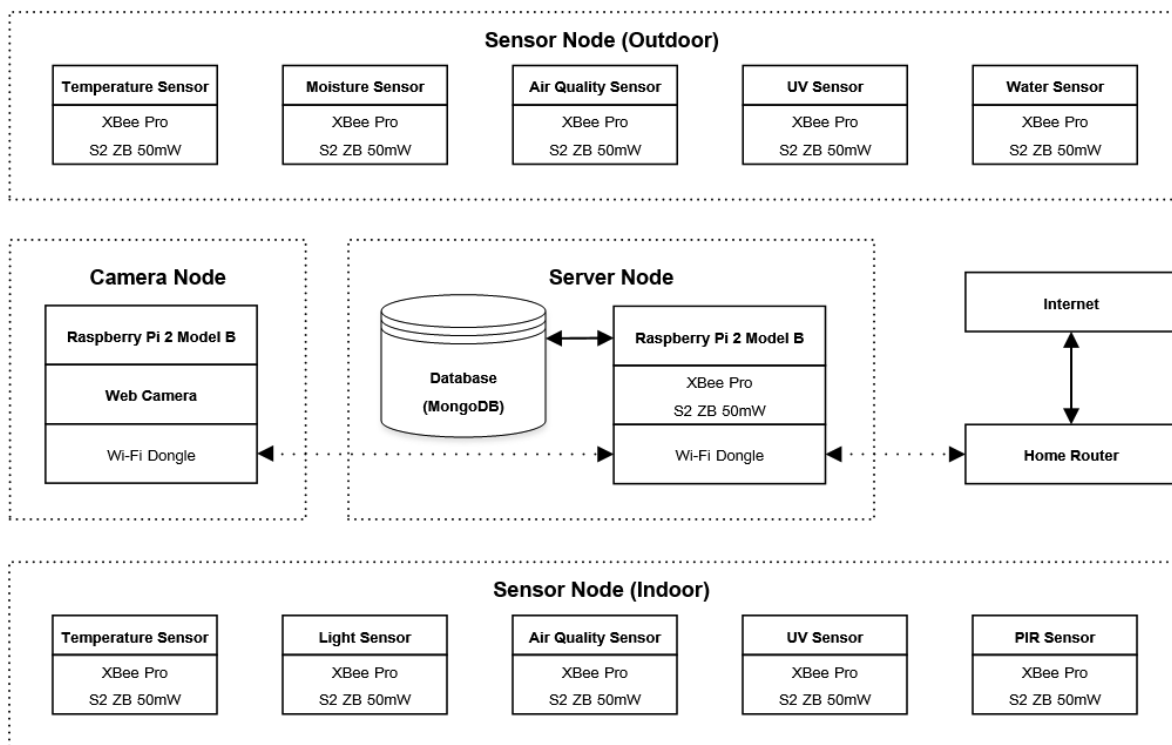


Figure 3 Schematic diagram of the real-time monitoring system

2) การออกแบบและพัฒนาระบบแสดงผลบนเว็บ ซ็อกเก็ตเซิร์ฟเวอร์ไหนจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไหนแล้วนำมาแสดงผลแบบตามเวลาจริงผ่าน เว็บซ็อกเก็ตที่พัฒนาขึ้นจาก Node.js และจะเก็บข้อมูลจากแต่ละเซ็นเซอร์ลงฐานข้อมูล MongoDB¹³ สำหรับข้อมูลที่ส่งมาจากแต่ละเซ็นเซอร์ไหนจะส่งมาในรูปแบบของเลขฐานสิบหก ซึ่งผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมในการถอดรหัสเพื่อใช้ในการแสดงผลผ่านเว็บซ็อกเก็ตและได้ออกแบบส่วนแสดงผลข้อมูลให้แสดงค่าจากเซ็นเซอร์ไหนทั้งหมดภายในหน้าเดียวเพื่อความง่ายในการดูข้อมูลดังแสดงใน (Figure 4) ในส่วนของคาเมราไหนแสดงใน (Figure 5) โดยโมดูลกล้องจะถูกติดตั้งกับ Raspberry Pi อีกชุดหนึ่งซึ่งแยกออกจากเซิร์ฟเวอร์ไหนการเข้าข้อมูลภาพจากกล้อง สามารถดูได้ผ่านทาง IP Address ของคาเมราไหน

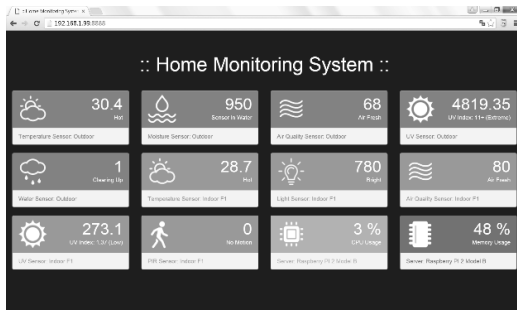


Figure 4 Monitoring system via the web socket



Figure 5 Image from the web camera

3) การทดสอบค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูลอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ใช้ในการทดลองสามารถกำหนดความถี่ในการส่งข้อมูลได้ตั้งแต่ 0.05 วินาที ถึง 65.535 วินาที โดยผู้วิจัยได้เลือกช่วงเวลาในการเปรียบเทียบระหว่าง 1 วินาทีกับ 60 วินาที ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกับค่าความถี่ในการส่งข้อมูลสูงสุดและต่ำสุดของตัว

อุปกรณ์ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความถี่ในการส่งข้อมูลดังกล่าวเพื่อทดสอบผลกระทบของช่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่มีผลต่อความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูล

4) การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของเซ็นเซอร์ไหนผู้วิจัยทดสอบโดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 500 mAh 3.7 V เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับเซ็นเซอร์ไหน โดยเปรียบเทียบระหว่างโหมด no sleep และโหมด sleep

5) การเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลผู้วิจัยได้เปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลระหว่างฐานข้อมูล MySQL กับฐานข้อมูล MongoDB ที่เป็นฐานข้อมูลแบบ NoSQL โดยใช้ข้อมูลชุดเดียวกันที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ไหนทุกตัวที่ส่งออกมาในขณะนั้น ซึ่งข้อมูลถูกส่งทุกๆ 60 วินาที ข้อมูลจะถูกเก็บในฐานข้อมูล MySQL ก่อน เพื่อคำนวณเวลาในการเขียนข้อมูล หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลไปเก็บลงในฐานข้อมูล MongoDB และคำนวณเวลาอีกครั้ง กระบวนการดังกล่าวใช้เวลาในการทดสอบ 1 วัน ซึ่งการคำนวณความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูลทั้งสอง ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมเพื่อจับเวลาตั้งแต่เริ่มกระบวนการเขียนข้อมูลจนกระทั่งเขียนข้อมูลลงฐานข้อมูลสำเร็จโดยใช้สูตรดังนี้

$$T_{Elapsed} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (T_{End(i)} - T_{Start(i)}) \right)$$

กำหนดให้ตัวแปร $T_{Elapsed}$ เป็นเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเขียนฐานข้อมูล ตัวแปร N เป็นจำนวนของข้อมูลที่ได้รับทั้งหมด ตัวแปร T_{End} เป็นเวลาที่บันทึกข้อมูลเสร็จสิ้น และตัวแปร T_{Start} เป็นเวลาที่เริ่มบันทึกข้อมูล การเก็บข้อมูลตามเวลาจริงนั้นความเร็วในการเขียนข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานที่ต่อเนื่องของระบบ ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่^{2,6} นิยมใช้ฐานข้อมูล MySQL ในการเก็บข้อมูลและมีงานวิจัย¹² ได้เก็บข้อมูลลงใน SD card

6) การทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริงผู้วิจัยทดสอบระบบโดยการเปิดระบบไว้ 2 เดือน เพื่อหาข้อผิดพลาดของระบบ โดยติดตั้งเซ็นเซอร์ไหนเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานภายในบ้าน

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูล

ผู้วิจัยวัดประสิทธิภาพจากการส่งข้อมูลจำนวน 26 ไบต์ของแต่ละเซ็นเซอร์ไหนระหว่างช่วงเวลาการส่งข้อมูลทุก 1 วินาทีกับ 60 วินาที โดยเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 วัน ผลการทดลองพบว่า สำหรับความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 1 วินาที ค่าเฉลี่ยของ

ค่าความล่าช้าของข้อมูลและค่าเฉลี่ยของอัตราการได้รับข้อมูลมีค่าเท่ากับ 13.51 มิลลิวินาทีและ 99.71 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และสำหรับความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 60 วินาที ค่าเฉลี่ยของค่าความล่าช้าของข้อมูลและค่าเฉลี่ยของอัตราการได้รับข้อมูลมีค่าเท่ากับ 10.67 มิลลิวินาทีและ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงใน (Figure 6) และ (Figure 7) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความถี่ในการส่งข้อมูลสูงมีผลทำให้ค่าความล่าช้าของข้อมูลเพิ่มขึ้นและ อัตราการได้รับข้อมูลลดลง ซึ่งในการทดลองนี้อาจจะมีผลกระทบต่อค่าความล่าช้าของข้อมูลและอัตราการได้รับข้อมูลน้อย เนื่องจากระยะห่างของเซ็นเซอร์โหนดที่ติดตั้งอยู่ภายในและภายนอกบริเวณบ้านแต่ละจุดอยู่ไม่ไกลกันมากอีกทั้งจำนวนเซ็นเซอร์โหนดก็มีจำนวนไม่มาก

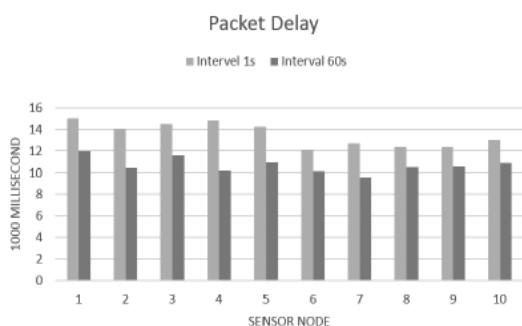


Figure 6 Comparison of packet delay

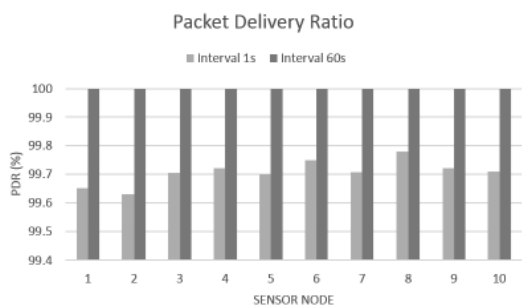


Figure 7 Comparison of packet delivery ratio

ผลการทดสอบระยะเวลาการใช้งานของเซ็นเซอร์โหนด ผู้วิจัยได้ทดสอบการใช้พลังงานของเซ็นเซอร์โหนด โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 500 mAh ที่มีแรงดัน 3.7 โวลต์ การทดลองเป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานระหว่างสถานะการทำงานของโหมด sleep และ no sleep (สำหรับการทำงานในโหมด sleep ผู้วิจัยได้ตั้งค่าให้เซ็นเซอร์โหนดตื่นขึ้นมาและส่งข้อมูลจำนวน 1 ครั้ง หลังจากส่งข้อมูลแล้วเซ็นเซอร์โหนดจะ sleep เพื่อรอการตื่นขึ้นมาส่งข้อมูลในหน้าที่ถัดไป) โดยมีความถี่ในการส่งข้อมูลทุก 60 วินาที ผลที่ได้แสดงใน (Figure 8) ซึ่งเซ็นเซอร์วัดคุณภาพอากาศจะมีเวลาคงอยู่ใน

ระบบประมาณ 3 ชั่วโมงสำหรับโหมด no sleep และ 12 ชั่วโมงสำหรับโหมด sleep ส่วนเซ็นเซอร์อื่น ๆ จะมีเวลาคงอยู่ในระบบประมาณ 9 ชั่วโมง สำหรับโหมด no sleep และมากกว่า 24 ชั่วโมงสำหรับโหมด sleep ซึ่งจะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์ตรวจจับคุณภาพอากาศจะคงอยู่ในระบบได้ไม่นานเนื่องจากใช้กระแสไฟฟ้ามากกว่าเซ็นเซอร์ชนิดอื่น ผู้วิจัยแนะนำว่าการใช้งานจริงควรตั้งค่าเซ็นเซอร์โหนดให้เป็นโหมด sleep เพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุด นอกจากนี้การต่อเซ็นเซอร์โหนดเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านร่วมกับแบตเตอรี่ภายนอกจะช่วยให้ระบบสามารถคงอยู่ได้นานที่สุดอีกด้วย สำหรับเซ็นเซอร์โหนดที่อยู่ภายนอกบ้านอาจจะใช้พลังงานทางเลือก เช่น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้กับเซ็นเซอร์โหนด

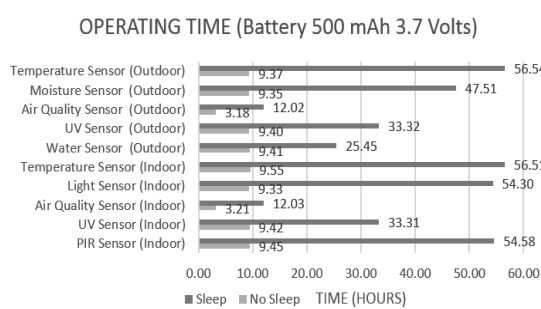


Figure 8 Operating time of each sensor node

ผลการเปรียบเทียบความเร็วในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูล

ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาเฉลี่ยในการเขียนข้อมูลของฐานข้อมูล MySQL ในแต่ละครั้งใช้เวลาเฉลี่ย 0.1106 วินาที และ MongoDB ใช้เวลาเฉลี่ย 0.0174 วินาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ฐานข้อมูล MongoDB ทำให้สามารถเขียนข้อมูลลงในฐานข้อมูลได้เร็วขึ้นซึ่งเหมาะสมกับระบบที่ต้องบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลอยู่ตลอดเวลา

ผลการทดสอบการแสดงผลของระบบตรวจวัดตามเวลาจริง

ผู้วิจัยทดสอบระบบโดยการเปิดใช้เป็นเวลา 2 เดือนพบว่าระบบสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์โหนดมีการใช้งานของหน่วยประมวลผลเฉลี่ยประมาณ 5.8 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ และมีการใช้หน่วยความจำประมาณ 53.25 เปอร์เซ็นต์ เซ็นเซอร์โหนดสามารถส่งข้อมูลมายังเซิร์ฟเวอร์โหนดได้ตามที่ตั้งค่าเอาไว้โดยมีการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ครั้งละ 24 ไบต์ มายังเซิร์ฟเวอร์โหนดในระบบเครือข่ายนี้จะมีข้อมูลไม่เกิน 2 เมกกะไบต์ต่อวัน สำหรับฐานข้อมูลนั้นสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องและใช้พื้นที่ในการเก็บ

ข้อมูลประมาณ 140 ไบต์ต่อการเก็บข้อมูลหนึ่งครั้ง ซึ่งใน 1 วันจะมีข้อมูลที่เก็บลงในฐานข้อมูลน้อยกว่า 10 เมกะไบต์ ในส่วนของการแสดงผลตามเวลาจริงผ่านเว็บช็อคเก็ตนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการรับค่ามาจากเซ็นเซอร์ไหน สำหรับค่าของเซ็นเซอร์ต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล MongoDB และทำการเฉลี่ยค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ในแต่ละชั่วโมงของวันซึ่งแสดงใน (Figure 9)

สรุปผลการทดลอง

ระบบตรวจวัดตามเวลาจริงนั้นจำเป็นต้องเปิดระบบเพื่อแสดงผลและเก็บข้อมูลอยู่ตลอดเวลา การออกแบบระบบที่ดีควรต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงานของระบบ การใช้ Node.js จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในส่วนของการแสดงผลตามเวลาจริงซึ่งจะทำให้สามารถแสดงผลโดยไม่จำเป็นต้องโหลดหน้าเว็บใหม่ การใช้งานข้อมูล

ประเภท NoSQL เช่น MongoDB จะทำให้เวลาในการเขียนข้อมูลลงฐานข้อมูลเร็วกว่าฐานข้อมูลประเภท SQL ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ Raspberry Pi เป็นเซิร์ฟเวอร์แทนเครื่องคอมพิวเตอร์จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบและประหยัดพลังงานมากขึ้น การตั้งค่าอุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในโหมด sleep จะช่วยให้ระบบประหยัดพลังงานมากขึ้น และการตั้งช่วงเวลาในการส่งข้อมูลที่เหมาะสมจะช่วยลดค่าความล่าช้าของข้อมูลและเพิ่มอัตราการได้รับข้อมูลอีกด้วย นอกจากนี้การใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจะทำให้เกิดเครือข่ายส่วนบุคคลภายในบริเวณที่กำหนด กล่าวคือ จะไม่เกิดสัญญาณรบกวนเครือข่ายไร้สายและไม่มีการใช้ไอพีแอดเดรสเดียวกับเครือข่ายไร้สายที่มีอยู่

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

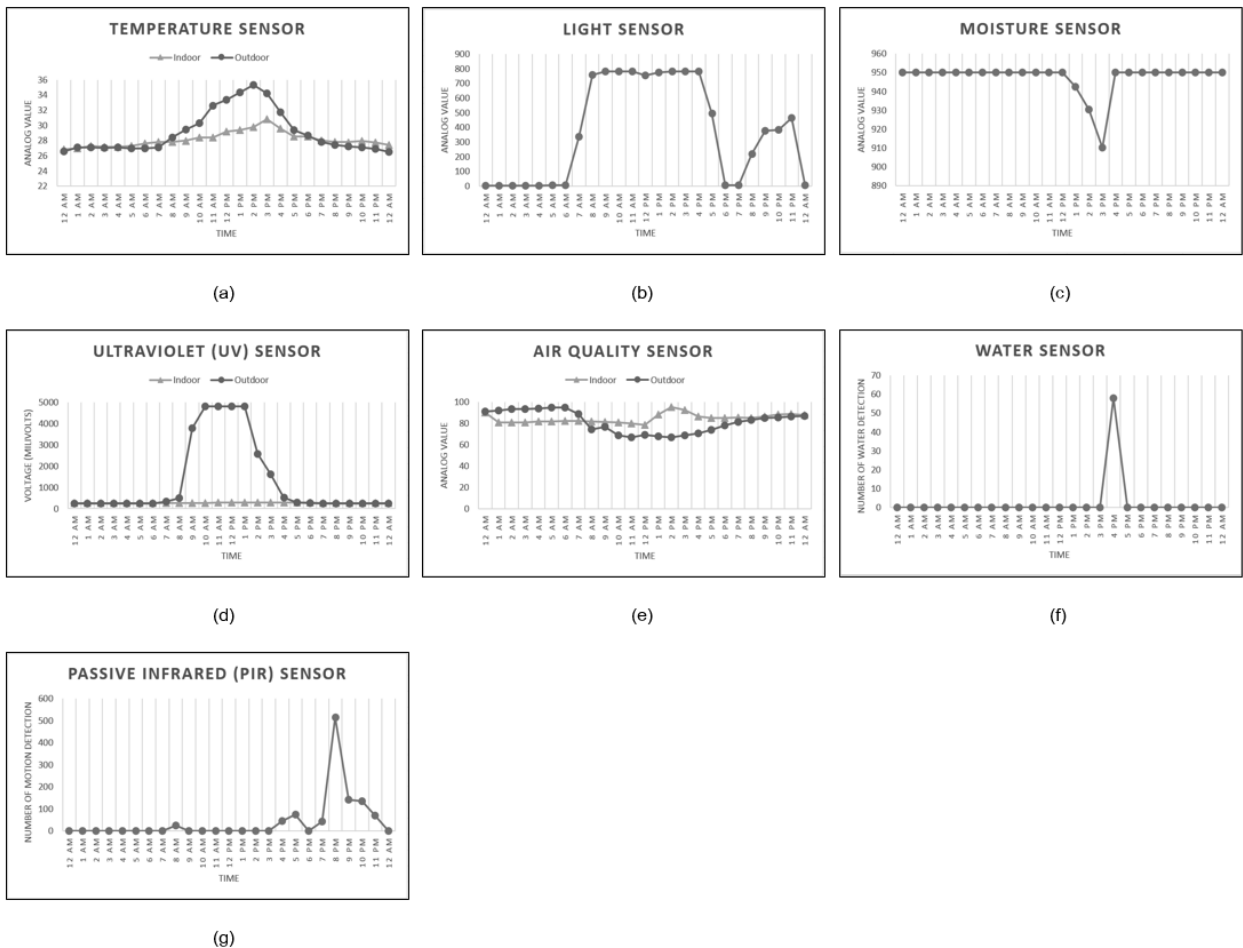


Figure 9 Average sample value of each sensor node

เอกสารอ้างอิง

1. Jinfeng Li, Shun Cao. A Low-cost Wireless Water Quality Auto-monitoring System. *International Journal of Online Engineering (iJOE)* 2015; 11(3):37-41.
2. Priyanka Kakria, N. K. Tripathi and Peerapong Kitipawang. A Real-Time Health Monitoring System for Remote Cardiac Patients Using Smartphone and Wearable Sensors *International Journal of Telemedicine and Applications* 2015; 2015:11 pages.
3. Xiaoci Huang, Jianjun Yi, Shaoli Chen and Xiaomin Zhu. A Wireless Sensor Network-Based Approach with Decision Support for Monitoring Lake Water Quality. *Journal of Sensors* 2015; 15:29273-29296.
4. Jiachen Yang, Jianxiong Zhou, Zhihan Lv, Wei and Houbing Song. A Real-Time Monitoring System of Industry Carbon Monoxide Based on Wireless Sensor Networks. *Journal of Sensors* 2015; 15:29535-29546.
5. Daesik Ko, Yunsik Kwak and Seokil Song. Real Time Traceability and Monitoring System for Agricultural Products Based on Wireless Sensor Network. *International Journal of Distributed Sensor Networks* Volume 2014; 2014:7 Pages.
6. Alessandro Mecocci and Andrea Abrardo. Monitoring Architectural Heritage by Wireless Sensors Networks: San Gimignano — A Case Study. *Journal of Sensors* 2014; 14:770-778.
7. Mirosław Skibniewski, Hui-Ping Tserng, Shen-Haw Ju, Chung-Wei Feng, Chih Ting Lin, Jen-Yu Han, Kai-Wei Weng, Shu-Chien Hsu. Web-Based Real Time Bridge Scour Monitoring System for Disaster Management. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2014; 9(1):17-25.
8. Xinqing Xiao, Tianyu Zhu, Lin Qi, Liliana Mihaela Moga and Xiaoshuan Zhang. MS-BWME: A Wireless Real-Time Monitoring System of Brine Well Mining Equipment. *Journal of Sensors* 2014; 14:19877-19896.
9. Joyoung Lee, Zijia Zhong, Bo Du, Slobodan Gutesa, and Kitae Kim. Low-Cost and Energy-Saving Wireless Sensor Network for Real-Time Urban Mobility Monitoring System. *Journal of Sensors* 2015; 2015: 8 Pages. *digi.com* [internet]. XBee Pro [cited 3 August 2015]. Available from: <http://www.digi.com/.raspberrypi.org> [internet]. Raspberry Pi [cited 27 July 2015]. Available from: <https://www.raspberrypi.org/>.
10. Petros Spachos and Dimitrios Hatzinakos. Real-Time Indoor Carbon Dioxide Monitoring Through Cognitive Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal* 2016; 16(2):506-514.
11. *mongodb.org* [internet]. MongoDB [cited 9 September 2015]. Available from: <https://www.mongodb.org/>.
12. *seedstudio.com* [internet]. Grove System [cited 20 August 2015]. Available from: http://www.seedstudio.com/wiki/Grove_System/.

การจัดการสื่อดิจิทัลสร้างสรรค์เพื่อการอนุรักษ์ผ้าย้อมครามสกลนคร

Creative Digital Media Management for Conserving the Indigo Fabric in SakonNakhon Province, Thailand

จิตติพร การสูงเนิน, ธาปณี เฮงสนันกุล, สาวินี แสงสุริยันต์, วไลลักษณ์ วงษ์รัตน์

Thitiporn Kansungnern, Thapani Hengsanankun, Sawinee Sangsuriyun, Walailuck Wongruen

Received: 17 May 2016 ; Accepted: 30 September 2016

บทคัดย่อ

ในยุคปัจจุบันที่มีช่องทางการใช้สื่อดิจิทัลที่มีศักยภาพในการผลักดันความคิด การศึกษา การเรียนรู้ของมนุษย์ให้เปลี่ยนแปลงไปได้ ผู้วิจัยจึงเห็นข้อดีของสื่อดิจิทัลจึงนำมาใช้ในงานวิจัยให้เกิดประโยชน์ต่อสังคมมากที่สุด โดยใช้กรณีศึกษาผ้าย้อมครามจังหวัดสกลนครในรูปแบบอินโฟกราฟิกมีการใช้งานอย่างที่ปรากฏให้เห็นอย่างต่อเนื่องบนเว็บไซต์เครือข่ายสังคมออนไลน์ และแอนิเมชัน 2 มิติ อธิบายความสำคัญของผ้าย้อมครามสกลนครที่น่าสนใจและเข้าใจง่าย ผลการวิจัยพบว่า สื่อดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นมีความสร้างสรรค์สามารถส่งเสริมการอนุรักษ์และประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามสกลนครได้ สื่อมีความสวยงามและผู้ใช้ชมได้รับความเพลิดเพลินในการชม ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานสื่อโดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับมากที่สุด (4.61)

คำสำคัญ: สื่อดิจิทัล อินโฟกราฟิก แอนิเมชัน ผ้าย้อมคราม

Abstract

Nowadays, the use of digital media motivates change in ideas and human learning. With the advantages of the digital media, it has been therefore creatively applied to several research projects for bringing benefits to society. In this paper, the indigo fabric in SakonNakhon Province was used as a case study for creating the infographics and the 2D animations, which generally appear on social networks. Those media interestingly and distinctly present the story and importance of the indigo fabric in SakonNakhon Province. The results of evaluation by the digital media shows that they have creativity and can be used to conserve and introduce the products made of indigo fabric in Sakon Nakhon Province. Furthermore, the developed digital media is attractive and provides entertainment to the audience. The average satisfaction rating of the proposed media, obtained from the assessors, was at a very high level (4.61).

Keywords: Digital Media, Infographic, Animation, Indigo Fabrics

บทนำ

ด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องทำให้เกิดของสื่อใหม่ๆ ซึ่งเป็นสื่อในรูปแบบดิจิทัลไม่ว่าจะเป็นโทรทัศน์ดิจิทัล วิทยุออนไลน์ สื่อในอินเทอร์เน็ต เกมอิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้แต่อุปกรณ์ที่ใกล้ตัวเรามากที่สุด อย่างโทรศัพท์มือถือที่มีใช้กันอยู่แทบจะทุกคนถือเป็นการก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัลอย่างแท้จริง ถึงแม้ว่าอัตราการรู้ความสามารถในการใช้คอมพิวเตอร์

ของบางพื้นที่ยังคงต่ำอยู่ การเข้าสู่ยุคดิจิทัลนี้เป็นการเพิ่มโอกาสและขีดความสามารถของสื่อในการเข้าถึงผู้รับที่มีความรวดเร็วและการเข้าถึงผู้รับได้อย่างเป็นส่วนตัวมากขึ้น การสร้างสื่อดิจิทัลต้องคำนึงถึงเนื้อหาที่สร้างสรรค์และวิธีการสื่อสารให้ชัดเจนเหมาะสม สอดคล้องกับพฤติกรรมของกลุ่มเป้าหมายให้มีความเฉพาะเจาะจง นอกจากนี้เครือข่ายสังคมออนไลน์ได้รับความนิยมอย่างมากในช่วงเวลาที่ผ่านมานี้ จึงเป็นปัจจัยสำคัญ

ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร 47000

Department of Computer and Information Science, Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University, Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus, 47000

E-mail: thitipron.ka@ku.th

ที่ทำให้สื่อดิจิทัลออนไลน์เติบโตขึ้นตามไปด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประโยชน์ของการนำเทคโนโลยีสื่อใหม่ (New media) ที่อยู่ในรูปแบบสื่อดิจิทัลที่เป็นการจัดทำสื่อสร้างสรรค์สำหรับผู้ชมเรียนรู้การอนุรักษ์และประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามผ่านสื่อดิจิทัลที่ทันสมัยด้วยตนเอง เป็นสื่อที่ใช้ภาพอินโฟกราฟิก (Infographic) คือ การนำข้อมูลหรือความรู้ที่ได้ค้นคว้าผ่านการวิเคราะห์เป็นสารสนเทศ ในลักษณะของข้อมูลและกราฟิกที่อาจเป็นลายเส้น สัญลักษณ์ กราฟ แผนภูมิ ไดอะแกรม แผนที่ ฯลฯ ออกแบบเป็นภาพนิ่ง ดูแล้วเข้าใจง่ายในเวลารวดเร็วและชัดเจน สามารถสื่อให้ผู้ชมเข้าใจความหมายของข้อมูลทั้งหมดได้โดยไม่ต้องมีผู้นำเสนอมาช่วยขยายความเข้าใจอีก นอกจากนี้อินโฟกราฟิกผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีภาพแอนิเมชัน 2 มิติมาพัฒนาสื่อเพื่อนำเสนอข้อมูลผ้าย้อมครามจังหวัดสกลนคร ทำให้เกิดความน่าสนใจต่อการรับชมสื่อที่สร้างขึ้น อีกทั้งยังสร้างความเพลิดเพลินแก่ผู้รับชมให้ขึ้นเหมาะสำหรับผู้คนในยุคไอที มีการควบคุมกระบวนการจัดการสื่อที่รวบรวมสื่อหลากหลายรูปแบบให้อยู่บนเว็บไซต์เดียวกันเพื่อความเหมาะสมกับการใช้งาน งานวิจัยนี้ได้มีการประเมินผลการจัดการสื่อด้วยการสอบถามผู้ใช้งานเว็บไซต์ที่มีการใช้งานสื่อเมื่อมีการจัดการสื่อ

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลประวัติความเป็นมาการผลิต การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากผ้าย้อมครามสกลนคร โดยเผยแพร่ผลงานในสื่อดิจิทัลที่มีการจัดการข้อมูลอย่างเป็นระบบผ่านเว็บไซต์หลักที่สามารถเชื่อมโยงไปยังเฟสบุ๊ค ทวิตเตอร์และยูทูปเพื่อใช้เผยแพร่ผลงานอินโฟกราฟิก และแอนิเมชัน 2 มิติ สื่อดิจิทัลที่จัดทำมีเนื้อหาทางภาพที่ 1 อินโฟกราฟิกเป็นสื่อสร้างสรรค์ผลงานให้สอดคล้องกับยุคสมัยปัจจุบันของมนุษย์ที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลที่ซับซ้อนและจำนวนมาก ๆ ในเวลาที่จำกัด เพราะมนุษย์ส่วนมากจะชอบและจดจำภาพสวย ๆ มากกว่าการอ่าน ในปัจจุบันอินโฟกราฟิกกำลังเป็นที่นิยมอย่างมากในโลกของเครือข่ายสังคมออนไลน์ อีกทั้งยังสามารถกระจาย เผยแพร่ได้ง่ายและรวดเร็วอีกด้วย

เพื่อนำเสนอข้อมูลของผ้าย้อมครามสกลนครให้ออกมาในรูปแบบของ รูปภาพ สัญลักษณ์ ตาราง เส้น แผนที่ แผนภูมิ กับข้อมูลเพื่อสื่อความหมายให้ผู้รับชมเข้าใจได้ง่าย จำนวน 5 เรื่อง แต่ละเรื่องขนาดของรูปภาพ อินโฟกราฟิก มีขนาด A4 (21 ซม. X 29.7 ซม.) และมีความละเอียดของภาพอยู่ที่ 72 ppi (620 x 877 พิกเซล) สามารถแสดงผลบน

เว็บไซต์ได้อย่างดี รวมทั้งเครือข่ายสังคมออนไลน์อย่างเฟสบุ๊ค และทวิตเตอร์ด้วย



Figure 1 Scope of the Research

ภาพเคลื่อนไหวแอนิเมชัน 2 มิตินำเสนอข้อมูลของผ้าย้อมครามสกลนครออกมาในรูปแบบการ์ตูนให้เข้าใจได้ง่ายด้วยเนื้อหาพร้อมการบรรยายเสียง จัดทำทั้งหมด 5 ตอน โดยแต่ละตอนของแอนิเมชันมีความยาวในการนำเสนอประมาณ 3-4 นาที เป็นระยะเวลาที่นำเสนอข้อมูลให้มีความน่าสนใจเข้าถึงผู้ใช้งาน ไม่เกิดความน่าเบื่อในการรับชมสื่อ แต่ละเรื่องกำหนดคุณสมบัติของภาพมีความละเอียด 1,280 X 720 พิกเซล ใช้อัตราส่วนการแสดงผลของจอภาพ 16:9 เนื่องจากอัตราส่วนนี้ถูกใช้มากที่สุดโปรแกรมแสดงผลวีดีโอของยูทูป และสามารถแบ่งปันไปยังเครือข่ายสังคมออนไลน์อย่างเฟสบุ๊ค และทวิตเตอร์ได้เป็นอย่างดี

สมมติฐาน

การวิจัยนี้ออกแบบการแก้ไขปัญหาของการที่ใช้สื่อดิจิทัลหลากหลายรูปแบบที่มีการผลิตสื่อให้ทันสมัยในรูปแบบรูปภาพ อินโฟกราฟิกและแอนิเมชัน โดยให้มีการจัดการสื่อดิจิทัลอยู่ในแหล่งใช้งานเดียวกัน คือรวบรวมสื่อเรื่องเดียวกันไว้ในเว็บไซต์เดียวกันจะเป็นประโยชน์การสืบค้นใช้สื่อที่ง่ายมีประโยชน์ต่อการเผยแพร่ มีการประเมินผลการจัดการสื่อด้วยการสอบถามผู้ใช้งานเว็บไซต์ที่มีการจัดการสื่อนี้ จำนวน 30 คน

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลประวัติความเป็นมา การผลิต การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากผ้าย้อมครามสกลนคร เพื่อจัดทำสื่อดิจิทัลที่สร้างสรรค์ให้เป็นประโยชน์ต่อการประชาสัมพันธ์

เผยแพร่ข้อมูลของผ้าย้อมครามสกลนครให้เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายด้วยการใช้เครือข่ายสังคมออนไลน์เข้ามามีส่วนร่วมในการประชาสัมพันธ์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. แนวทางเกี่ยวกับการจัดการสื่อและองค์ความรู้ของผ้าย้อมครามสกลนคร และวิสาหกิจชุมชน

การวางแผนในการจัดการสื่อและองค์ความรู้ของผ้าย้อมครามจังหวัดสกลนครและวิสาหกิจชุมชน ได้กำหนดการศึกษาทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาสื่อและข้อมูลการเรียนรู้ในประเด็นต่างๆ ขณะเดียวกันได้ใช้ข้อมูลจากภูมิปัญญาของ 'ชุมชนในจังหวัดสกลนครทำการฟื้นฟูการย้อมครามจากต้นครามที่เป็นภูมิปัญญาที่ถูกกลบไว้ด้วยวัฒนธรรมชนบทสมัยใหม่ โดยเปลี่ยนมาย้อมเส้นฝ้ายก่อนทอ แทนการย้อมผ้าฝืน ทำให้สร้างรายได้หลากหลาย ล่วงเข้าปีที่ 5 ของการศึกษาค้นคว้าทดลอง จึงมีผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามรูปแบบตามยุคสมัยออกสู่ตลาดเชียงใหม่และกรุงเทพฯ ปีที่ 6-9 มีการศึกษาวิจัยด้วยกระบวนการและเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ จนสามารถอธิบายกระบวนการสกัดสีเตรียมน้ำย้อมและย้อมสีครามที่สลับซับซ้อนได้ และยืนยันได้ว่าผ้าย้อมครามสีไม่ตกทำการเผยแพร่จนผู้ผลิตและผู้บริโภคส่วนใหญ่รู้จักความพิเศษของผ้าย้อมคราม พ.ศ. 2548 เป็นปีที่ 13 ของผ้าย้อมครามยุคใหม่ ซึ่งได้รับความสนใจในวงกว้างทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากให้สีน้ำเงินสดใสจากครามและฝ้ายธรรมชาติอย่างแท้จริง กระบวนการผลิตไม่ทำให้เกิดมลภาวะ ทำให้ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามเป็นสินค้าหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) ที่สร้างยอดขายสูงสุดของสกลนคร เป็นที่นิยมในตลาดผ้าผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติในญี่ปุ่น ฝรั่งเศส และอิตาลี ต้องการ ผ้าย้อมครามคุณภาพดีจำนวนมากในราคาที่สูงใกล้เคียงกับผ้าไหม การจัดการข้อมูล เพื่อออกมาเป็นแนวทางในการนำเสนอสื่อดิจิทัลสร้างสรรค์เพื่อการอนุรักษ์ผ้าย้อมครามสกลนครใช้ทฤษฎีพัฒนาสื่อตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

2. สื่อใหม่ (New Media)

สื่อใหม่ หมายถึง เนื้อหา (Content) ที่อยู่ในรูปแบบดิจิทัลโดยลักษณะสำคัญของเนื้อหาอยู่ที่รูปแบบดิจิทัลประกอบด้วยอิสระ 5 ประการ (5 Freedoms) ได้แก่ อิสระจากข้อจำกัดด้านเวลาที่ผู้บริโภคสามารถเลือกรับและส่งข่าวสารได้ในเวลาที่ตนต้องการ อิสระจากข้อจำกัดด้านพรมแดนสามารถรับข่าวสารได้ทั่วโลกในเวลาอันรวดเร็ว อิสระจากข้อจำกัดด้านขนาดที่ส่งเนื้อหาปรับตามขนาดของเครือข่ายได้ อิสระจากข้อจำกัดด้านรูปแบบที่ไม่ตายตัวสามารถเปิดใช้งานได้หลากหลายแพลตฟอร์ม และอิสระจากยุคนักการตลาดสร้างเนื้อหาสำหรับผู้บริโภคเริ่ม สร้างพร้อมทั้งควบคุมเนื้อหาเองได้

สื่อใหม่เป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้งานเพื่อการเผยแพร่และนำเสนอข้อมูล เช่น อินเทอร์เน็ต เว็บไซต์ มัลติมีเดีย แฝบนบลูเรย์ เป็นข้อมูลระบบดิจิทัลซึ่งถูกควบคุมโดยซอฟต์แวร์ ผสมระหว่างการทำงานในรูปแบบเดิมกับรูปแบบใหม่ สื่อใหม่มีการทำงานซึ่งรวดเร็วกว่าการทำงานด้วยมือหรือด้วยเทคโนโลยีแบบเดิม เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีศักยภาพในการทำงานอย่างรวดเร็วอย่างยิ่ง ทำให้เกิดศิลปะของสื่อในรูปแบบใหม่หลายอย่าง เป็นสื่อที่มีความทันสมัยมีวิธีใหม่ๆ ที่จะเข้าถึงและจัดการกับข้อมูลข่าวสาร

ประเภทของสื่อใหม่ คือรูปแบบเนื้อหาแบบดิจิทัลที่พบเห็นในปัจจุบัน และมีแนวโน้มว่าจะมีบทบาทสำคัญมากยิ่งขึ้นในอนาคต โดยสื่อใหม่แต่ละประเภทมีความโดดเด่นและแตกต่างกันตามประโยชน์และวัตถุประสงค์ในการใช้สื่อประเภทสื่อใหม่ สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) เว็บไซต์ (Web site)
- 2) อินเทอร์เน็ต (Internet)
- 3) อีเมล (E-mail)
- 4) เทคโนโลยีสำหรับอุปกรณ์พกพาหรือแพลตฟอร์มเคลื่อนที่ (Mobile Platform)

จากนิยามข้างต้น สรุปได้ว่าสื่อใหม่ หมายถึง สื่อที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีจากระบบอนาล็อกหรือสื่อดั้งเดิม มาเป็นระบบดิจิทัล ทำหน้าที่ส่งสารได้หลายอย่างรวมกัน คือ ภาพ เสียง และข้อความไปพร้อมๆ กัน ให้สามารถตอบสนองความต้องการข้อมูลข่าวสารได้อย่างอิสระมากขึ้น

3. สื่อดิจิทัล (Digital Media)

สื่อดิจิทัลเป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยการใช้รหัสดิจิทัลแปลงข้อมูล ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้ ข้อความใช้แสดงรายละเอียดของเนื้อหาที่นำเสนอ เสียงที่ถูกจัดเก็บในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัลเพื่อช่วยเพิ่มความน่าสนใจให้กับเนื้อหา ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว ภาพวิดีโอ ซึ่งองค์ประกอบต่างๆที่เป็นเนื้อหาของสื่อดิจิทัลจะถูกนำมาเข้ารหัสดิจิทัลให้เหมือนกัน เป็นไปในรูปแบบเดียวกัน และมีมาตรฐานเดียวกันทำให้เผยแพร่ข้อมูลได้ง่ายขึ้น ประกอบกับปัจจุบันนี้เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องมีศักยภาพและความสามารถในการบันทึกข้อมูลได้มากขึ้น ข้อดีของสื่อดิจิทัลทำให้การนำเสนอข้อมูลจำนวนมากเข้าถึงผู้ใช้ได้อย่างง่ายดาย รวดเร็ว และสามารถเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้ได้จำนวนมาก เพียงแต่ผู้พัฒนาจะเลือกให้สื่อต่างๆ ในการเผยแพร่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

4. อินโฟกราฟิก

อินโฟกราฟิก คือการแปลงข้อมูลให้เป็นภาพเพื่อให้เข้าใจได้ง่ายและสื่อสารกับผู้คนด้วยสิ่งที่จับต้องได้ให้

เข้าใจง่ายขึ้น อินโฟกราฟิกไม่ใช่เทคนิคในการแปลงข้อมูลสมัยใหม่แต่มีใช้กันมานานแล้ว เช่น ภาพวาดบนฝาผนัง หนังสือภาพ แผนที่ ภาพประกอบในหนังสือเรียน เหตุที่อินโฟกราฟิกได้รับความนิยมถูกนำมาใช้งานในสื่อยุคปัจจุบันกันแพร่หลายเพราะลักษณะของการนำไปใช้ที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นในสื่อสิ่งพิมพ์ สื่อดิจิทัล รวมทั้งเครือข่ายสังคมออนไลน์ที่ได้รับความนิยมกันในปัจจุบัน เมื่อภาพอินโฟกราฟิกถูกเผยแพร่ได้รับการแบ่งปันข้อมูลไปยังผู้ใช้งานได้รวดเร็ว และเป็นที่น่าสนใจเพราะมีการแสดงข้อมูลให้เข้าใจง่าย ข้อมูลนั้นได้ทำการวิเคราะห์เรียบเรียงถูกออกแบบให้สวยงาม หลากๆ หน่วยงานต่างๆ จึงนำอินโฟกราฟิกมาใช้กันมากขึ้น การออกแบบอินโฟกราฟิกที่ดีควรประกอบด้วย 5 ข้อ ดังนี้

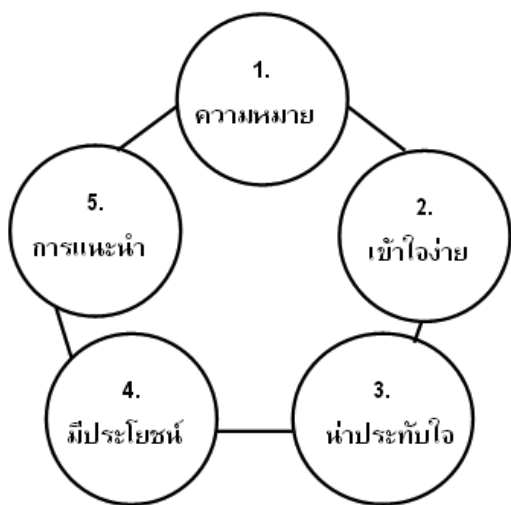


Figure 2 conditions of the Infographic.

- 1) ใช้การทำข้อมูลให้เป็นภาพอย่างมีความหมาย
- 2) ทำข้อมูลให้เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อน ออกแบบให้เป็นมิตรกับผู้อ่าน
- 3) ออกแบบให้น่าสนใจ เต็มตาผู้อ่าน
- 4) เนื้อหาดีมีประโยชน์ ทำให้คนอ่านรู้สึกอยากจะเก็บไว้
- 5) จุดประกายให้คนอ่านคิดหรือทำอะไรต่อ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลฝ่ายมัธยมศึกษาสกลนคร จากงานวิจัย และการสัมภาษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผ้าครามจังหวัดสกลนคร แล้วนำมาข้อมูลมาแบ่งเป็นหัวข้อที่น่าสนใจ 5 เรื่องคือ 1.ฝ่ายมัธยมศึกษาสกลนคร 2. ต้นคราม 1 ต้น มากล้านสรรพคุณ 3. สองเส้นใยหลายคุณสมบัติ 4.เส้นทางสายสีคราม และ 5. ฝ่ายมัธยมศึกษาสกลนครแฟชั่นโดนใจแถมได้ช่วยโลก ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ทันสมัย เนื้อหา

คุณภาพถูกต้องและต้องมีความน่าเชื่อถือมีที่มาที่ไปอ้างอิงชัดเจน เพื่อจัดทำอินโฟกราฟิกและสื่อแอนิเมชันแล้วเผยแพร่ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ไปยังสื่อดิจิทัล

2. ออกแบบและพัฒนาอินโฟกราฟิกใช้โปรแกรม Adobe Photoshop เป็นเครื่องมือในการพัฒนา การออกแบบอินโฟกราฟิกมีความสำคัญในการอธิบายข้อมูลฝ่ายมัธยมศึกษาที่เลือกมา 5 เรื่องเน้นการใช้รูปภาพที่มีความหมายร่วมกับข้อความเพียงเล็กน้อยเพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่าย การกำหนดให้ภาพของอินโฟกราฟิกให้มีขนาด A4 (21 ซม. X 29.7 ซม.) และมีความละเอียดของภาพอยู่ที่ 72 ppi (620 x 877 พิกเซล) เพื่อแสดงผลภาพได้บนเว็บไซต์และสามารถใช้ได้ในสื่อสิ่งพิมพ์



Figure 3 Infographic design examples for indigo fabric

3. ออกแบบแอนิเมชันด้วย สตอรี่บอร์ด (Storyboard) และพัฒนาแอนิเมชันใช้โปรแกรม Adobe Flash เป็นเครื่องมือในการพัฒนา จำนวน 5 ตอนมาเขียนเรื่องราวและบทบรรยาย โดยมีตัวการ์ตูนบรรยายเรื่องราว เพื่อเพิ่มความน่าสนใจ แต่ละตอนของแอนิเมชันมีความยาวในการนำเสนอประมาณ 3-4 นาที เป็นระยะเวลาที่น่าเสนอข้อมูลให้มีความน่าสนใจ คุณสมบัติของภาพมีความละเอียด 1,280 X 720 พิกเซล ใช้อัตราส่วนการแสดงผลของจอภาพ เนื่องจากอัตราส่วนนี้ถูกใช้มากที่สุด ในยุทูป และสามารถแบ่งปันไปยังเครือข่ายสังคมออนไลน์อย่างเฟสบุคและทวิตเตอร์ด้วย

อินโฟ - สิ่งแวดล้อมชุมชน	Frame NO 10	อินโฟ - พืชสมุนไพรสุขภาพ	Frame NO 7
Scene Layer	Media	Scene Layer	Media
Background อนิเมชันภาพ	Background อนิเมชันภาพ	Background อนิเมชันภาพ	Background อนิเมชันภาพ
Text อนิเมชันภาพ	Text อนิเมชันภาพ	Text อนิเมชันภาพ	Text อนิเมชันภาพ
Image/Graphic กรอบรูป (รูปถ่าย, สกรีน, ภาพวาด, มอน, สกรีน, สกรีน, กราฟ, แอนิเมชัน, ภาพ)	Image/Graphic กรอบรูป (รูปถ่าย, สกรีน, ภาพวาด, มอน, สกรีน, กราฟ, แอนิเมชัน, ภาพ)	Image/Graphic กรอบรูป (รูปถ่าย, สกรีน, ภาพวาด, มอน, สกรีน, กราฟ, แอนิเมชัน, ภาพ)	Image/Graphic กรอบรูป (รูปถ่าย, สกรีน, ภาพวาด, มอน, สกรีน, กราฟ, แอนิเมชัน, ภาพ)
Video - วิดีโอ	Video - วิดีโอ	Video - วิดีโอ	Video - วิดีโอ
Sound - เสียงประกอบ, เสียงดนตรี, เสียงบรรยาย	Sound - เสียงประกอบ, เสียงดนตรี, เสียงบรรยาย	Sound - เสียงประกอบ, เสียงดนตรี, เสียงบรรยาย	Sound - เสียงประกอบ, เสียงดนตรี, เสียงบรรยาย
Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline
Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline	Pre-rendered Timeline

Figure 4 Create storyboards for animations

4. การเลือกสื่อดิจิทัลเพื่อนำผลงานที่พัฒนาขึ้นไปเผยแพร่ให้เข้าถึงกลุ่มผู้ใช้สื่อมากที่สุด ผู้วิจัยเลือกเผยแพร่บนสื่อสังคมออนไลน์⁶ตามแนวคิดที่ว่าสังคมออนไลน์หรือสื่อดิจิทัล

ในปัจจุบันที่มีการพัฒนาตามเทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ทำให้จำนวนผู้ใช้สื่อสังคมออนไลน์ต่างๆ มากขึ้นตามไปด้วย

5. ประเมินและวิเคราะห์ผลความพึงพอใจผู้ใช้งาน อินโฟกราฟิกและแอนิเมชันจากสื่อดิจิทัลเพื่อการอนุรักษ์ผ้า ย้อมครามสกลนคร

ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้ใช้ของผ้าย้อมครามสกลนคร โดยการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ ในท้องถิ่น รวมถึงการศึกษา แนวโน้มของสื่อดิจิทัลที่ปัจจุบันสามารถเข้าถึงผู้ใช้งานได้อย่างทั่วถึง ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการออกแบบภาพอินโฟกราฟิกตาม ที่ได้ศึกษามาและแอนิเมชันเพื่อใช้เทคโนโลยีสื่อใหม่นำเสนอ ข้อมูลที่มีประโยชน์บนสื่อดิจิทัลให้เข้าถึงได้ง่าย 5 เรื่อง ดังนี้ ผ้าย้อมครามสกลนคร ให้ความรู้เกี่ยวกับประวัติของผ้าย้อม ครามสกลนครและแสดงกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในพื้นที่จังหวัด สกลนครจึงออกแบบให้แสดงข้อมูลตามลำดับเวลาที่เกิดขึ้น ต้นคราม 1 ต้น มากันสรรพคุณ ให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้ ประโยชน์จากส่วนต่างๆ ของต้นคราม ออกแบบให้แสดงข้อมูล แบบการสรุปเนื้อหาโดยรวม

สองเส้นใยหลายคุณสมบัติ ให้ความรู้คุณสมบัติของ ผ้าครามที่ทำจากเส้นใยใหม่กับเส้นใยฝ้ายว่าแตกต่างกัน อย่างไร ออกแบบให้แสดงข้อมูลที่มีการเปรียบเทียบ

เส้นทาง สายสีคราม ให้ความรู้กระบวนการผลิตผ้า ย้อมคราม โดยออกแบบให้แสดงข้อมูลตามลำดับของแต่ละ ขั้นตอนในลักษณะ

ผ้าย้อมครามสกลนคร แฟชั่นโดนใจ แกรมได้ช่วยโลก ให้ความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมคราม ออกแบบให้แสดง ข้อมูลที่มีรูปภาพประกอบกับแสดงผลรายงาน

ผลของการนำอินโฟกราฟิกและแอนิเมชันไปเผยแพร่ ในสื่อดิจิทัล โดยมีเว็บไซต์หลักที่ใช้เผยแพร่ข้อมูลแล้วสามารถ แบ่งปันไปยังสื่อสังคมออนไลน์ได้ มีการจัดทำเฟสบุ๊คแฟนเพจ ทวิตเตอร์ และยูทูปซึ่งทั้งหมดตั้งชื่อเดียวกันคือ Indigo Fabrics SN. IT_KUCSC



Figure 5 Infographics and animations publicize on social network

วิจารณ์และสรุปผล

จากที่ได้ทำการศึกษาการจัดการสื่อดิจิทัลสร้างสรรค์เพื่อการอนุรักษ์ผ้าย้อมครามสกลนคร ทำให้เห็นความสำคัญของการเผยแพร่ข้อมูลไปยังสื่อดิจิทัลให้ผู้ชมสื่อสามารถรับข้อมูลที่ถูกต้อง เป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้มาจากการศึกษาจากงานวิจัย รวมทั้งจากการไปสัมภาษณ์กลุ่มวิสาหกิจชุมชนเพื่อสรุปเป็นรูปภาพ ประกอบข้อความสั้นๆให้ผู้ชมสื่อได้ศึกษาและเรียนรู้ได้ในระยะเวลาสั้น พบว่า ผลการประเมินความพึงพอใจของการใช้สื่อดิจิทัลโดยผู้ใช้งานทั้ง 30 คน จัดอยู่ในระดับมากที่สุด ดังแสดงใน (Table 1) และจากการวิจัยนี้ยังพบปัญหาการเผยแพร่สื่อดิจิทัลในสื่อสังคมออนไลน์อีกว่า การที่เทคโนโลยีพัฒนาอย่างรวดเร็วและสื่อสังคมออนไลน์มีให้เลือกใช้อย่างหลากหลาย ซึ่งผู้ใช้งานหลายคนเป็นทั้งผู้ผลิตสื่อและผู้รับชมสื่อเอง สื่อดิจิทัลมีจำนวนการเผยแพร่มากขึ้นบางสื่อเป็นเรื่องเดียวกัน แต่ถูกเผยแพร่ตามสังคมออนไลน์ที่แตกต่างกัน ทำให้ยากต่อสืบค้นการใช้งาน ในการวิจัยนี้เผยแพร่สื่อทั้งอินโฟกราฟิกและแอนิเมชันจึงได้มีการจัดการสื่อดิจิทัลด้วยการมีเว็บไซต์หลัก เพื่อแสดงรายละเอียดข้อมูลที่นอกเหนือจากที่มีในสื่อ และสามารถแบ่งปันสื่อไปยังสังคมออนไลน์ต่างๆ ได้อีกด้วย

Table 1 The evaluation results of this research shows that the digital media was developed creatively, well-managed, and easy to access.

รายการประเมิน	Mean	S.D.	ระดับ
1. สื่อดิจิทัลมีความทันสมัยและมีความคิดสร้างสรรค์	4.76	0.53	มากที่สุด
2. สามารถช่วยส่งเสริมการอนุรักษ์และประชาสัมพันธ์ผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมครามสกลนครได้	4.36	0.66	มาก
3. มีการจัดการสื่อดี สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลได้ง่าย	4.70	0.53	มากที่สุด
รวมทั้งหมด	4.61	0.57	มากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร ปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ศักดิ์ สุริยวานากุล. บทบาทของมหาวิทยาลัย ร่วมกับองค์กรท้องถิ่นในการวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีเพื่อผลักดันเศรษฐกิจชุมชนและเศรษฐกิจจังหวัดอย่างยั่งยืน: กรณีศึกษาผ้าฝ้ายย้อมครามและเครื่องปั้นดินเผา จังหวัดสกลนคร, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 2553.
- Kent W, Ian F. Digimarketing: The Essential Guide to New Media and Digital Marketing (Hardback), John Wiley and Sons Ltd, United Kingdom, 2008.
- Manovich, L. New Media from Borges to HTML, in Wardrip-Fruin, N. & Montfort, N. The New Media Reader. MA: MIT Press, 2003.
- ปิยะพร เขตบรรณพต. พฤติกรรมรับการสื่อสาร การตลาดผ่านสื่อใหม่ของผู้บริโภคในอำเภอเมืองเชียงใหม่, การค้นคว้าแบบอิสระบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาการตลาด, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.
- ชาฤทธิ์ จุน. Basic infographic ใช้พลังของภาพสร้างการสื่อสารที่ง่ายและสนุก. (แปลจากเรื่อง basic infographic โดย นิชมน หิรัญพฤษ) (พิมพ์ครั้งที่ 1), สำนักพิมพ์ ไอดีซี พรีเมียร์, บจก. 2558.
- Bowman, Shayne Willis, Chris, We Media. Media Center at The American Press Institute. Stanford California, 2003. URL: <http://bit.ly/cQJNe> [viewed 22 June 2016].

การพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา

Commercial Electronic Website Development Ranking using Search Engine Marketing Techniques

อัชมาพร กว่างสวัสดิ์,¹ วีระชัย คอนจอหอ,² ปรัชญนันท์ นิลสุข,³ ปานจิตต์ หลงประดิษฐ์⁴

Achaporn Kwangsawad,¹ Veerachai Konjoho,² Prachyanun Nilsook,³ Panchit Longpradit⁴

Received: 25 April 2016 ; Accepted: 31 August 2016

บทคัดย่อ

จากปัญหาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ไม่ถูกจัดอันดับจากการแสดงผลลัพธ์ของเครื่องมือค้นหาในหน้าแรก ทำให้เสียโอกาสทางธุรกิจ เนื่องจากพฤติกรรมผู้ท่องอินเทอร์เน็ตนิยมใช้เครื่องมือค้นหามากกว่าจดจำชื่อเว็บไซต์ จากสภาพปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตลาดของเครื่องมือค้นหา 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1) โมเดล เคเอสซีแอลเอสจี สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ 2) เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาตามโมเดล (cosmeticsherbal.com) 3) แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 385 คน ได้จากประชากรผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วไป เก็บข้อมูลโดยใช้แบบประเมิน สถิติที่ใช้ ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) การพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ใช้สถาปัตยกรรมเว็บเชิงความหมาย ที่ตอบสนองกับอุปกรณ์ โดยเว็บไซต์สามารถตรวจจับหน้าจอและปรับขนาดและแสดงผลให้เหมาะสมตามหน้าจออัตโนมัติ และมีผลต่อการจัดอันดับของเครื่องมือค้นหา 2) ประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีการตลาดของเครื่องมือค้นหา ส่งผลต่อการจัดอันดับของเว็บไซต์ติดหน้า 1 ในเครื่องมือค้นหาทุกเครื่อง คิดเป็นร้อยละ 53.63 พร้อมทั้งติดอันดับ 1-5 ในหน้า 1 ร้อยละ 49.09 ของคำค้นหาที่เข้ามาถึงเว็บไซต์ทั้งหมด 330 คำ 3) ผลความพึงพอใจต่อเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ภาพรวมอยู่ในระดับพึงพอใจมาก เมื่อพิจารณาทางด้านพบว่า ด้านประสิทธิภาพ ค่าเฉลี่ย 4.49 ด้านส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ค่าเฉลี่ย 4.47 ด้านประโยชน์การใช้งาน ด้านเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ค่าเฉลี่ย 4.41 ด้านความถูกต้อง ค่าเฉลี่ย 4.37 และ ด้านความปลอดภัย ค่าเฉลี่ย 4.19 ตามลำดับ จากการวิจัยครั้งนี้ ได้เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา ที่สามารถนำไปใช้กับการพัฒนาเว็บไซต์ที่ต้องการให้ได้รับการจัดอันดับหน้า 1 ของ เครื่องมือค้นหา ในรูปแบบอื่นได้ และสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันทางธุรกิจ เนื่องจากทำให้มีจำนวนผู้เข้าชมเว็บไซต์มากขึ้น และส่งผลให้มีการซื้อขายสินค้าได้มากขึ้นด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ: เว็บไซต์การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ การจัดอันดับ เครื่องมือค้นหา การตลาดของเครื่องมือค้นหา

Abstract

Commerce electronic websites not ranked on the first page of a search engine result in lost business opportunities because surfers prefer to use one search engine rather than remember individual website names. This research aimed to 1) develop the ranking of commercial electronic websites using search engine marketing techniques, 2) evaluate the marketing steps of the search engine and 3) evaluate the satisfaction of commercial electronic website users. Research tools consisted of 1) the KSCLSG Model for commercial electronic website efficiency improvement,

¹ นิสิตปริญญาเอก, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์, ⁴อาจารย์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 76000

¹ Doctor degree student, ²Asst.Prof., ³Assoc. Prof., ⁴Lecturer, Faculty of Information Technology, Phetchaburi Rajabhat University, 76000.

E-mail: achaporn@hotmail.com

2) commercial electronic website development following the model (cosmeticsherbal.com), and 3) a questionnaire to evaluate the satisfaction of commercial electronic website users. The sample was 385 internet users. Data was collected using a questionnaire survey and evaluated using statistics as percentage, average and standard deviation (S.D.). The results indicated that 1) commercial electronic website development used Semantic Web Architecture which responded to gadgets, as website can detect screen settings, adjust size and automatically select a suitable screen to maximize ranking of the search engine, 2) the marketing step of search engine efficiency reflect the ranking as the first website on Google at 53.63%, with rank 1-5 of the first page at 49.09% for searching 330 words, 3) overall user satisfaction of commercial electronic website was good with efficiency marked at 4.49, user contact 4.47, benefit to user 4.41 accuracy 4.37 and safety 4.19. The ranking of commercial electronic websites was affected by the marketing technique of search engines. Those who used first page website development had a greater chance of creating business opportunity over other search engines from both new and established users.

Keywords: Commercial Electronic Website, Ranking, Search Engine, Search Engine Marketing

บทนำ

การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (Commercial Electronic) เป็นการดำเนินกิจกรรมทางธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็น กิจกรรมทางการตลาด การบริการแก่ผู้บริโภคผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้การบริหารทางธุรกิจมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยเว็บไซต์ เป็นการเพิ่มช่องทางส่งเสริมการขายสินค้าและบริการ ซึ่งเป็นวิธีการโปรโมทสินค้าที่มีต้นทุนต่ำ และสามารถแข่งขันกับธุรกิจขนาดใหญ่ได้ อีกทั้งส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กรให้มีความทันสมัย น่าเชื่อถือมากขึ้น และเสริมสร้างธุรกิจให้มีความเข้มแข็ง ซึ่งตอบสนองสังคมในปัจจุบัน ที่เป็นสังคมแห่งข้อมูลข่าวสาร ลูกค้าสามารถซื้อสินค้าหรือบริการผ่านเว็บไซต์ได้ตลอด 24 ชั่วโมง¹ โดยสามารถทำการสืบค้นหาผ่านระบบเครื่องมือค้นหา (Search Engine) เช่น กูเกิลบิงยาฮูที่มีอิทธิพลต่อชีวิตประจำวันของกลุ่มผู้ใช้ที่ท่องอินเทอร์เน็ตเป็นอย่างยิ่ง กูเกิลเป็นเครื่องมือค้นหาที่คนไทยนิยมใช้ในการสืบค้นข้อมูลมากเป็นอันดับแรก เนื่องจากมีข้อมูลที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้มากกว่า จนได้รับขนานนามว่า ถ้าไม่ทราบอะไรให้ถามกูเกิล ซึ่งข้อความที่ใช้ถามเป็นสิ่งสำคัญกับ ผู้พัฒนาเว็บไซต์ เพราะต้องมีข้อความหรือเนื้อหาในเว็บไซต์ เพื่อให้เครื่องมือค้นหาอย่างกูเกิล แสดงผลการค้นหาให้ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต เลือกเพื่อคลิกเข้าชมเว็บไซต์ต่อไป และเนื่องจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มีขนาดใหญ่ มีการเชื่อมโยงระบบคอมพิวเตอร์ทั่วโลกเข้าด้วยกัน ทำให้มีการกระจายข่าวสารข้อมูลจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้โดยไม่จำกัดระยะทาง อีกทั้งสามารถเผยแพร่ข้อมูลได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ข้อความ ภาพ เสียง ซึ่งในปัจจุบันองค์กรต่างๆ ในภาครัฐและเอกชน มีเว็บไซต์เพื่อเป็นเครื่องมือในการประชาสัมพันธ์ข้อมูลข่าวสาร ในภาคธุรกิจใช้ในการประชาสัมพันธ์ขายสินค้าผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเป็นจำนวนมากขึ้นทุกวัน แต่ใช้ว่ามีเว็บไซต์แล้วจะถือว่าเป็นประสบความสำเร็จใน

การทำธุรกิจ หากไม่มีผู้เข้าชมเว็บไซต์ ก็ไม่ได้เกิดประโยชน์แต่อย่างใด

การทำการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา (Search Engine Marketing :SEM) เป็นรูปแบบหนึ่งของการทำการตลาดบนโลกออนไลน์ ที่ใช้ในการประชาสัมพันธ์เว็บไซต์ให้สามารถค้นหาหน้ารายละเอียดของการโฆษณา หรือหน้าเว็บไซต์หนึ่งได้อย่างรวดเร็วด้วยวิธีใดๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการพบเห็นในผลลัพธ์ของเครื่องมือการค้นหา (Search Engine Result Pages :SERPs)² โดยการพิมพ์คำค้นหา (keyword) หรือเลือกดัชนีที่สนใจ โดยผู้ทำการตลาดสามารถคัดเลือกคำเฉพาะหรือ หมวดหมู่ที่เฉพาะเจาะจงเพื่อให้ตรงกับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายได้อย่างเหมาะสม ซึ่งถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญในการนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการตลาดอย่างยิ่ง การทำการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องมือค้นหา (Search Engine Optimization : SEO) เป็นกระบวนการปรับแต่งเว็บไซต์ให้ปรากฏอยู่ในตำแหน่งที่ดีที่สุดของผลการค้นหา ด้วยคำสำคัญ (keyword) ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ หรือ บริการ 2) การโฆษณาประชาสัมพันธ์เว็บไซต์กับเครื่องมือค้นหา (Pay Per Click: PPC) เป็นการโฆษณาประชาสัมพันธ์เว็บไซต์ในอินเทอร์เน็ตอีกรูปแบบหนึ่ง โดยอาศัยหลักการของเครื่องมือค้นหา กับจำนวนคนที่คลิกเข้ามายังเว็บไซต์ ผ่านเว็บไซต์ของผู้ให้บริการ เช่น กูเกิล (Google) ยาฮู (Yahoo) ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายให้กับผู้ให้บริการ ต่อเมื่อมีผู้ใช้อินเทอร์เน็ต คลิกลิงก์ หรือแบนเนอร์เพื่อเข้าชมเว็บไซต์ ตามราคาที่ตกลงไว้ แต่ถ้าไม่ได้คลิกลิงก์ก็ไม่ต้องเสียค่าบริการแต่อย่างใด โดยวิธีนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) แบบอัตราคงที่ (Paid Placement) เป็นการจ่ายค่าโฆษณาตามอัตราคงที่ 2) แบบอัตราส่วน (Paid Inclusion) เป็นการจ่ายค่าโฆษณาตามอัตราส่วน เช่น จ่ายตาม

จำนวนที่ลูกค้าคลิก ซึ่งวิธีดังกล่าว เป็นการโฆษณาประชาสัมพันธ์เว็บไซต์ที่สะดวกรวดเร็ว และตรงกับความต้องการมากที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องมือค้นหา (Search Engine Optimization :SEO) มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มจำนวนผู้เข้าชมชมเว็บไซต์โดยเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเว็บไซต์สำหรับประชาสัมพันธ์สินค้าและบริการ ซึ่งปัจจุบันมีเว็บไซต์เพิ่มมากขึ้นเป็นทุกวันบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และจากพฤติกรรมผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ต นิยมใช้เครื่องมือค้นหาเป็นโปรแกรมที่ผู้ท่องอินเทอร์เน็ตต้องใช้เป็นอันดับแรก เพื่อค้นหาข้อมูลที่ต้องการ เป็นช่องทางในการสืบค้นแหล่งข้อมูลที่สำคัญของการซื้อขายสินค้าและบริการ โดยคิดเป็นร้อยละ 71 จึงถือว่ามีอิทธิพลต่อผู้ท่องอินเทอร์เน็ตเป็นอย่างมากยิ่งถ้าทำธุรกิจในรูปแบบพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-commerce) แล้วถ้าหากเว็บไซต์ไม่ถูกจัดอันดับ ด้วยผลการค้นหาของเครื่องมือค้นหาในหน้าแรก จากการสืบค้นข้อมูลของผู้ท่องอินเทอร์เน็ตแล้ว จะทำให้เว็บไซต์ดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่มีผู้เข้าชมเว็บหรือมีก็น้อย เพราะผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตไม่จดจำชื่อเว็บไซต์ นิยมสืบค้นหาข้อมูลผ่านโปรแกรมค้นหามากกว่า เพราะสะดวกสบาย อีกทั้งในระบบเครื่องมือค้นหาที่มีเครื่องมือช่วยในการค้นหาให้เร็วขึ้นถ้าพิมพ์คำค้นหา (Keyword) ที่ผิดหรือสะกดคำผิดระบบก็จะแนะนำคำค้นหาที่ถูกให้กับผู้ใช้ให้เลือกใช้ตามความต้องการ เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ช่วยให้ผู้ที่ต้องการซื้อและต้องการขายได้พบกันได้ง่ายขึ้น ถือว่ามีความจำเป็นและความสำคัญอย่างยิ่งในการทำธุรกิจในปัจจุบัน³ และแนวโน้มของการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา (SEM) จะได้รับความนิยมมากขึ้น โดยใช้วิธีการปรับแต่งเว็บไซต์ให้เหมาะสมกับ เครื่องมือค้นหาที่ได้ผลที่ดีและยั่งยืนกว่า อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่ามาก แต่เป็นวิธีการที่ต้องใช้ความรู้และประสบการณ์ในการพัฒนาเว็บไซต์ให้สามารถทำงานสอดคล้องกับขั้นตอนวิธีของเครื่องมือค้นหาได้เป็นอย่างดี

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยมีแนวคิดใน พัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา และเพื่อให้เว็บไซต์มีประสิทธิภาพในการแสดงผลของระบบเครื่องมือค้นหา ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญของการพัฒนาเว็บไซต์ในองค์กรที่ต้องการให้มีผู้เข้าชมมากขึ้น และสร้างโอกาสทางธุรกิจ

วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา
- 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตลาดของเครื่องมือค้นหา

- 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ประกอบด้วย

1. โมเดล เคเอสซีแอลเอสจี สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์
2. เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา คือ cosmeticsherbal.com
3. โปรแกรมเก็บสถิติของเว็บไซต์ Stat Press Visitors และ Google Analytics
4. แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์

วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหาโดยมีกระบวนการวิจัยดังนี้คือ

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วไป เนื่องจากเป็นประชากรที่มีขนาดใหญ่ (infinite population) จึงได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยมี จำนวน 385 ตัวอย่าง การเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้กำหนดวิธีคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง โดยการสอบถามออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ cosmeticsherbal.com ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2559- 22 กุมภาพันธ์ 2559

เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ส่งผลกระทบต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหาพัฒนาตามโมเดลดัง (Figure 1) ซึ่งรายละเอียด โมเดล เคเอสซีแอลเอสจี ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

ส่วนที่ 1 เว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถทำธุรกรรมซื้อขายสินค้าผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งระบบดังกล่าวสามารถ จัดการข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า จัดการรูปแบบการชำระเงิน จัดการรายงานการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า และ ส่วนของลูกค้า ทำการสั่งซื้อสินค้าได้⁴

ส่วนที่ 2 ส่วนการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา (Search Engine Marketing) เป็นรูปแบบหนึ่งของการตลาดบนโลกออนไลน์ ที่ใช้ในการประชาสัมพันธ์ เว็บไซต์ให้สามารถค้นหาหน้ารายละเอียดของการโฆษณา หรือเว็บไซต์นี้ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถในการพบเห็นในผลการค้นหา (SERPs) หรือ Search Engine Result Pages) โดยการพิมพ์คำสำคัญ (Keyword) ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีความสำคัญใน

การนำมาใช้ประโยชน์เพื่อการตลาด การทำให้เว็บไซต์ติดอันดับผลการค้นหาด้วยคำสำคัญ (Keyword) โดยเฉพาะ 1 ใน 10 อันดับแรก หรือการติดตั้งโฆษณาใดๆ บนหน้าแสดงผลการค้นหา มีผลต่อการเข้าเยี่ยมชมเว็บไซต์เป็นอย่างมาก โดยการทำการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา ในงานวิจัยนี้ได้นำกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องมือค้นหา (Search Engine Optimization: SEO) มาใช้เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายโดยมีส่วนประกอบได้แก่

ประสิทธิภาพของคำสำคัญ (Keyword Optimization) เป็นการวิเคราะห์คำสำคัญ ที่จะมาใช้ในเว็บไซต์ การวิเคราะห์แนวโน้มการค้นหาจากเครื่องมือค้นหาของกูเกิ้ลเพื่อให้ทราบถึงคู่แข่งของคำสำคัญแต่ละคำ โดยคำที่ตั้งต้นต้องสอดคล้องกับสินค้าและเนื้อหาในเว็บไซต์ที่พัฒนา

ประสิทธิภาพของโครงสร้างเว็บไซต์ (Structure Optimization) เป็นการปรับแต่งในส่วนโครงสร้างเว็บไซต์ จัดทำแผนผังเว็บไซต์ (sitemap) ช่วยให้เครื่องมือค้นหา (Search Engine) ทำการเก็บดัชนี (index) ข้อมูลของเว็บไซต์ได้อย่างรวดเร็วอีกทั้งดำเนินการ ชั้บมีท (Submit) เป็นการแจ้งที่อยู่เว็บไซต์ ให้กับโปรแกรมค้นหา รับรู้ว่ามีเว็บไซต์ใหม่ และชั้บมีทกับกลุ่มโซเชียลเน็ตเวิร์ค และทำเว็บไซต์ให้เป็นรูปแบบตอบสนองกับอุปกรณ์ (Responsive)

ประสิทธิภาพของเนื้อหา (Content Optimization) เนื้อหาในเว็บไซต์ต้องมีคุณภาพ และมีคำสำคัญ ในส่วนของเนื้อหาการเขียนเนื้อหาในเว็บไซต์ต้องมีการจัดทำหัวเรื่องในส่วนของป้ายหัวเรื่อง (Heading)

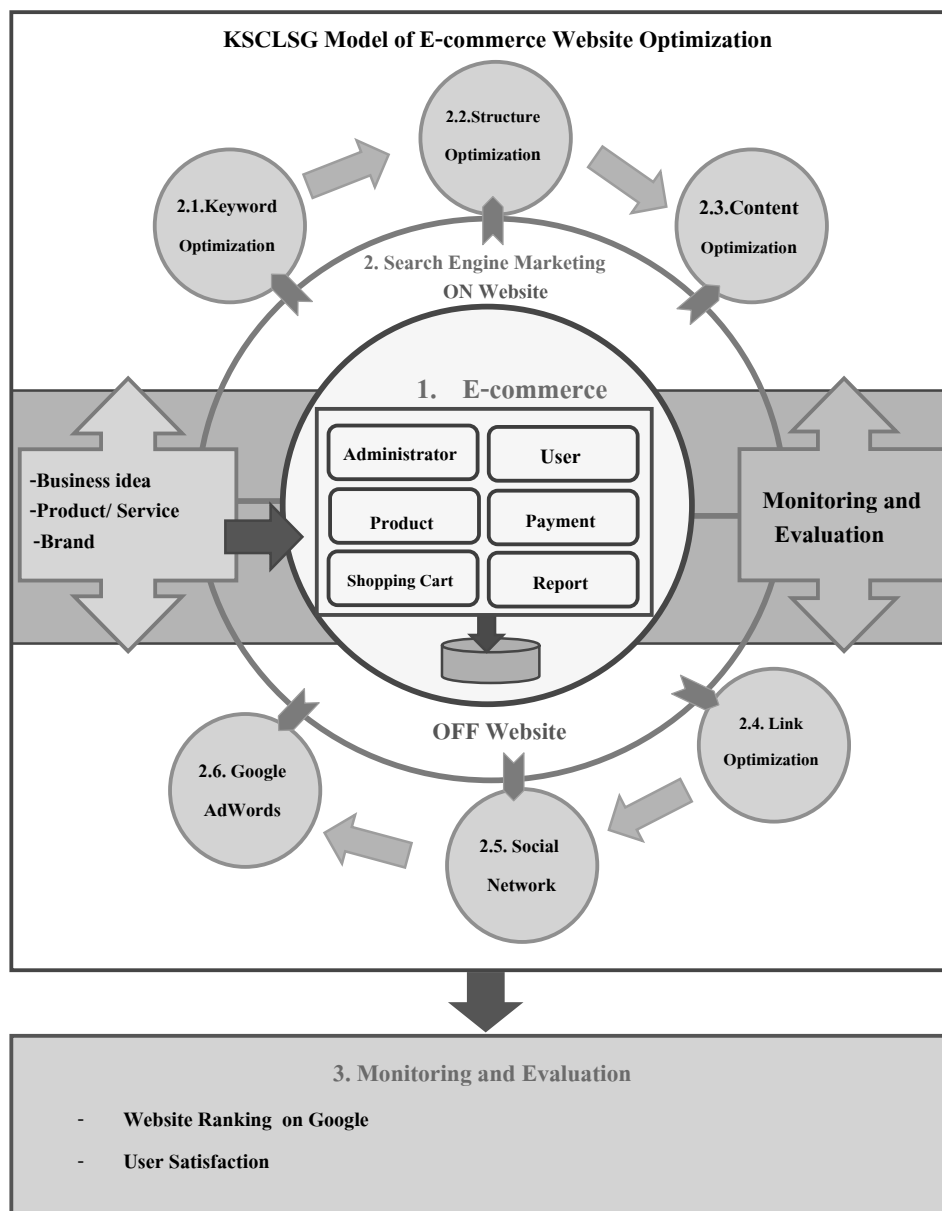


Figure 1 KSCLSGModel of E-commerce WebsiteOptimization

เนื้อหาแต่ละหน้าจัดทำ ป้ายหัวเรื่องได้ตั้งแต่ป้ายหัวเรื่องที่ 1 (Heading tag 1) ถึง ป้ายหัวเรื่องที่ 6 (Heading tag 6) เนื้อหาเว็บไซต์ต้องมีคุณภาพ เพื่อให้ผู้ที่สนใจอ่านข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า ถ้าใช้เวลาให้อ่านนาน แสดงถึงข้อมูลในเว็บมีคุณภาพ ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ ดังนั้นการเขียนเนื้อหาต้องมีคำสำคัญ ตรงกับคำค้นหาของผู้ใช้ อีกทั้งทำให้ผู้ใช้ทำการคลิกเข้าชมเนื้อหาในเว็บ

ประสิทธิภาพของลิงค์ (Link Optimization) เป็นการสร้างลิงค์จากภายนอก เพื่อไปยังเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยการนำชื่อเว็บไซต์ไปลงทะเบียนกับเว็บไซต์ใดก็ตามที่ด้วยการฝากข้อความซึ่งข้อความดังกล่าวควรเป็นคำสำคัญ (Keyword) และอีกรูปแบบหนึ่งคือ การสร้างเว็บโปรโมท (Website Promote) โดยการสร้างเว็บไซต์เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าของเว็บหลักที่เป็นเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำลิงค์ข้อความมายังเว็บไซต์หลัก

การโปรโมทผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (Social Network) เป็นรูปแบบการตลาดแบบไวรัล (Viral) ซึ่งใช้วิธีบอกต่อไปเรื่อยๆ ผ่านสื่อสังคมออนไลน์เป็นสื่อกลาง โดยการแชร์บอกต่อให้กับคนอื่นทราบได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสร้างความน่าเชื่อถือมากกว่าการโฆษณาแบบอื่นๆ และมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้ามากพอสมควร เช่น การสร้างแฟนเพจในเฟสบุ๊ค (Facebook Fan Page) กูเกิ้ลพลัส (Google+) ทวิตเตอร์ (Twitter) ไลน์ (Line) เป็นต้น

การลงโฆษณาด้วยกูเกิ้ลแอดเวิร์ด (Google Adword) เป็นการสร้างโฆษณาโดยใช้คำสำคัญ ให้ตรงกับคำค้นหากับกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ที่จะปรากฏในหน้าผลการค้นหากูเกิ้ล ด้านบนสุด 3 อันดับแรก ด้านขวาสุด และด้านล่าง โดยต้องจ่ายค่าโฆษณาให้กับ กูเกิ้ล ในรูปแบบการประมูลในการคัดเลือกแสดงโฆษณาในที่ต่างๆ

ส่วนที่ 3 การประเมินผลเว็บไซต์ด้วยการจัดอันดับจากเครื่องมือค้นหากูเกิ้ลและประเมินประสิทธิภาพขั้นตอนส่วนวิธีการตลาดของเครื่องมือค้นหา ด้วยการใช้วิเคราะห์จากสถิติการใช้งานเว็บไซต์ และการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ผลการวิจัย

โดยผลวิจัยได้พัฒนาเว็บไซต์ตามโมเดล เคเอสซีแอล เอสจีตั้ง (Figure 2) เว็บ Cosmeticsherbal.com ในส่วนของประสิทธิภาพของคำสำคัญ ผู้วิจัยสร้างคำสำคัญ 2 กลุ่มคือ 1) กลุ่มคำสำคัญที่ความหมายแบบกว้าง (Widely Keyword) ซึ่งเป็นคำสำคัญเกี่ยวกับธุรกิจ ซึ่งกลุ่มคำดังกล่าว จะมีผลการค้นหาในกูเกิ้ล ปริมาณการค้นหาใน Google จะมากเช่น

Table 1 Google Results of Widely Keyword

คำสำคัญ	ปริมาณการค้นหาในกูเกิ้ล
เครื่องสำอางสมุนไพรไทย	1,450,000 รายการ
สินค้า OTOP	1,500,000 รายการ
ผลิตภัณฑ์ความงาม	508,000 รายการ
ผลิตภัณฑ์น้ำมันมะพร้าวสกัดร้อน	479,000 รายการ

2) กลุ่มคำสำคัญแบบเฉพาะเจาะจง (Long Tail Keyword) คือเป็นคำสำคัญที่เกี่ยวกับสินค้าแต่ละรายการ เช่น

Table 2 Google Results of Long tail Keyword

คำสำคัญ	ปริมาณการค้นหาในกูเกิ้ล
แชมพูและครีมนวดมะกรูดผสมว่านหางจระเข้	37,000 รายการ
แชมพู ดอกอัญชัน ผสมบอระเพ็ด	19,000 รายการ
แชมพูสมุนไพรขิงผสมบอระเพ็ด	28,600 รายการ

ในส่วนของคุณภาพของโครงสร้างเว็บไซต์ ผู้วิจัยได้ทำแผนผังเว็บไซต์ ชับมิติ และจัดทำเว็บไซต์ให้มีรูปแบบตอบสนองกับอุปกรณ์ (Responsive) ดัง (Figure 3)

ในส่วนของคุณภาพของเนื้อหา ในเว็บไซต์ จะเขียนเนื้อหาที่มีคุณภาพโดยมี 6 หัวเรื่อง ทุกเว็บเพจ และในเนื้อหาจะแทรกคำสำคัญ (Keyword) ที่ได้สร้างไว้ 2 กลุ่มคือ ในส่วนของ H1-H3 จะแทรกคำสำคัญแบบเจาะจงเกี่ยวกับสินค้า และในส่วนของ H4-H6 จะแทรกคำสำคัญแบบกว้างเกี่ยวกับธุรกิจ โดยดำเนินการเขียนเนื้อหาทั้งหมด 300 โปส

ประสิทธิภาพของลิงค์ ผู้วิจัยได้สร้างเว็บโปรโมท (Website Promote) จำนวน 18 เว็บไซต์ โดยมีเนื้อหาการประชาสัมพันธ์สินค้า 3 กลุ่ม คือ 1) กลุ่มเนื้อหาโปรโมทเกี่ยวกับสมุนไพร 6 เว็บ 2) กลุ่มเนื้อหาความงามและสุขภาพ 6 เว็บ และ 3) กลุ่มเว็บไซต์เนื้อหาเกี่ยวกับท่องเที่ยว 6 เว็บ

เมื่อลูกค้าสนใจซื้อสินค้า จะคลิกลิงค์มายังเว็บหลัก (cosmeticsherbal.com) ผลปรากฏว่าจำนวนการเข้าชมเว็บโปรโมททั้ง 3 กลุ่ม กลุ่มเว็บเนื้อหาเกี่ยวกับความงาม มีจำนวนการเข้าชมเนื้อหามากที่สุด แล้วคลิกมายังเว็บ Cosmeticsherbal.com เพื่อสั่งซื้อสินค้า คิดเป็นร้อยละ 52 เนื้อหาเกี่ยวกับสมุนไพร มีผู้เข้าชมแล้วคลิกมายังเว็บหลักเพื่อสั่งซื้อสินค้า ร้อยละ 38 และ เนื้อหาท่องเที่ยว ร้อยละ 10 ดัง (Figure 4)

การโปรโมทผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแฟนเพจในเฟสบุ๊ค กูเกิ้ลพลัสทวิตเตอร์ และ

อินสตาร์แกรม เพื่อประชาสัมพันธ์สินค้าผ่านช่องทางดังกล่าว แล้วสร้างลิงค์กลับมายังเว็บหลัก ปรากฏว่า มีจำนวนผู้เข้าชม

แฟนเพจในเฟสบุ๊ค แล้วคลิกมายังเว็บหลัก (Cosmeticsherbal.com) มากที่สุดจำนวน 493 เซสชันดัง (Figure 5)

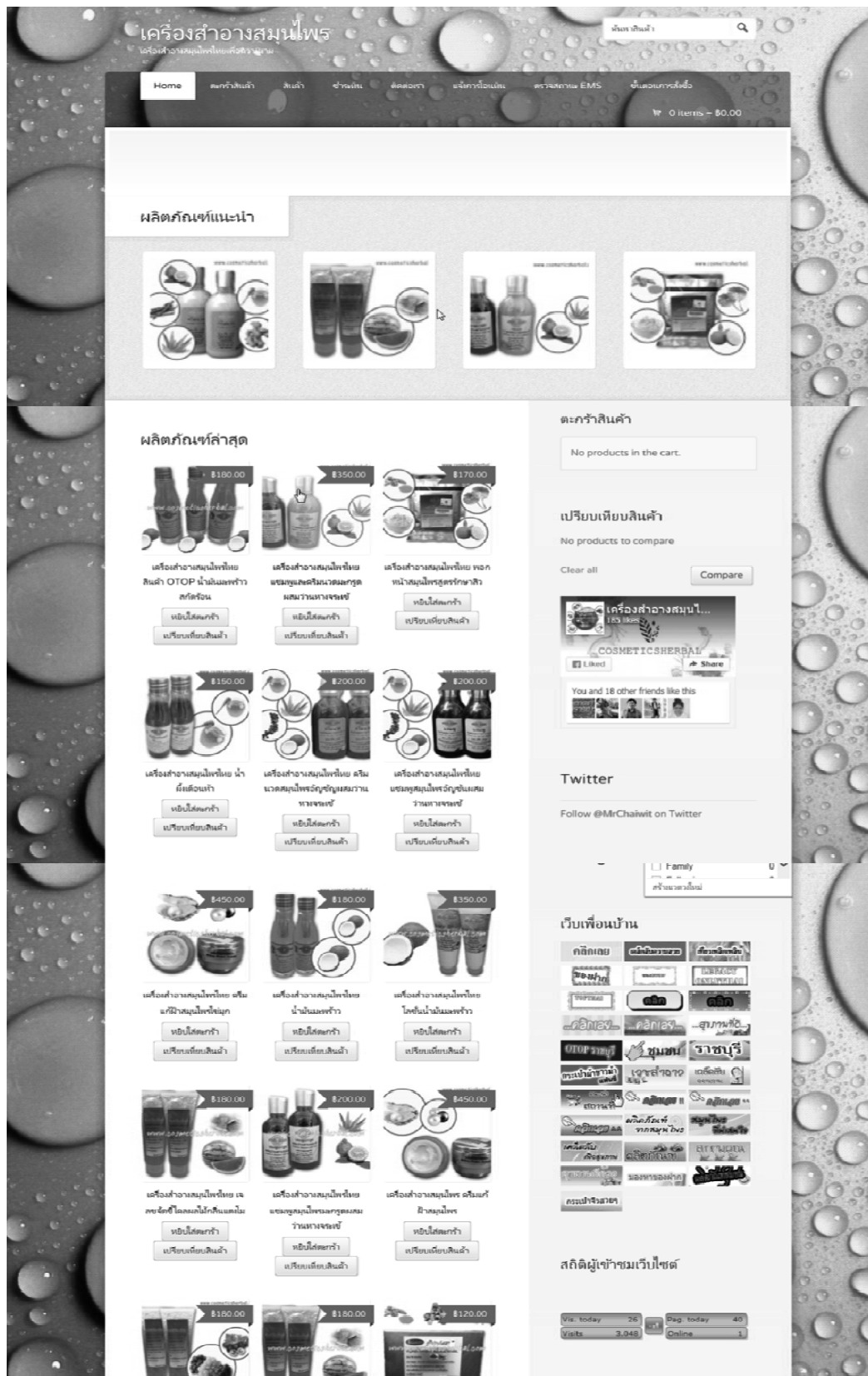


Figure 2 E-commerce website isCosmeticsherbal.com



Figure 3 Website Responsive on Mobile

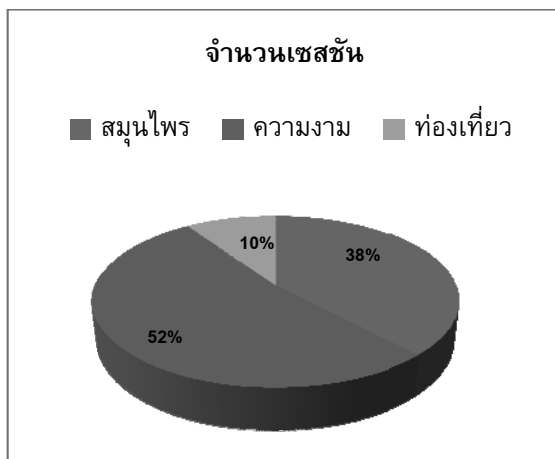


Figure 4 Link of website Promote

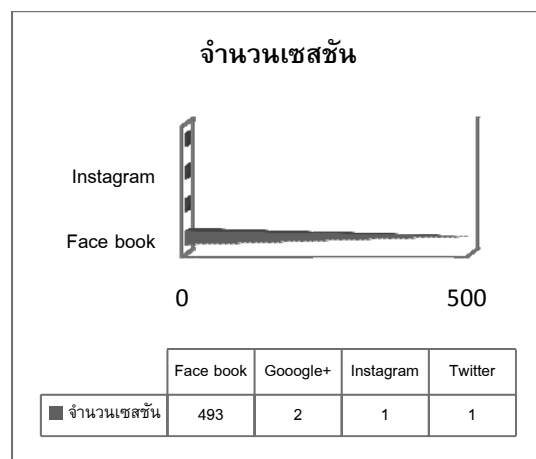


Figure 5 Social Network Section

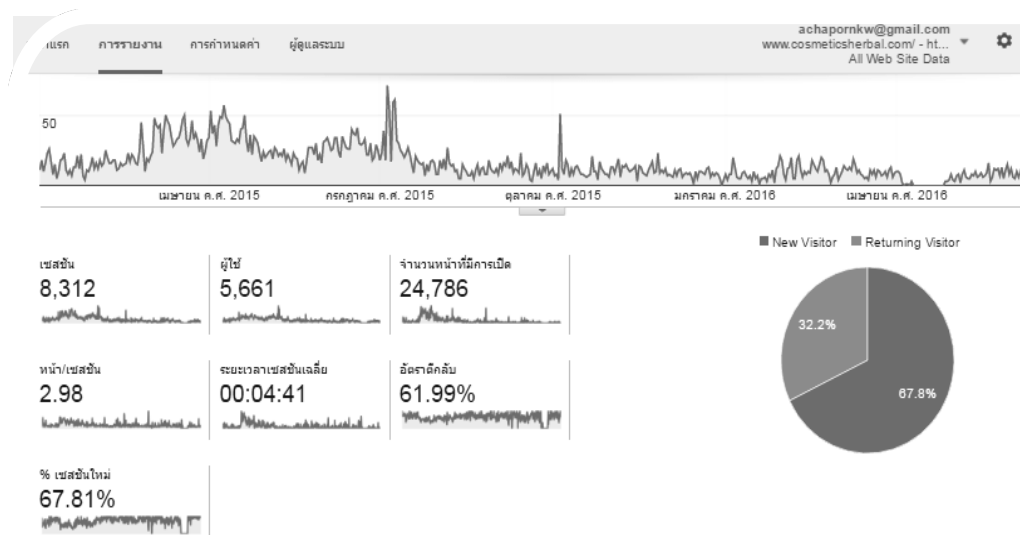


Figure 6 Statistical on Google Analysis of Cosmeticsherbal.com



Figure 7 Cosmeticsherbal.com Ranking of keyword on Google.co.th

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผลจากการประเมินประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการตลาดของเครื่องมือค้นหา ด้วยการวัดจากประสิทธิภาพคำสำคัญ (Keyword Optimization) โดยการเก็บข้อมูลสถิติการใช้งานเว็บไซต์ จากโปรแกรมกูเกิ้ลอานาไลติก (Google Analytics) ดัง Figure 6 มีผู้ใช้งานทั่วไปสืบค้นหาข้อมูลผ่านเครื่องมือค้นหา แล้วทำการคลิกมายังเว็บไซต์ Cosmeticsherbal.com เพื่อเข้าชมเว็บไซต์หรือ ซื้อสินค้า มีจำนวนคำสำคัญที่เข้ามาในเว็บไซต์ทั้งหมด 330 คำ และเมื่อนำความสำคัญดังกล่าวมาสืบค้นผ่านเครื่องมือค้นหากูเกิ้ล แล้ว ทำให้เว็บไซต์ Cosmeticsherbal.com ติดหน้า 1 ดัง (Figure 7) มีจำนวน 177 คำ คิดเป็นร้อยละ 53.63 และเมื่อพิจารณาเฉพาะ 177 คำที่ติดอันดับที่ 1-5 หน้า 1 ของกูเกิ้ล มีทั้งหมด 162 คำ คิดเป็นร้อยละ 49.9 และส่วนมากคำสำคัญจะจัดอยู่ในประเภทแบบเจาะจง (Long Tail Keyword) ซึ่งเป็นคำเกี่ยวกับสินค้าแต่ละรายการ เช่น “แชมพูดอกอัญชันผสมบระเพ็ด”, “แชมพูสมุนไพรชิงผสมบระเพ็ด” เป็นต้น

ซึ่งส่งผลต่อเว็บไซต์ Cosmeticsherbal.com ถ้าการจัดอันดับของเว็บไซต์ อยู่ในอันดับต้นๆ ทำให้สร้างโอกาสให้ผู้คลิกเข้าชมเว็บไซต์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li-Hsing and Other ทำวิจัยเรื่อง โปรแกรมเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับ

การตลาดอินเทอร์เน็ต กรณีศึกษา เว็บไซต์โรงแรม ถ้าผลการค้นหาแสดงผลหน้าที่ 1 อันดับที่ 1 ผู้ใช้งานนิยมคลิกเข้าชมเว็บไซต์ เป็นร้อยละ 42 หน้า 1 อันดับที่ 2 ผู้ใช้นิยมคลิกร้อยละ 12 หน้า 1 อันดับที่ 3 ผู้ใช้นิยมคลิกร้อยละ 8.5 ติดหน้า 2 ทั้งหมด 60 คำ คิดเป็นร้อยละ 18.18 ติดหน้า 3 ทั้งหมด 40 คำ คิดเป็นร้อยละ 12.12 จึงทำให้เว็บไซต์ดังกล่าวมีจำนวนสถิติผู้เข้าชมเว็บไซต์จำนวน 5,661 คน ดัง Figure 6

ผลของประสิทธิภาพของโครงสร้างเว็บไซต์ทำให้มีข้อมูลเกี่ยวกับเว็บไซต์ในกูเกิ้ลอินเด็กซ์ (Google Index) หมายถึงเครื่องมือค้นหากูเกิ้ล มาเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ Cosmeticsherbal.com ทั้งหมด 3,180 รายการ แสดงถึงข้อมูลในเว็บไซค์มีคุณภาพด้วยเช่นกัน เพราะถ้าหากไม่มีคุณภาพ Google จะลบข้อมูล index ออกจากฐานข้อมูล ทำให้รายการของเว็บไซต์ ลดลง และ ในขณะเดียวกันเว็บไซต์ดังกล่าวจัดทำเป็นตอบสนองกับอุปกรณ์มือถือ (Mobile Friendly) ซึ่งทำให้หน้าเว็บสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์มือถือ จะมีอันดับของเว็บไซต์ที่ดีขึ้นในผลการค้นหาของกูเกิ้ลสอดคล้องตาม Google Webmasters tools และในทางกลับกันหากไม่ได้มีหน้าเว็บไม่สามารถแสดงผลบนมือถือ หรือแสดงหน้าเว็บที่สร้างมาเพื่อจอใหญ่เท่านั้นจะทำให้อันดับตกลงอย่างชัดเจนในผลการค้นหามือถือ

ประสิทธิภาพของเนื้อหา (Content Optimization) เป็นเนื้อหาที่มีคุณภาพ และมีการแทรกคำสำคัญในเนื้อหา โดยมีกลุ่มคำสำคัญแบบกว้าง (Widely Keyword) เป็นคำเกี่ยวกับธุรกิจ มีผลการค้นหาปริมาณมาก และ คำสำคัญแบบเจาะจง (Long Tail Keyword) มีปริมาณการค้นหาน้อย แทรกไว้ในแต่ละส่วนของเนื้อหา เครื่องมือค้นหาจะให้ความสำคัญ หากเว็บไซต์ที่มีการจัดการ หัวเรื่อง (Heading tag) ซึ่งผู้วิจัยได้จัดการในส่วนหัวเรื่อง H1-H6 และในส่วนของ H1-H3 ใช้คำสำคัญแบบเจาะจง เกี่ยวกับสินค้า จึงส่งผลให้ คำค้นหาที่เข้ามาในเว็บไซค์เป็นคำเกี่ยวกับสินค้าเป็นจำนวนมากกว่าคำค้นหาแบบกว้างหรือเกี่ยวกับธุรกิจ แสดงให้เห็นว่า ถ้าผู้ใช้ค้นหาคำประเภทแบบเจาะจงเกี่ยวกับสินค้า จะทำให้เว็บติดอันดับต้นๆ ของกูเกิ้ลเพราะคำสำคัญดังกล่าว มีปริมาณการค้นหาน้อย หมายถึง มีคู่แข่งในกลุ่มคำดังกล่าวน้อยจึงทำให้สร้างโอกาสให้เว็บ Cosmeticsherbal.com ติดหน้า 1 และทำให้ผู้ใช้เข้าชมเว็บไซต์ได้มากขึ้น จึงมีคำสำคัญประเภทแบบเจาะจงเกี่ยวกับสินค้า เข้ามาในเว็บไซค์เป็นจำนวนมาก ในขณะเดียวกัน คำสำคัญแบบกว้างที่เกี่ยวกับธุรกิจ แทรกไว้ใน H4-H6 เป็นคำสำคัญ มีปริมาณการค้นหามาก ทำให้คู่แข่งมากด้วยเช่นกัน จึงทำให้เว็บไซต์ไม่ค่อยติดอันดับต้นๆ ของกูเกิ้ล ในกลุ่มคำสำคัญดังกล่าว ดังนั้นหากต้องการสร้างคำสำคัญ สำหรับ

ให้เว็บไซต์ถูกจัดอันดับต้นๆ ของเครื่องมือค้นหา جوجل จำเป็นต้อง กำหนดคำสำคัญแบบเจาะจง (Long Tail Keyword) ควรเจาะจงเกี่ยวกับสินค้า เช่น ชื่อสินค้า รายละเอียดสินค้า และควรแทรกคำดังกล่าวไว้ในส่วนของ H1-H3 เนื่องจากเป็นส่วนแรกที่ เครื่องมือค้นหาทำการตรวจสอบรายละเอียดของเนื้อหา ของเว็บไซต์

ประสิทธิภาพของลิงก์ จากการทดลองสร้างเว็บไซต์ โปรโมท 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเนื้อหาเว็บเกี่ยวกับสมุนไพร เนื้อหาเกี่ยวกับความงาม และเนื้อหาเกี่ยวกับการท่องเที่ยว จะเห็นได้ว่า เครื่องมือค้นหาจะให้ความสำคัญ ลิงก์ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาของเว็บ Cosmeticsherbal.com ซึ่งเกี่ยวกับสมุนไพร และเนื้อหาเกี่ยวกับความงาม จึงมี ลิงก์จาก เว็บความงาม 52% และ เว็บเกี่ยวกับสมุนไพร 38% ซึ่งทั้งสองกลุ่มจะเป็นเนื้อหาที่สอดคล้องกับเว็บ Cosmeticsherbal.com ดังนั้นการสร้างลิงก์เชื่อมโยงกับเว็บไซต์ นั้น เพื่อให้มีประสิทธิภาพ นั้นต้องมีเนื้อหาที่สอดคล้องกับเว็บหลักด้วยเช่นกัน เพราะไม่เช่นนั้นก็ไม่มีผลต่อการสร้างโอกาสให้กับเว็บไซต์ที่การทำโปรโมท แต่อย่างใด

การโปรโมทผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ผลจะเห็นได้ว่า มีจำนวนผู้เข้าชมเว็บไซต์ที่มาจากเฟซบุ๊ก มากที่สุด เพราะเนื่องจากพฤติกรรมการใช้งาน สื่อสังคมออนไลน์นิยมใช้ เฟซบุ๊ก จึงมีผลต่อการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคในกลุ่มที่ใช้ชีวิตส่วนใหญ่อยู่กับอินเทอร์เน็ต เพียงแค่เห็นกระทู้หรือข้อความที่คนอื่นเขียนเกี่ยวกับสินค้าไว้ในสื่อเฟซบุ๊กเท่านั้นก็สนใจสินค้าและบริการแล้ว ดังนั้นหากจะโปรโมทสินค้าผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ต้องพิจารณาถึงพฤติกรรมการใช้งาน ในกลุ่มลูกค้าเป้าหมายด้วยเช่นกัน สอดคล้องกับงานวิจัยของ อริสา ไวยเจริญ ท้าวิจัย เรื่อง รูปแบบการโฆษณาสินค้าประเภท FMCG บนสื่ออินเทอร์เน็ตที่มีผลต่อพฤติกรรมการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค ในเขตกรุงเทพมหานคร⁷

และเมื่อประเมินความสำเร็จจากการขายสินค้า ของเว็บไซต์ Cosmeticsherbal.com โดยเว็บไซต์ดังกล่าวขายสินค้าประเภทเครื่องสำอางผสมสมุนไพร เช่น ชมพู ครีมนวดผผ ครีมขัดผิว น้ำมันมะพร้าว เป็นต้น จากคำสำคัญดังกล่าว จำนวน 330 คำ ที่เข้ามาถึงเว็บไซต์ แล้วทำการส่งซื้อสินค้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นคำสำคัญที่เป็นชื่อสินค้า ที่ลูกค้า สนใจหรือต้องการซื้อสินค้า และจากการสังเกตจะพบว่าสินค้าประเภทของแชมพูและครีมนวดผผ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวกับความสวยความงามของเส้นผม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่ได้รับความนิยมสูง มีคำสำคัญ ด้วยคำว่า “แชมพูและครีมนวดผผกระตุ้นผมร่วงทางสระผม” “แชมพูสมุนไพรผสมบอระเพ็ด” ซึ่งคำดังกล่าวเป็นคำสำคัญ (Keyword) ที่ผ่านขั้นตอนวิธี

ประสิทธิภาพของคำสำคัญ (Keyword Optimization) เป็นการกำหนดคำสำคัญในเว็บไซต์ที่สอดคล้องกับสินค้า และมีเนื้อหาเว็บไซต์ที่มีคุณภาพ โดยมีเนื้อหาที่ตรงกับสินค้า และให้ข้อมูลที่ครบถ้วน สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xinjuan Zhu and Zhiqiang Tan ท้าวิจัยเรื่อง โปรแกรมวิเคราะห์คำสำคัญ เพื่อการปรับปรุงเว็บไซต์เพื่อให้มีประสิทธิภาพ⁸ และงานวิจัยของ Fuxue Wang, Yi Li and Yiwen Zhang ท้าวิจัยเรื่อง ศึกษาเทคนิคและผลลัพธ์ ของเสิร์ทเอ็นจินอินโฟพดีไมเซชัน⁷

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ โดยประเมินทั้งหมด 6 ด้านดังนี้ได้แก่ ด้านความถูกต้องของข้อมูล ด้านประโยชน์ของการใช้งาน ด้านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ด้านประสิทธิภาพในการใช้งาน ด้านความปลอดภัย และ ด้านเกี่ยวกับเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ปรากฏว่า ด้านประสิทธิภาพ ดีที่มีระดับพึงพอใจมากที่สุด เท่ากับ 4.49 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.84 และ ด้านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ค่าเฉลี่ย 4.47 ด้านประโยชน์การใช้งาน และ ด้านเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ค่าเฉลี่ย 4.41 ด้านความปลอดภัย ค่าเฉลี่ย 4.37 และ ด้านความปลอดภัย ค่าเฉลี่ย 4.19 ตามลำดับ

จาก (Figure 6) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานสถิติเว็บไซต์ ส่วนของเซสชัน จำนวนครั้งในการเข้าชมเว็บไซต์ มี 8,312 ครั้ง แสดงว่าเว็บไซต์มีคนที่ชื่นชอบมาก ผู้ใช้มี 5,661 คน เป็นจำนวนลูกค้าที่เข้ามาถึงเว็บไซต์ ซึ่งหมายถึงเว็บไซต์มีข้อมูลที่นำเสนอใจของลูกค้า จำนวนหน้าที่มีการเปิด 24,786 หน้า โดยมีค่าเฉลี่ยในการเปิดหน้าเว็บเพจต่อครั้งในการเข้าชมเว็บไซต์ เท่ากับ 2.98 หน้า และมีเวลาในการอ่านข้อมูลในเว็บไซด์ต่อหน้า 4 นาที 41 วินาที แสดงให้เห็นว่าเนื้อหาในเว็บไซด์ เป็นประโยชน์ต่อผู้เข้าชม จึงทำให้ใช้เวลาอ่านนาน และอัตราการกลับ (Bounce rate)⁵ 61.99% หมายถึงร้อยละของคนเข้ามาในเว็บไซด์แค่หน้าเดียวแล้วออกจากหน้านั้นไปทันที ไม่ได้คลิกเข้าไปยังหน้าอื่นๆ ต่อ คิดเป็นร้อยละ 61.99และร้อยละของผู้เข้าชมเว็บไซต์ใหม่ 67.81%

สรุป

การพัฒนาเว็บไซต์ ให้มีประสิทธิภาพ ไม่ได้หมายถึงมีเว็บไซต์อย่างเดียวกแต่อย่างใด เพราะถ้าหากเว็บไซต์ไม่แสดงผล บนผลลัพธ์ของเครื่องมือค้นหาในกูเกิ้ล แล้วทำให้เสียโอกาสในทางธุรกิจ ยิ่งถ้าเป็นเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากจุดประสงค์คือเพื่อขายผ่านทางเว็บไซต์ และที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งคือ ผู้ท่องอินเทอร์เน็ตในไทย นิยมสืบค้นข้อมูลผ่านทางเครื่องมือค้นหาอย่างกูเกิ้ล เป็นส่วนมากอีกทั้งในปัจจุบันเว็บไซต์ก็มีจำนวนมาก จึงไม่ค่อยจดจำชื่อเว็บไซต์ได้ ดังนั้น

จึงจำเป็นต้องพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ที่ส่งผลต่อการจัดอันดับด้วยเทคนิคการตลาดของเครื่องมือค้นหา ซึ่งมีสวนประกอบตามโมเดลเคเอสซีแอลเอสจี สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพของเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีผลต่อการจัดอันดับของเครื่องมือค้นหา ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนการพัฒนาเว็บไซต์พาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความสามารถในการขายสินค้าผ่านเว็บไซต์ได้ ส่วนการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา ซึ่งเป็นการเพิ่มความสามารถให้กับเว็บไซต์ให้ติดอันดับของผลลัพธ์หน้าเครื่องมือค้นหา (Search Engine Result Page) โดยในส่วนนี้มีขั้นตอนวิธี 6 วิธีคือ ประสิทธิภาพของคำสำคัญ (Keyword Optimization) เป็นส่วนที่ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะถ้าหาก ในเว็บไซต์ไม่มีคำสำคัญเพื่อบ่งบอกให้กับเครื่องมือค้นหา แล้วจะทำให้เสียโอกาสในการติดอันดับในเครื่องมือค้นหา อีกทั้งคำสำคัญดังกล่าวจำเป็นต้องวิเคราะห์คู่แข่ง ซึ่งในที่นี้หมายถึงปริมาณการค้นหาในเซิร์สเอ็นจินโดยเลือกปริมาณการค้นหา น้อยจะมีโอกาส ติดอันดับต้นๆ มากกว่า คำสำคัญที่มีปริมาณการค้นหามาก หรือมีคู่แข่งสูง และคำสำคัญต้องสอดคล้องกับเนื้อหาในเว็บไซต์ด้วย ในส่วนของประสิทธิภาพของโครงสร้างเว็บไซต์ (Structure Optimization) ก็มีความสำคัญมากด้วยเช่นกัน เนื่องจากหากเว็บไซต์ใดโครงสร้างไม่ดี ไม่มี sitemap และเว็บไซต์ไม่ตอบสนองกับอุปกรณ์มือถือ (Mobile Friendly) ทำให้อันดับของเว็บไซต์ตกด้วยในผลการค้นหาของกูเกิ้ลประสิทธิภาพของเนื้อหา (Content Optimization) ในส่วนของเนื้อหาจำเป็นต้องมีการคำสำคัญแทรกในส่วนนี้ด้วย และ ต้องมีการกำหนดหัวเรื่อง H1-H6 โดยปกติในส่วนของ H1 จะมีความสำคัญมากที่สุด และเรียงลำดับความสำคัญตามหมายเลข ดังนั้น ในแต่ละ Heading tag จะต้องมีคำสำคัญและมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับคำสำคัญดังกล่าว จะทำให้เว็บไซต์มีเนื้อหาที่มีคุณภาพ เพราะถ้าหากบอท (Robot) ของเสิร์จเอ็นจินเข้ามาเก็บข้อมูลรายการของเว็บไซต์ (Index) ถ้าข้อมูลในเว็บมีคุณภาพ ก็ทำให้มี Index เพิ่มขึ้น ในการโพสข้อมูลลงในเว็บไซต์ หรือไม่มีให้ข้อมูลของ Index ไม่ลดลงแต่อย่างใดในกรณีไม่ได้โพสข้อมูลลงในเว็บ แต่ถ้าหากเว็บเนื้อหาไม่มีคุณภาพ หรือ เนื้อหาซ้ำ เนื้อหาคัดลอกมาจากที่อื่น ก็จะทำให้ Index ลดลงด้วยเช่นกัน ในส่วนของประสิทธิภาพลิงค์ (Link Optimization) หากต้องการสร้างลิงค์เพื่อเชื่อมโยงกับเว็บไซต์ ต้องมีเนื้อหาสอดคล้องกับเว็บหลักด้วย เพราะไม่เช่นนั้นก็ไม่ส่งผลต่อการสร้างลิงค์แต่อย่างใด ทำการโปรโมทผ่านสื่อสังคมออนไลน์ (Social Network) ควรเลือกโปรโมทให้ตรงกับกลุ่มเป้าหมายของสินค้าและบริการ และความนิยมการใช้ของสื่อสังคมออนไลน์ ซึ่งปัจจุบันคนไทยนิยมใช้เฟสบุ๊ค (Facebook) มากที่สุด จึงเป็นช่องทางหนึ่งที่

ควรให้ความสำคัญในการโปรโมทสินค้าและบริการ ในการทำธุรกิจในปัจจุบัน และ ลงโฆษณากับกูเกิ้ลแอดเวิร์ด (Google Adword) ดังนั้นหากกลุ่มธุรกิจที่ต้องการให้เว็บไซต์ติดอันดับในหน้าของเครื่องมือค้นหา เพื่อสร้างโอกาสให้กับธุรกิจและสามารถแข่งขันกับธุรกิจขนาดใหญ่ได้และการพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีการทำการตลาดผ่านเครื่องมือค้นหา เพื่อตอบสนองพฤติกรรมผู้ท่องอินเทอร์เน็ต ในการสืบค้นข้อมูลผ่านเสิร์จเอ็นจินกูเกิ้ลได้

เอกสารอ้างอิง

1. กิตติ ภัคดีวิวัฒนะกุล. คัมภีร์การพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce). กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์แอน คอนซัลท์ ; 2547.
2. Marijana Vidas-Bubanja. Search Engine Marketing as key factor for Generating Quality online visitors. Paper Presented of the 33rd International Convention. 2010, May 24-28.
3. Li-Hsing and Other. The Application of Search Engine Optimization for Internet Marketing: An Example of the Motel Websites. Paper Presented at International Conference of computer and Automation Engineering (ICCAE). 2010, Feb 26-28.
4. Wang Fan. Value Research based on the Search Engine Optimization of E-commerce. Paper Presented at 2014 IEEE Workshop on Electronics Computer and Applications. 2014. May 8-9.
5. John B. Killoran. How to use Search Engine Optimization Techniques to Increase Website Visibility. IEEE Transaction on Professional communication, Vol. 56 No.1, March 2013.
6. Xinjuan Zhu and Zhiqiang Tan. Seo keyword Analysis and Its Application in website editing system. Paper Presented at International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WICOM) 2012 8th. 2012. Sept 21-23.
7. อริสรา ไวยเจริญ. รูปแบบการโฆษณาสินค้าประเภท FMCG บนสื่ออินเทอร์เน็ตที่มีผลต่อพฤติกรรมการตลาดออนไลน์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. 2556
8. Fuxue Wang, Yi Li and Yiwen Zhang. An Empirical Study on the Search Engine Optimization Technique and Its Outcomes. Paper Presented at International

Conference of Artificial Intelligence, Management Science and Electronic Commerce (AIMSEC) 2nd.2011.
Aug 8-10.

9. ภิเชก ชัยนรินทร์. Marketing Click :กลเม็ดเคล็ดลับการตลาดออนไลน์.กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดยูเคชั่น2552.

การพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล

Development of the Average of Water Stream Flow Prediction Models for Nakhonratsima Province using Data mining Techniques

มังกร เจนชัย^{1*}, จารี ทองคำ²

Mungskorn Janechai^{1*}, JareeThongkam²

Received: 22 August 2016 ; Accepted: 23 December 2016

บทคัดย่อ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีค่า และมีความสำคัญมากกับสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืชหรือสัตว์ แต่ละปีน้ำมีผลกระทบต่อชาวนาเป็นอย่างมากโดยเฉพาะจังหวัดนครราชสีมาซึ่งเป็นจังหวัดที่มีแม่น้ำหลายสาย มีการทำเกษตรกรรมจำนวนมาก การทราบถึงปริมาณน้ำได้ล่วงหน้าสามารถเป็นแนวทาง ช่วยในการบริหารจัดการปริมาณน้ำให้เพียงพอต่อการทำเกษตรกรรมในจังหวัดนครราชสีมา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาในช่วงฤดูฝนของเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม ของปี ค.ศ. 2012 ถึง 2015 ของจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้ 4 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลองคือ Artificial Neural Networks (ANN), linear regression (LR), Sequential Minimal Optimization for Regression (SMOreg) และ Radial basis function networks (RBFN) มาใช้ คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการ Sliding Window ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ เพื่อวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่า mean absolute error (MAE) และ root mean square error (RMSE) จากการศึกษพบว่า แบบจำลอง SMOreg มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมามากที่สุด

คำสำคัญ น้ำท่าเฉลี่ย อนุกรมเวลา เทคนิคเหมืองข้อมูล

Abstract

Water is a valuable natural resource and critical to all living things. Each year, water affects farmers especially in Nakhon Ratchasima province. Nakhon Ratchasima has many rivers used for planting agriculture. To know the amount of water in the rivers (called stream flow) in advance can assist Aquatic Toxicology officers manage supply and the amount of water stream flow. The objective of this research is to study and develop a stream flow prediction model for Nakhon Ratchasima during the rainy season between July and October 2012 – 2015. Four techniques including Artificial Neural Networks (ANN), linear regression (LR), Sequential Minimal Optimization for Regression (SMOreg) and Radial basis function networks (RBFN) were utilized to build the models. In order to evaluate the techniques, Sliding Window was employed to divide information into training and testing sets. The training set was used to build the modes while the testing set was used to evaluate the effectiveness of the models. The average mean absolute error (MAE) and root mean square error (RMSE) is the criteria to select the best technique. The experimental result showed that SMOreg model is superior to ANN LR and RBFN.

Keywords: Water Stream Flow, Time series, Model of Data Mining

¹ นิสิต, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150.

² อาจารย์ที่ปรึกษา, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

¹ Student Faculty of Informatics, Mahasarakham University, MahaSarakhm, Thailand, 44150.

² Advisors Faculty of Informatics, Mahasarakham University, MahaSarakhm, Thailand, 44150.

* Corresponding author: Tel: +66 088 1010036 Email address: kwangaew72@gmail.com

บทนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีค่า และมีความสำคัญมากกับสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นพืช หรือ สัตว์ จังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ใหญ่ เป็นอันดับสองของประเทศไทย เนื่องจากจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดที่ใหญ่ ทำให้ปริมาณน้ำส่งผลกระทบต่อคนในจังหวัดนครราชสีมา มากไม่ว่าจะเป็นน้ำท่วม หรือน้ำแล้ง เช่นในช่วงน้ำท่วม ส่งผลกระทบทางด้านน้ำท่วมบนถนนทำให้รถติด พืชผลทางการเกษตรได้รับน้ำมากเกินไปทำให้เกิดความเสียหาย สัตว์ที่เลี้ยงเป็นโรคที่เกิดจากน้ำ ในช่วงที่มีน้ำในจังหวัดมีปริมาณที่น้อย ก็ส่งผลกระทบเหมือนกัน ตัวอย่างน้ำในจังหวัดไม่พอใช้ ทำให้สัตว์ที่เลี้ยงไว้ขาดน้ำ พืชที่ปลูกขาดน้ำ ทำให้จังหวัดนครราชสีมาผลกระทบมากในเรื่องปริมาณน้ำเนื่องจากจังหวัดนครราชสีมาเป็นจังหวัดขนาดใหญ่ มีพื้นที่มากถึง 20,493.964 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 12,808,728 ไร่คิดเป็นร้อยละ 12.12 ของพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอำเภอทั้งหมด 32 อำเภอ มีแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญของจังหวัดนครราชสีมา 9 ลุ่มน้ำโดยมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 20,905 ตารางกิโลเมตรอำเภอที่ได้รับน้ำจากลุ่มน้ำได้แก่อำเภอยางชุมน้อย พิมาย ห้วยแถลง จักราช โนนสูง เมือง เสิงสาง ครบุรี โชคชัย ปักธงชัย สูงเนิน ปากช่อง ขามทะเลสอ สีคิ้ว โนนไทย ประทาย โนนแดง บัวใหญ่ ขามสะแกแสง คง แก้งสนามนาง บ้านเหลื่อมหนองบุญมาก รวม 23 อำเภอ มีแหล่งเก็บน้ำขนาดใหญ่ 5 แห่ง อย่างไรก็ตามผลกระทบจากน้ำก็ยังมีมาโดยตลอดในช่วงสามปีที่ผ่านมา

ในปี พ.ศ. 2556 จังหวัดนครราชสีมา¹ ประสบภัยแล้งรุนแรง จำนวน 26 อำเภอ 191 ตำบล 1,905 หมู่บ้านราษฎรประสบภัย 100,197ครัวเรือน พื้นที่การเกษตรเสียหาย 863,433 ไร่ โดยภาพรวมอำเภอที่มีตำบลตั้งแต่ 10 ตำบลขึ้นไปประสบภัยแล้งรุนแรง เช่น อ.ประทาย 13 ตำบล 147 หมู่บ้าน, อ.บัวใหญ่ 10 ตำบล 146 หมู่บ้าน, อ.คง 10 ตำบล 156 หมู่บ้าน, อ.ปักธงชัย 16 ตำบล 148 หมู่บ้าน, อ.ด่านขุนทด 14 ตำบล 108 หมู่บ้าน, อ.เมือง 12 ตำบล 66 หมู่บ้าน, อ.สีคิ้ว 11 ตำบล 65 หมู่บ้าน, อ.โนนไทย 10 ตำบล 131 หมู่บ้าน เป็นต้น เป็นพื้นที่ประสบภัยแล้งรุนแรงและอยู่ในโซนที่หนักที่สุด ส่วนอีก 6 อำเภอยังไม่มีการประกาศแต่อย่างใด เนื่องจากอยู่ระหว่างการสำรวจ ประกอบด้วย อ.ปากช่อง, พิมาย, ครบุรี, ขามทะเลสอ, ขามสะแกแสงและ เสิงสาง

ปี 2557 นครราชสีมาประกาศพื้นที่ภัยแล้ง 11 อำเภอ² จังหวัดนครราชสีมาประกาศภัยแล้งใน 11 อำเภอ จากทั้งหมด 32 อำเภอ 81 ตำบล 1 เทศบาล 884 หมู่บ้าน 16 ชุมชนราษฎรได้รับความเดือนร้อน 61,603 ครัวเรือนความเสียหายด้านการเกษตร 936,679 ไร่ ประกอบด้วยอำเภอบัวใหญ่ สูงเนิน

บัวลาย โนนแดง บ้านเหลื่อม ขามสะแกแสง สีดา ห้วยแถลง โนนสูงประทาย และอำเภอด่านขุนทด รวม 11 อำเภอซึ่งอยู่ในเขตลุ่มน้ำลำสะแกด เนื่องจาก 2,457 ตร.กม. ข้อมูลน้ำท่าเฉลี่ยมีการเก็บในรูปแบบของอนุกรมเวลา โดย ชนิดของข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าจุดข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับของเวลาก่อนหลัง ในการวิเคราะห์ข้อมูลอนุกรมเวลาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอาเทคนิคในเหมืองข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์เช่น

Soomlek, Kaewchainam, Simano และ So-In³ ได้นำเอาเทคนิค back propagation neural networks มาทำการประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ระดับน้ำ ที่สถานีวัด C.35 ตั้งอยู่ที่แม่น้ำเจ้าพระยา พระนครศรีอยุธยา ประเทศไทย โดยมีช่วงการพยากรณ์ระดับน้ำ 1-3 วัน ล่วงหน้าในแม่น้ำเจ้าพระยา ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เก็บรวบรวมใน ปี พ.ศ. 2551-2553 เป็นข้อมูลแบบอนุกรมเวลา จากสถานีวัดระดับน้ำ C.2 , C.13, C.35, C.36 และ C.37 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนาแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณระดับน้ำในแม่น้ำเพื่อเตือนภัยน้ำท่วม และทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดย Mean Squared Error (MSE) และผลการการคาดการณ์ระดับน้ำความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ถึง 90.1218 %

Mustafa และ Isa⁴ ประยุกต์ใช้ Radial Basis Function Neural Network เพื่อสร้าง Model ในการพยากรณ์ตะกอนแขวนลอย เพื่อระบายตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซียเป็นข้อมูลรายวันย้อนหลัง 5 ปี จัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลาของตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซีย ซึ่งข้อมูลได้จากการมลประทาน กรุงกัวลาลัมเปอร์ประเทศมาเลเซีย โดยแบ่งข้อมูล 70:30 ในการทดสอบ 6 มกราคม ค.ศ. 1993 ถึง 3 มีนาคม ค.ศ. 1997 ประมาณ 70 % เป็นข้อมูล training และข้อมูล 4 มีนาคม ค.ศ. 1997 ถึงเดือน ตุลาคม 24 ค.ศ.1998) สำหรับการ testing ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Model ใช้ root mean square error (RMSE) and coefficient of efficiency (CE) เป็นเครื่องในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Model RMSE Training 24 Testing 31, CE Training 0.99 Testing 0.99, R2 Training 0.99 Testing 0.99 ผลที่ได้ Model RBF เหมาะสำหรับการพยากรณ์ตะกอนแขวนลอย เพื่อระบายตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซีย

Wanatada และ Sittidech⁵ ได้พัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมกับ การพยากรณ์ระดับน้ำท่าในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิได้ล่วงหน้า โดยวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดน้ำท่าและน้ำฝน ที่ส่งผลกระทบให้เกิดน้ำท่วมในเขตเทศบาลเมืองชัยภูมิ ใช้ข้อมูล เป็นรายวันระหว่างปี พ.ศ. 2550 – พ.ศ.

2554 จำนวนทั้งสิ้น 1,824 ระเบียบ โดยคัดเลือกสถานี คัดเลือกตัวแปร รวมทั้ง ระยะเวลาเดินทางของน้ำ สร้างตัวแบบโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับ และ ประเมินผลประสิทธิภาพของตัวแบบด้วยค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ ผลการทดลองได้ตัวแบบจำลองที่ใช้ ข้อมูลนำเข้า 15 ตัวแปรได้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน สมบูรณ์เป็น 1.008

Choubey, Mishra and Pandey⁶ ได้ศึกษาแบบจำลอง SMOreg ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในตระกูลเทคนิคเครื่องเวกเตอร์การสนับสนุน (Support Vector Machine: SVM) เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลบ่า และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ 39,372 ตารางกิโลเมตร โดยใช้หลักการ Sliding Window ช่วงระยะสี่เดือนของแม่น้ำ Narmada จังหวัด Madhya Pradesh ประเทศอินเดีย โดยมีข้อมูลปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ตะกอน ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำจากการปล่อยน้ำ เป็นค่าพารามิเตอร์ เป็นตัวแปรเพื่อใช้ในการจำแนก (Classification) ข้อมูลที่นำมาใช้จากปี ค.ศ. 1975 – 2010 ด้วยเทคนิค SMOreg ในการทดลองคณะวิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุดคือ ชุดสอน (Training) และชุดทดสอบ (Testing) โดย ชุดสอนเป็นข้อมูลจากปีค.ศ.1975 - 2000 ส่วนชุดทดสอบใช้ข้อมูลจากปี ค.ศ. 2001 – 2010 ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเขาได้ใช้ Mean Absolute error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Absolute Error (RAE) และ Root Relative Square Error (RRSE) ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลอง SMOreg มีค่า RMSE เท่ากับ 2.3731 ค่า RAE เท่ากับ 65.28% และค่า RRSE เท่ากับ 62.491% ซึ่งเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับค่าจริง จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าที่พยากรณ์และค่าจริงมีความแตกต่างกันมากโดยมีนัยสำคัญ

วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาในช่วงหน้าฝน ช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคมของปี ค.ศ. 2012 ถึง 2015 ของจังหวัดนครราชสีมา เพื่อช่วยในการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยในการสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำในจังหวัดนครราชสีมา โดยนำข้อมูลจากสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ในงานวิจัยนี้ได้โดยใช้ 4 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการสร้างแบบจำลอง คือ Artificial Neural Networks (ANN), Linear regression (LR), Sequential Minimal Optimization for Regression (SMOreg) และ Radial basis function networks (RBFN) คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการ Sliding Window ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพการ

พยากรณ์ของแบบจำลองด้วยค่า mean absolute error (MAE) และ root mean square error (RMSE)

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. พื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครราชสีมา⁷ ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือบนที่ราบสูงโคราช ระหว่างเส้นรุ้ง ที่ 14 องศา 17 ลิปดาเหนือกับ 15 องศา 46 ลิปดาเหนือ เส้นแวงที่ 101 องศา 11 ลิปดาตะวันออก กับ 102 องศา 53 ลิปดาตะวันออก อยู่ห่างจากกรุงเทพฯโดยทางรถยนต์ 255 กิโลเมตร ทางรถไฟประมาณ 264 กิโลเมตร มีพื้นที่รวมทั้งสิ้น 20,493.964 ตารางกิโลเมตร หรือ 12,808,728 ไร่ที่ตั้งกลุ่มจังหวัดนครชัยบุรีนทร์ แหล่งน้ำธรรมชาติของจังหวัดนครราชสีมา มีแหล่งน้ำธรรมชาติที่สำคัญ 9 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลุ่มน้ำมูลตอนบน, ลุ่มน้ำลำพระเพลิง, ลุ่มน้ำลำมูลตอนล่าง, ลุ่มน้ำลำปลายมาศ, ลุ่มน้ำลำตะคอง, ลุ่มน้ำลำเชียงไกร, ลุ่มน้ำลำสะเทต, ลุ่มน้ำลำชี และ ลุ่มน้ำลำจักราช รวมพื้นที่ลุ่มน้ำ 20,905 ตร.กม. ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,078.6 มม./ปี ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย 3,512 ล้าน ลบ.ม. / ปี มีพื้นที่ชลประทาน 702,458 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 8.57 ของพื้นที่จังหวัดทั้งหมดและ มีสถานีวัดน้ำท่าในจังหวัดนครราชสีมาจำนวน 16 สถานีดัง (Figure 1) และ (Figure 2)

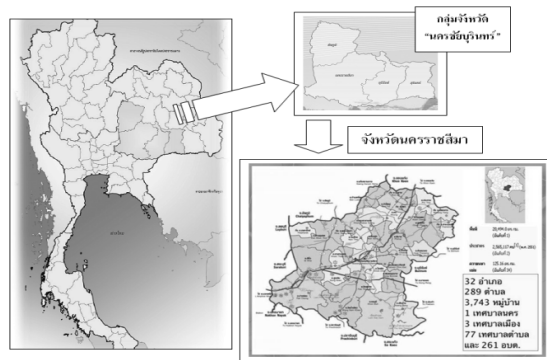


Figure 1 Nakhonratchasima Province



Figure 2 Station of Average of Water Stream Flow

2. ข้อมูลอนุกรมเวลา

ข้อมูลอนุกรมเวลา^๑ หมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าจุดข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นลำดับของเวลาก่อนหลัง เช่น ข้อมูลตลาดหุ้น ข้อมูลอุณหภูมิรายวัน ข้อมูลคลื่นหัวใจ อัตราการเติบโตทางการตลาด ในปัจจุบันข้อมูลอนุกรมเวลาได้เข้ามามีบทบาทที่สำคัญกับงานวิจัยในศาสตร์แขนงต่าง ๆ เช่น ชีวสารสนเทศศาสตร์ (Bioinformatics) วิทยาการหุ่นยนต์ (Robotics) การแพทย์ (Medicine) เคมี (Chemistry) การรู้จำท่าทาง (Gesture Recognition) การรู้จำคำพูด (Speech Recognition) การสะกดรอย (Tracking) การเงิน (Finance) ชีวมาตร (Biometrics) ดาราศาสตร์ (Astronomy) อุตสาหกรรม (Manufacturing) เป็นต้น

3. เทคนิคในเหมืองข้อมูล

เทคนิคในเหมืองข้อมูลได้ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองกันอย่างแพร่หลายและมีประสิทธิภาพ เช่น โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks: ANN), การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression: LR), Sequential Minimal Optimization for Regression (SMOreg) และ Radial basis function networks (RBFN) ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) หรือ (Neural Networks หรือ Neural Net) เป็นเทคนิคของการทำเหมืองข้อมูลใช้โมเดล ทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณแบบ (Connectionist) มีการนำเอาการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) ซึ่งเหมือนกับการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้ การจดจำ รูปแบบ (Pattern Recognition) และการสร้างความรู้ใหม่ (Knowledge Extraction) ดัง Figure 3

จากแนวคิดนี้ได้มาจากการศึกษาโครงข่ายไฟฟ้าชีวภาพ (Bioelectric Network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (Neurons) และ “จุดประสานประสาท” (Synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรท์” (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์การทำงานของ Neural Networks คือการนำ Input เข้าไปใน Network โดยเอา Input มาคูณกับ Weight ของแต่ละขาผลที่ได้จาก Input ทุกขาของ Neuron จะเอามารวมกันต่อมา เอาค่าที่ได้มาเทียบกับ Threshold ที่กำหนดไว้ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า Threshold แล้ว Neuron ก็จะส่ง Output ออกไป Output นี้จะถูกส่งไปยัง Input ของ Neuron ที่เชื่อมกันใน Network ถ้าค่าน้อยกว่า Threshold ก็จะไม่เกิด Output สมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้ดัง

(Figure 4)

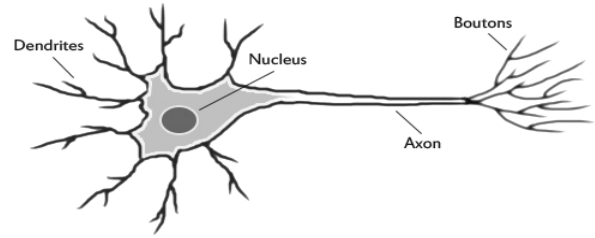


Figure 3 Basic structure of a brain cell

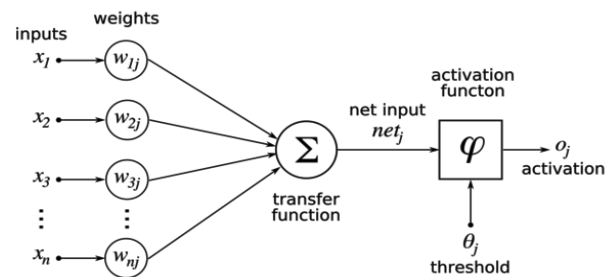


Figure 4 Common activation functions in use with neural networks

มีนักวิจัยหลายท่านได้นำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในการพยากรณ์ เช่น Soomlek, Kaewchainam, Simano และ So-In³ ปี พ.ศ. 2558 ทำการประยุกต์ใช้ Neural Network สำหรับการคาดการณ์ระดับน้ำ ของสถานีวัดระดับน้ำ C.35 ตั้งอยู่ที่แม่น้ำเจ้าพระยา พระนครศรีอยุธยาประเทศไทย โดยใช้ back propagation neural networks สามารถนำมาพยากรณ์ระดับน้ำ 1-3 วันล่วงหน้าในแม่น้ำเจ้าพระยา ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เก็บรวบรวมใน ปี พ.ศ. 2551-2553 เป็นข้อมูลแบบอนุกรมเวลา จากสถานีวัดระดับน้ำ C.2, C.13, C.35, C.36 และ C.37 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และพัฒนแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ปริมาณระดับน้ำในแม่น้ำเพื่อเตือนภัยน้ำท่วม และทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองโดย Mean Squared Error (MSE) และผลการคาดการณ์ระดับน้ำความถูกต้องของแบบจำลองที่ได้ถึง 90.1218 %

2. การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression : LR) ถดถอยเชิงเส้นผ่านเส้น Regression การวิเคราะห์การถดถอย Regression Analysis แบ่งออกเป็น สองชนิดคือ Linear Regression, Non-linear Regression การวิเคราะห์ Linear Regression แบ่งออกเป็น Simple Linear Regression (SLR), Multiple Linear Regression (MLR) การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (ในที่นี้คือตัวแปร X และ Y) ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดยมีสมการ

ถดถอย คือสมการเส้นตรง $Y = \alpha + \beta X$ ซึ่ง α และ β เป็นพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าจึงจะต้องประมาณค่าโดยใช้ข้อมูลจากตัวอย่างโดยวิธีที่นิยมใช้ในการประมาณค่าของ α และ β ก็คือวิธี กำลังสองน้อยที่สุด (The Least Squares Method) ซึ่งจะแทนค่าของ α และ β ด้วยค่า a และ b โดยที่ a ก็คือค่าคงที่ (Constant) เป็นค่าที่เส้นกราฟถดถอยตัดกับแกน Y ส่วน b เป็นความชัน (Slope) ของเส้นกราฟซึ่งแสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Y เมื่อ X เปลี่ยนแปลงเรียกส่วนนี้ว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression Coefficient) หรือสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สมการที่ได้คือ $Y = a + bX$ ดัง (Figure 5)

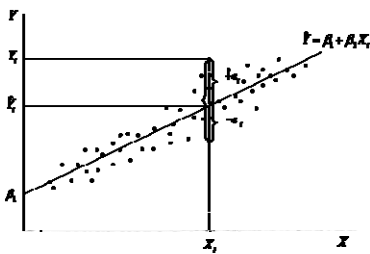


Figure 5 Regression line

GAO Xiang, BAI Lina⁹ ใช้ Multivariate Linear Regression (MLR) ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน refreshed by improved RFF-LS ของ Partial Regression Coefficients (PRC) ในการประเมินค่าการไหลมารวมกันของปริมาณน้ำเสีย ให้ดีขึ้นของโรงบำบัดน้ำเสียเนื่องจาก Partial Regression Coefficients (PRC) มีรูปแบบข้อมูลและกระบวนการบางอย่างที่ไม่เหมาะสมจากการทดสอบแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการพยากรณ์ที่ดีขึ้น ของดัชนีตัวชี้วัดของข้อมูลสองค่า Chemical Oxygen Demand (COD) ในน้ำที่มีคุณภาพดี ในการทดสอบได้แบ่งข้อมูลเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 มีข้อมูลจำนวน 165 Shifts จากฐานข้อมูลเดือน มกราคม เมษายน และ กรกฎาคม ในปี 2007 เป็นข้อมูล training ส่วนที่ 2 มีจำนวนข้อมูล 45 Shifts ในเดือนสิงหาคม ปี 2008 เป็นข้อมูลในการทดสอบ

3. (Radial basis function networks: RBFN)

ประกอบด้วย 3 Layer คือ หนึ่ง Input Layers สอง Hidden Layer และสาม Output Layer ในส่วน Hidden Layer จะเป็นส่วนกำหนดการทำงานและรูปแบบในการป้อนข้อมูล ค่าตอบของค่าที่เป็นบวก เท่ากับค่า y

คำตอบที่ลดลงเท่ากับ 0 คือ $|y| < 0$ สมการที่ได้คือ $f(x) = -2ye^{-x^2}$ พัฒนาได้เป็น $f(y) = -2ye^{-y^2} = -2yf(y)$

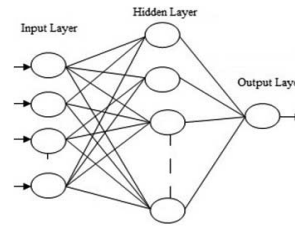


Figure 6 Model Radial Basis Function Neural Network

Mustafa และ Isa⁴ ประยุกต์ใช้ Radial Basis Function Neural Network เพื่อสร้าง Model ในการพยากรณ์ตะกอนแขวนลอย เพื่อระบายตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซียเป็นข้อมูลรายวันย้อนหลัง 5 ปี จัดเก็บอยู่ในรูปแบบข้อมูลอนุกรมเวลาของตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซีย ซึ่งข้อมูลได้จากกรมชลประทาน กรุงเทพมหานคร ประเทศมาเลเซีย โดยแบ่งข้อมูล 70:30 ในการทดสอบ 6 มกราคม ค.ศ. 1993 ถึง 3 มีนาคม ค.ศ. 1997 โดยประมาณ 70 % เป็นข้อมูล training และข้อมูล 4 มีนาคม ค.ศ. 1997 ถึง 24 ตุลาคม ค.ศ.1998) สำหรับการ testing ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Model ใช้ root mean square error (RMSE) and coefficient of efficiency (CE) เป็นเครื่องในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ Model RMSE Training 24 Testing 31 , CE Training 0.99 Testing 0.99, R2 Training 0.99 Testing 0.99 ผลที่ได้ Model RBF เหมาะสำหรับการพยากรณ์ตะกอนแขวนลอย เพื่อระบายตะกอนแขวนลอยออกจากแม่น้ำ Pari รัฐเประ ประเทศมาเลเซีย

4. Sequential Minimal Optimization for Regression (SMOreg) ถูกพัฒนาจาก SMO อัลกอริทึม บนพื้นฐานของ SVM (Support Vector Machine) วิธีนี้ใช้การแทนค่าที่ข้อมูลสูญหายและแปลงข้อมูลคุณลักษณะเชิงกลุ่ม (nominal) ให้เป็นข้อมูลไบนารี (Binary)นอกจากนี้ยังทำให้ข้อมูลคุณลักษณะทุกค่าอยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Normalized) SMOreg ยังมีคุณสมบัติใช้งานกับ non-linear ได้อย่างมีประสิทธิภาพ SMOreg ยังช่วยในการจัดการโครงสร้างของ Model และลดความเสี่ยงของข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์

Choubey, Mishra and Pandey [6] ได้ศึกษาแบบจำลอง SMOreg ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในตระกูลเทคนิคเครื่องเวกเตอร์การสนับสนุน (Support Vector Machine: SVM) เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำที่ไหลบ่า และปริมาณน้ำฝน ซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำ 39,372 ตารางกิโลเมตร โดยใช้หลักการ Sliding Window ช่วงระยะสี่เดือนของแม่น้ำ Narmada จังหวัด Madhya Pradesh ประเทศอินเดีย โดยมีข้อมูลปริมาณ

น้ำฝน อุณหภูมิ ตะกอน ปริมาณน้ำฝน ระดับน้ำจากการปล่อยน้ำ เป็นค่าพารามิเตอร์ เป็นตัวแปรเพื่อใช้ในการจำแนก (Classification) ข้อมูลที่นำมาใช้จากปี ค.ศ. 1975 – 2010 ด้วยเทคนิค SMOreg ในการทดลองคณะวิจัยได้ แบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุด คือ ชุดสอน (Training) และชุดทดสอบ (Testing) โดย ชุดสอนเป็นข้อมูลจากปีค.ศ.1975 - 2000 ส่วนชุดทดสอบใช้ข้อมูลจากปี ค.ศ. 2001 – 2010 ในการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเขาได้ ใช้ Mean Absolute error (MAE), Root Mean Square Error (RMSE), Relative Absolute Error (RAE) และ Root Relative Square Error (RRSE) ผลการทดสอบพบว่า แบบจำลอง SMOreg มีค่า RMSE เท่ากับ 2.3731 ค่า RAE เท่ากับ 65.28% และค่า RRSE เท่ากับ 62.491% ซึ่งเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับค่าจริง จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าที่พยากรณ์และค่าจริงมีความแตกต่างกันมากโดยมีนัยสำคัญ

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการทำวิจัยคณะผู้วิจัยได้มีแบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก 1) ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล 2) ขั้นตอนก่อนกระบวนการสร้างแบบจำลอง 3) ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และ 4) ขั้นตอนการวัดประสิทธิภาพแบบจำลอง ดัง (Figure 7)

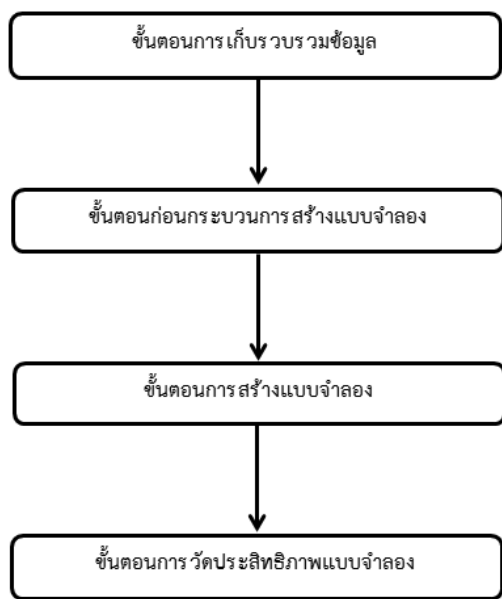


Figure 7 The process of data mining

1. ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้ข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <http://hydro-4.com/> ของศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนล่างสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย ผู้วิจัยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันจาก 16 สถานีในเขตลุ่มน้ำของจังหวัดนครราชสีมา โดยข้อมูลทั้งหมดของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยจัดเก็บข้อมูลในรูปแบบ ระดับน้ำเทียบเฉลี่ยรายวัน 16 สถานี ในเขตลุ่มน้ำจังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยได้จัดทำตารางค่าข้อมูลเป็น Attribute โดยแต่ละ Attribute จะมีค่าข้อมูลของแต่ละสถานีเป็นข้อมูลสรุปเป็นรายวันในแต่ละสถานี และทำการเลือกสถานีที่มี ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมากที่สุด 4 สถานี เนื่องจากสถานีทั้ง 4 มีปริมาณน้ำท่ามากและส่งผลกระทบต่อประชาชนมากกว่า สถานีวัดน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำน้อยได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 และ M184 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวัน ช่วงปี 2012 ถึง 2015 เดือน กรกฎาคม ถึง ตุลาคม ข้อมูลที่ได้จำนวน 492 ระเบียบ

จาก (Figure 8) แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย M.38C, M.145, M.177 และ M.184 ในจังหวัดนครราชสีมาซึ่งมีปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำในจังหวัดนครราชสีมา ปี ค.ศ. 2012 – 2015 จากรูป สังเกตได้ว่า สถานีวัดมีปริมาณน้ำมากที่สุดในช่วงเดือน กันยายน – พฤศจิกายน ในช่วงหน้าฝนของจังหวัดนครราชสีมา และเป็นช่วงที่ต้องเฝ้าระวังปริมาณน้ำเพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อประชาชน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูหน้าฝนของจังหวัดนครราชสีมา

2. ขั้นตอนก่อนกระบวนการสร้างแบบจำลอง

ขั้นตอนกระบวนการก่อนการสร้างแบบจำลอง โดยการแปลงข้อมูล (Data transformation) จากข้อมูลที่ได้จากเว็บไซต์ <http://hydro-4.com/> จากศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทานได้จัดเก็บข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยเป็นรายสถานี ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลแต่ละสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย เข้าด้วยกัน โดยแบ่งข้อมูลแต่ละสถานีตามชื่อของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย ดัง (Table 1) จากข้อมูลที่ได้มาแต่ละสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลเป็นตัวแปรตามชื่อของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยแสดงตาม (Table 2) ข้อมูลหลังจากการแปลงข้อมูลได้เรียบร้อยแล้ว

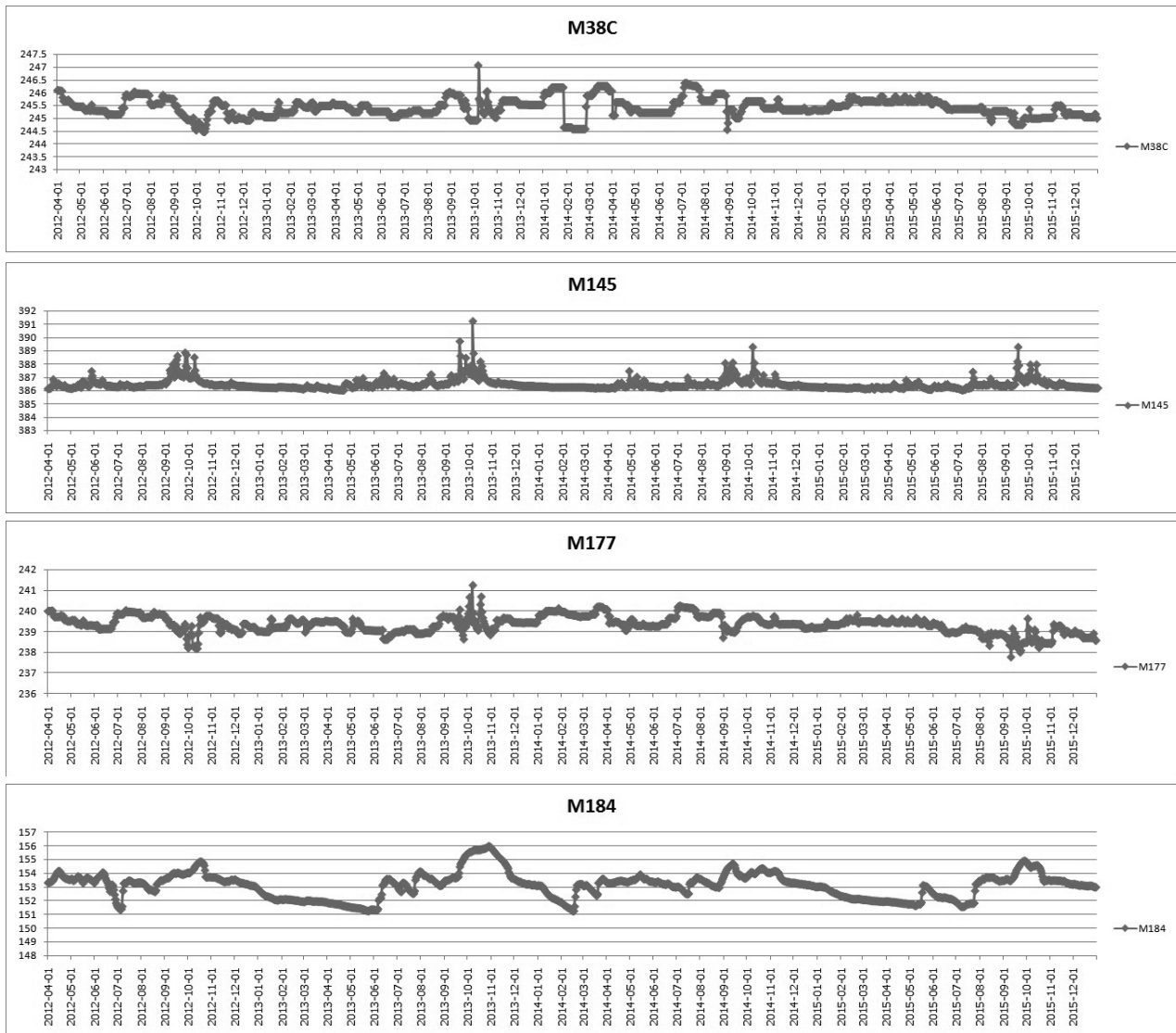


Figure 8 Level of Water Stream Flow Station M.38C, M.145, M.177 and M.184 year 2012 - 2015

Table 1 Location stations of Water Stream Flow in Nakhon Ratchasima province

ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	อำเภอ	จังหวัด
สถานี M.38C	ลำตะคอง	อ.สีคิ้ว	จ.นครราชสีมา
สถานี M.145	ลำพระเพลิง	อ.ปากช่อง	จ.นครราชสีมา
สถานี M.177	ลำตะคอง	อ.สีคิ้ว	จ.นครราชสีมา
สถานี M.184	แม่น้ำมูล	อ.พิมาย	จ.นครราชสีมา

Table 2 Description of parameters and variables.

ชื่อตัวแปร	คำอธิบาย	ชนิดของตัวแปร
Date Water Level	วัน / เดือน / ปี ในการบันทึกน้ำท่าเฉลี่ย	Date
M38C	จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานี M38C	Number
M145	จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานี M145	Number
M177	จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานี M177	Number
M184	จำนวนข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานี M184	Number

3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลอง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองในอนุกรมเวลา โดยใช้หลักการหน้าต่างเคลื่อนที่ (Sliding Window) และมีการวัดค่าความผิดพลาดโดยการเปรียบเทียบกับค่าจริง

1. หลักการ Sliding Window

Sliding Window คือ หลักการที่เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการทดลองในการทำเหมืองข้อมูลของข้อมูลอนุกรมเวลา โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยคำนึงถึงเวลาและทำการเคลื่อนที่หน้าต่างไปตามเวลา ดังนี้

ชุดที่ 1 คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนหรือการเรียนรู้ (Training data)

ชุดที่ 2 คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ (Testing data)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูล ปี ค.ศ. 2012 - 2015 ช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง สิงหาคม สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 3 ปีแรก เพื่อเป็นชุดข้อมูลฝึกสอน และให้หนึ่งเดือนเป็นชุดข้อมูลทดสอบ แล้วจึงทำการเคลื่อนหน้าต่างข้อมูลไปรอบละหนึ่งเดือน โดยจะทำการเคลื่อนหน้าต่างทั้งหมด 4 รอบดัง (Table 9)

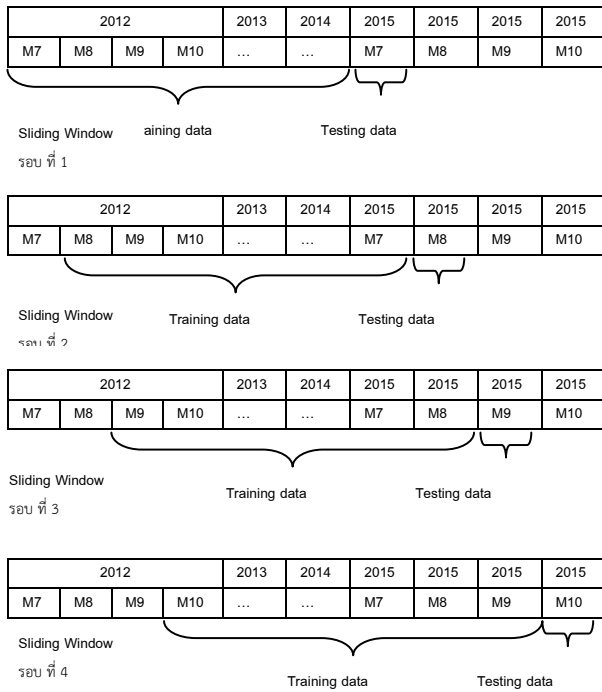


Figure 9 The sliding window method

โอฬาร ธรรมานนท์, มณฑลลীลา จินดาไกรฤกษ์และ สมชาติ จิรวินาการ¹⁰ ได้ใช้หลักการหน้าต่างเคลื่อนที่ในการทดลองประสิทธิภาพของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า 13 ปีข้างหน้า

4. การวัดค่าประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การวัดค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมา ในงาน

วิจัยนี้ผู้วิจัยใช้ค่าสำหรับประสิทธิภาพของแบบจำลอง ดังนี้

- 1) ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Squared Error: MSE) มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$MSE = \left(\frac{\sum e_i^2}{n} \right)$$

การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายอีกวิธีหนึ่งคือการหาค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยหรือ MSE ซึ่งค่านี้ใช้หลักการเดียวกันกับการหาค่าความแปรปรวนในทางสถิติการวัดค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีนี้จะได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงเนื่องจากการนำความคลาดเคลื่อนเวลาใด ๆ มายกกำลังสองก่อนที่จะหาผลรวมแล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง

2) ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง หรือค่ารากที่สอง ของค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (RMSD) เป็น วิธีการวัดความคลาดเคลื่อนจากค่าที่พยากรณ์จากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น หากค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับ ค่าจริง ดังนั้นหากค่านี้มีค่าเท่ากับศูนย์แล้ว จะหมายความว่า ไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง ค่า RMSE สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}}$$

ผลการศึกษา

ในการศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองนี้คณะผู้วิจัยได้นำเอาโปรแกรม WEKA เวอร์ชัน 3.7.10 มาเป็นเครื่องมือมาใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค LR, ANN, RBFN และ SMOreg วัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วย MAE และ RMSE ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังหัวข้อ 4.1 หัวข้อ 4.2 และในหัวข้อ 4.3 แสดงผลการพยากรณ์น้ำในปี 2016 และ 2017

1. การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

ค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Mean Absolute error: MAE) เป็นค่าที่ใช้วัดความถูกต้องของการพยากรณ์ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จากการทดลองสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบของค่า MAE ของ 4 แบบจำลอง LR, ANN, RBFN และ SMOreg ในการสร้างแบบจำลองปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของ 4 สถานีได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 และ M184 ได้ดัง (Table 3)

Table 3 A comparison of MAE of the four models for forecasting daily Water Stream Flow Prediction

Model	LR		ANN		RBFN		SMOreg	
	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
M38C	0.50	0.26	0.45	0.94	0.19	0.34	0.13	0.25
M145	0.62	0.34	4.46	14.93	0.20	0.26	0.13	0.23
M177	0.59	0.18	0.50	0.86	0.26	0.63	0.14	0.42
M184	0.99	1.34	0.24	0.65	0.74	2.19	0.63	1.00
Average	0.67	0.53	1.41	4.34	0.35	0.85	0.26	0.48
S.D.	0.22	0.54	2.04	7.06	0.26	0.90	0.25	0.36

(Table 3) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานทั้ง 4 แบบจำลองคือ LR, ANN, RBFN และ SMOreg เมื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยในฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมา ของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมากที่สุดจำนวน 4 สถานีได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 และ สถานี M184 โดย SMOreg เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่า แบบจำลอง LR, ANN และ RBFN ด้วยค่า MAE ระหว่าง Training และ Testing แบบจำลอง SMOreg มีค่าเฉลี่ย (Average) ของค่า MAE อยู่ที่ 0.26 และ 0.48 และค่า S.D. ของค่า MAE อยู่ที่ 0.25 และ 0.36 ตามลำดับ และแบบจำลอง LR, ANN และ RBFN มีค่า MAE ระหว่าง Training และ Testing มีค่าเฉลี่ย (Average) 0.67 0.53, 1.14 4.34, และ 0.35 0.85 ตามลำดับ มีค่า S.D. ของค่า MAE ของแบบ

จำลอง LR, ANN และ RBFN 0.22 0.54, 2.04 7.06 และ 0.25 0.36 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่า MAE ของแบบจำลอง SMOreg มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยในฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมา

2. การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง

ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เป็นค่าที่ใช้วัดความถูกต้องโดยเฉลี่ยของการพยากรณ์ จากการทดลองสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบของค่า RMSE ของ 4 แบบจำลอง LR, ANN, RBFN และ SMOreg ในการสร้างแบบจำลองปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของ 4 สถานีได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 และ M184 ได้ดัง (Table 4)

Table 4 A comparison of RMSE of the four models for forecasting daily Water Stream Flow Prediction

Model	LR		ANN		RBFN		SMOreg	
	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing	Training	Testing
M38C	0.82	0.27	0.81	1.09	0.26	0.35	0.24	0.27
M145	1.29	0.42	9.18	16.28	0.38	0.34	0.37	0.32
M177	0.94	0.23	0.88	1.07	0.33	0.64	0.27	0.47
M184	1.44	1.43	1.41	2.45	0.78	1.06	0.42	0.72
Average	1.12	0.59	3.07	5.22	0.44	0.60	0.32	0.44
S.D.	0.29	0.57	4.08	7.40	0.23	0.34	0.08	0.20

(Table 4) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานทั้ง 4 แบบจำลองคือ LR, ANN, RBFN และ SMOreg เมื่อเปรียบเทียบการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยในฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมา ของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมากที่สุดจำนวน 4 สถานีได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 และ สถานี M184 โดย SMOreg เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิ

ภาพเหนือกว่า แบบจำลอง LR, ANN และ RBFN ด้วยค่า RMSE ระหว่าง Training และ Testing แบบจำลอง SMOreg มีค่าเฉลี่ย (Average) ของค่า RMSE อยู่ที่ 0.32 และ 0.44 และค่า S.D. ของค่า RMSE อยู่ที่ 0.08 และ 0.20 ตามลำดับ และแบบจำลอง LR, ANN และ RBFN มีค่า RMSE ระหว่าง Training และ Testing มีค่าเฉลี่ย (Average) 1.12 0.59, 3.07 5.22,

และ 0.44 0.60 ตามลำดับ มีค่า S.D. ของค่า RMSE ของแบบจำลอง LR, ANN และ RBFN 0.29 0.57, 4.08 7.40, และ 0.23 0.34 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ของแบบจำลอง SMOreg มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยในฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมา

3. ผลการพยากรณ์น้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมา
 ในงานวิจัยนี้ เราสามารถนำแบบจำลอง SMOreg มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยมากที่สุด

จำนวน 4 สถานีได้แก่ สถานี M38C, M145, M177 โดยใช้ข้อมูลในการ (วันที่ 1 กรกฎาคม ค.ศ. 2012 – วันที่ 31 ตุลาคม ค.ศ. 2014) เป็นชุดข้อมูลฝึกสอน (Training) ด้วยหลักการ Sliding Window และใช้ข้อมูล (วันที่ 1 กรกฎาคม ค.ศ. 2015 – วันที่ 31 ตุลาคม ค.ศ. 2015) ที่ใช้ในการทดสอบ (Testing) จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย ด้วยแบบจำลอง SMOreg ของสถานีวัด M38C, M145, M177 และ M184 ในปี ค.ศ. 2016 และ ปี ค.ศ. 2017 ดัง (Figure 10) และ (Figure 11)

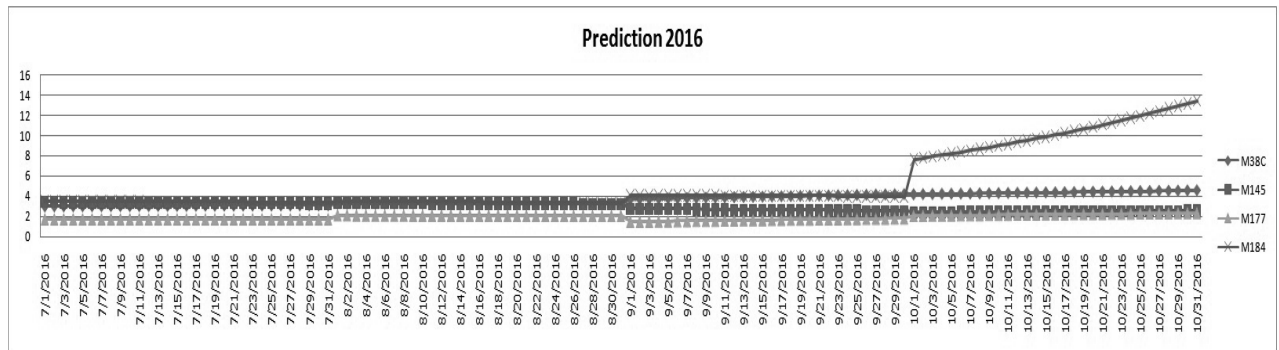


Figure 10 Result of Water Stream Flow Prediction Models for Nakhonratsima Province in year 2016

(Figure 10) แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมา ในปี ค.ศ. 2016 ค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง SMOreg ในเดือนกรกฎาคม – สิงหาคม มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยคงที่ ในเดือน

กันยายน – ตุลาคม มีค่าปริมาณน้ำท่าจากการพยากรณ์เพิ่มมากขึ้น สถานีที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่มากที่สุด คือ สถานี M184 และ สถานีที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือ สถานี M177

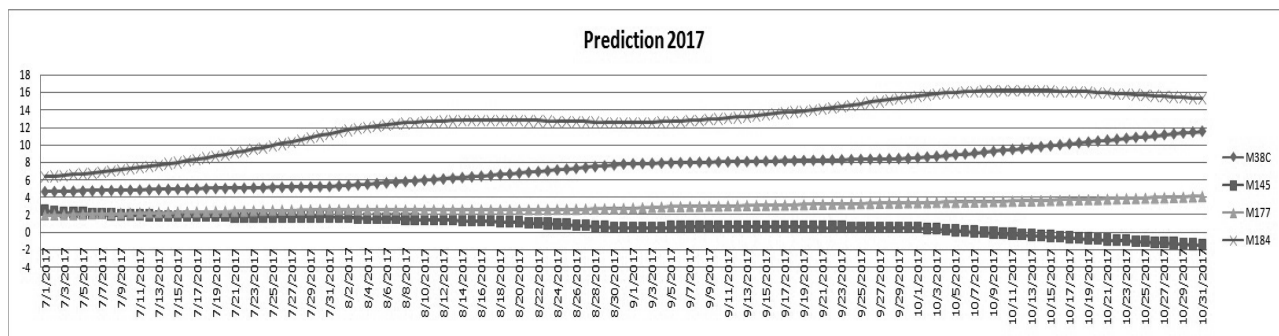


Figure 11 Result of Water Stream Flow Prediction Models for Nakhonratsima Province in year 2017

(Figure 11) แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานีวัดปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาปี ค.ศ. 2017 ค่าที่พยากรณ์ได้จากแบบจำลอง SMOreg ในเดือนกรกฎาคม – ตุลาคม มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของสถานี M38C, M177, และ M184 มีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนสถานี M145 มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง สถานี

ที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่มากที่สุด คือ สถานี M184 และ สถานีที่มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือ สถานี M145

วิจารณ์และสรุป

ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในจังหวัดนครราชสีมาในช่วงฤดู

ฝน โดยแบบจำลองที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 4 แบบจำลองได้แก่ แบบจำลอง LR, ANN RBFN และ SMOreg ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง SMOreg มีความเหมาะสมมากที่สุดในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยของจังหวัดนครราชสีมาในช่วงฤดูฝน โดยการวัดประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองด้วยค่า MAE และ RMSE ด้วยค่า RMSE ระหว่าง Training และ Testing แบบจำลอง SMOreg มีค่าเฉลี่ย (Average) ของค่า RMSE อยู่ที่ 0.32 และ 0.44 ซึ่งความแตกต่างจากผลการวิจัยของ Choubey, Mishra and Pandey⁶ ศึกษาแบบจำลอง SMOreg ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งในตระกูลเทคนิคเครื่องเวกเตอร์การสนับสนุน (Support Vector Machine: SVM) เพื่อพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าที่ไหลบ่า และปริมาณน้ำฝน ผลการทดลองพบว่าแบบจำลอง SMOreg มีค่า RMSE จากการวิจัยเท่ากับ 2.3731 ค่า RAE เท่ากับ 65.28% และค่า RRSE เท่ากับ 62.491% ซึ่งเป็นค่าที่เปรียบเทียบกับค่าจริง จะเห็นว่าความแตกต่างระหว่างค่าที่พยากรณ์และค่าจริงมีความแตกต่างกันมากโดยมีนัยสำคัญ

จากผลการทดลอง สรุปได้ว่า SMOreg มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนของจังหวัดนครราชสีมา หากผู้ที่สนใจศึกษาหรือสนใจที่จะพัฒนางานวิจัยนี้ ควรเพิ่มจำนวนข้อมูลชุดฝึกสอนให้มากขึ้น และเพิ่มความซับซ้อนของข้อมูลเพิ่มขึ้นตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้นเพื่อให้แบบจำลองมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการ พยากรณ์ และนำไปใช้งานทางด้านอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน และคณาจารย์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและคำปรึกษาในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ไทยรัฐออนไลน์. (2013). *โคราชแล้งหนัก ประกาศพื้นที่ภัยพิบัติฉุกเฉิน 26 อำเภอ*. Available: <http://www.thairath.co.th/content/318446>
2. dailynews. (2014). *โคราชประกาศพื้นที่ภัยแล้ง 11 อำเภอ*. Available: <http://www.dailynews.co.th/regional/288517>
3. N. K. Chitsutha Soomlek, Thawat Simano, and Chakchai So-In "Using backpropagation neural networks for flood forecasting in PhraNakhon Si Ayutthaya, Thailand," *2015 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*, pp. 1 - 6, 23-26 Nov 2015.
4. M. H. I. MRUI.Mustafa "Prediction of River Suspended Sediment Load Using Radial Basis Function Neural Network-A Case Study in Malaysia," *National Postgraduate Conference (NPC), 2011*, pp. 1 - 4, 19-20 Sept 2011.
5. P. S. Munin Wanatada, "Runoff Forecasting Using Back-propagation Neural Network Technique: Case Study of Municipality of Chaiyaphum," *The 9th National Conference on Computing and Information Technology*, pp. 179-184, 2013.
6. S. M. V.Choubey, S.K.Pandey, "Time Series Data Mining in Real Time Surface Runoff Forecasting through Support Vector Machine," *International Journal of Computer Applications (0975 - 8887)*, vol. Volume 98- No.3,, July 2014 2014.
7. สำนักงานจังหวัดนครราชสีมา, *แผนพัฒนาจังหวัดนครราชสีมา 4 ปี พ.ศ. 2558-2561 (ฉบับทบทวน) โคราชเมืองหลวงของภาคอีสาน*, 2558.
8. ผศ. ดร.โชติรัตน์ รัตนามหัทธนะ (2011). *เหมืองข้อมูลอนุกรมเวลา*. Available: <http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php/เหมืองข้อมูลอนุกรมเวลา>
9. B. L. GAO Xiang, "The Prediction of Indices at Infall of Confluent Flow Network of Wastewater with Multivariate Linear Regression*," *Proceedings of the 29th Chinese Control Conference*, pp. 5125-5129, July 29-31, 2010.
10. ม. ล. โอพาร ธรรมานนท์, สมชาติ จีวิวิภากร, "Long-Term Peak Load Forecasting for EGAT System Using Artificial Neural Networks," *Ladkrabang Engineering Journal*, vol. 21, 2, June 2004.

การประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกที่มีต่อปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง The assessment of climate change impacts on runoff in Huai Luang watershed

กรรณิการ์ บุตรคำ,¹ รัตนา หอมวิเชียร,^{2*}

Kannika Buthkham,¹ Rattana Hormwichian,^{2*}

Received: 13 May 2016 ; Accepted: 12 September 2016

บทคัดย่อ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าในแหล่งน้ำระหว่างช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งน้ำที่ใช้ประโยชน์สำหรับการส่งน้ำเพื่อเกษตรกรรมและการผลิตน้ำประปา การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนกรณี A2 และ B2 และการวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตด้วยสมการถดถอยเพื่อสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำระหว่างปี พ.ศ.2546-2558 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณฝนเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 30 ปีอนาคตข้างหน้า จากการนำค่าพารามิเตอร์ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 และ KH.103 มาคำนวณปริมาณน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำท่าในปีอนาคตมีน้ำท่ารายปีของกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 79.57 และ 246.75 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 81.25 และ 271.58 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคตมีค่ามากกว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในปัจจุบัน ทั้งกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 30.70 และ 33.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ กรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 37.82 และ 32.19 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การศึกษาในครั้งนี้จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อที่จะทำได้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ และวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษาเพื่อการจัดการน้ำสำหรับการอุปโภค-บริโภค และการเกษตรกรรมได้ในอนาคต

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝน คาดการณ์

Abstract

In the past, climate changes affect the amount of water during the rainy season and dry season, especially the water use for agricultural irrigation, and water supply. This study aimed to predict the amount of rainfall in Huai Luang watershed by using the PRECIS model in case A2 and B2. And data analysis with regression coefficient to assess the amount of water in the watershed during the year 2003-2015. The results revealed that the average rainfall trends upward in the next 30 years. The parameter value of the station KH.53 and KH.103 in case A2 and B2 is used to calculate runoff. In the future the runoff of case A2 equals 79.57 and 246.75 MCM respectively, and case B2 equal to 81.25 and 271.58 MCM respectively. The study found that the average annual runoff of future in case A2 is greater than the average annual runoff of present were 33.10 percent and 4.39 percent respectively, and case B2 were 32.19 percent and 12.33 percent respectively. This study can be applied to therefore, is expected to lead to analyze problems, planning and management of water resources in the study area for consumption, and agriculture in the future.

Keywords : climate change, runoff, rainfall, forecasting

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate student, ² Lecturer, Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kamriang, Kantarawichai District, Mahasarakham Province 44150.

* Corresponding author; Rattana Hormwichian, Ph.D., Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kamriang, Kantarawichai District, Mahasarakham Province 44150, Thailand. E-mail: rathom@gmail.com

บทนำ

วิกฤตการณ์สิ่งแวดล้อมระดับโลกที่กำลังสร้างความเสียหายและเป็นภัยต่อมนุษย์มากที่สุดในปัจจุบันคือการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่ง เช่น อุณหภูมิ ลม ฝน เป็นต้น ไม่ว่าจะเนื่องมาจากความผันแปรตามธรรมชาติ หรือกิจกรรมของมนุษย์ก็ตาม โดยเฉพาะสภาวะที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น หรือที่เรียกว่า ภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการที่โลกไม่สามารถระบายความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ออกไปได้อย่างที่เคยเป็น ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น แม้ว่าในช่วงศตวรรษที่ผ่านมาอุณหภูมิมีทั้งค่าสูงขึ้นไปบ้างก็องศา แต่ก็ทำให้สภาพอากาศของโลกเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกอย่างรุนแรง¹

จากการเปลี่ยนแปลงนี้จะนำไปสู่การเกิดผลกระทบอย่างมากต่อวัฏจักรอุทกวิทยาในระบบลุ่มน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหย ซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำท่าในแหล่งน้ำธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลงรวมถึงปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นในลำน้ำ² จากการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านมาพบว่า ทรัพยากรน้ำได้รับผลกระทบจากเหตุดังกล่าว มีผลทำให้ระบบอุทกวิทยาเกิดการเปลี่ยนแปลง ปริมาณน้ำที่ใช้การได้ (water yield) ในแหล่งน้ำธรรมชาติ หรืออ่างเก็บน้ำในช่วงฤดูร้อนอาจลดลงเนื่องจากมีอัตราการระเหยที่สูงขึ้น³ ประกอบกับการเพาะปลูกพืชเกษตรกรรมในช่วงเวลาดังกล่าว มีความต้องการน้ำต้นทุน⁴ ในช่วงเวลาที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่กักเก็บน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นศึกษาคาดการณ์สถานการณ์น้ำในแหล่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ แต่ในบางพื้นที่การศึกษาจะยังไม่ครอบคลุมถึงอ่างเก็บน้ำขนาดกลางหรือขนาดเล็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะในพื้นที่ชนบทที่ใช้ประโยชน์สำหรับการผลิตน้ำประปา การอุปโภค-บริโภค การเกษตรกรรมในช่วงฤดูแล้ง หรืออ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ทั่วไป (multi-purpose reservoir) ซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาน้ำฝนตามธรรมชาติในช่วงฤดูมรสุมเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นหลัก ทั้งนี้ยังรวมถึงการนำเสนอข้อมูลแนวโน้มน้ำฝนที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ในอดีตที่ผ่านมา นำมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์หรือการนำมาสื่อสารกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อการปรับตัวหรือเตรียมตัวต่อการใช้ทรัพยากรน้ำในทางตรงหรือทางอ้อม

ลุ่มน้ำห้วยหลวง เป็นลุ่มน้ำสายสำคัญของจังหวัดอุดรธานี ในระยะเวลาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน จังหวัดอุดรธานี

และพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง เผชิญกับความเสี่ยงที่เป็นผลจากความแปรปรวนสภาพอากาศ เกิดน้ำท่วมชุมชนเมืองและพื้นที่รอบเมือง โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2554 ส่งผลให้เกิดฝนตกหนัก ปริมาณฝนที่ตกมากในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเกินระดับกักเก็บซึ่งทำให้เกิดสภาพน้ำท่วม⁵ เขตเทศบาลนครอุดรธานีและพื้นที่โดยรอบจัดว่ามีความเสี่ยงจากภาวะน้ำท่วมเป็นประจำ เนื่องจากปริมาณฝนตกหนักในเขตเมืองและพื้นที่รอบเมืองซึ่งเป็นพื้นที่ลุ่ม รวมถึงพื้นที่ที่อยู่ติดลำน้ำสายหลักซึ่งเกิดน้ำเอ่อล้นตลิ่งในยามที่ฝนตกหนัก ประกอบกับเป็นพื้นที่รับน้ำจากพื้นที่สูงทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และการพัฒนาที่ก่อให้เกิดสิ่งปลูกสร้างต่างๆ ซึ่งรวมถึงโครงข่ายถนนบางส่วนก็เป็นอุปสรรคต่อการระบายน้ำ นอกจากนี้การเกษตรในจังหวัดอุดรธานีเผชิญกับความเสี่ยงจากสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตหลายประการทั้งในด้านความผันผวนของปริมาณน้ำเพื่อการเพาะปลูกพืช โดยเฉพาะการขาดแคลนน้ำในช่วงฤดูแล้ง และพื้นที่ดินเค็มซึ่งครอบคลุมเกือบครึ่งหนึ่งของจังหวัดอุดรธานี ก็เป็นปัญหาใหญ่อีกประการหนึ่ง ซึ่งปัญหาพื้นที่ดินเค็มนี้มีความรุนแรงมากขึ้นในปีที่มีอากาศแล้งจัดและหน้าร้อนที่ยาวนาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน จังหวัดอุดรธานีมีความเสี่ยงต่อการขาดแคลนน้ำจากภัยแล้ง ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งจังหวัด ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาคส่วนต่างๆ ที่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำ ทั้งในเขตชุมชนเมืองที่ต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคและภาคเกษตรกรรมในพื้นที่รอบเมืองที่ต้องใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน คือ อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ซึ่งในปีที่ฝนตกน้อยนั้น มักจะเกิดปัญหาในการจัดสรรน้ำระหว่างชุมชนและพื้นที่เกษตรโดยรอบ โดยเฉพาะเป็นแหล่งน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคของพื้นที่อุดรธานี

ในการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตของพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าสำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวง และเพื่อศึกษาพฤติกรรมปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำห้วยหลวงเนื่องจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำในอนาคต นำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา เพื่อที่จะทำให้ได้ข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ และวางแผนการจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ศึกษาได้อย่างเหมาะสม

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้จะเชื่อมโยงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก กับปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยศึกษาข้อมูลปริมาณฝนรายวัน การระเหยรายวัน และปริมาณ

น้ำท่ารายวัน ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2550-2558 ซึ่งประยุกต์ใช้แบบจำลอง PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกของ Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Emission Scenario (IPCC SRES) คาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง จังหวัดอุดรธานี ใช้แบบจำลอง NAM Model ในการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวัน และทำการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากการตรวจสอบจริง ตั้งแต่ ปี พ.ศ.2550-2554 และตรวจสอบแบบจำลอง (validation) ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2555-2558 สถานที่ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า คือ สถานีบ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี (รหัสสถานี KH.53) และสถานีบ้านท่าตูม อ.เมือง จ.อุดรธานี (รหัสสถานี KH.103) ซึ่งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง

พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำห้วยหลวง เป็นลุ่มน้ำสายสำคัญของจังหวัดอุดรธานี มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาภูพานในเขตอำเภอหนองวัวซอ จังหวัดอุดรธานี ประกอบด้วย ห้วยโขง ห้วยตาลเหี้ยม ห้วยคำป่าไหลมารวมกันเป็นห้วยหลวง มีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศใต้ไปทิศเหนือ ไหลผ่านเทศบาลนครอุดรธานี และไหลไปรวมกับแม่น้ำโขงที่บ้านวัดหลวง ตำบลจุมพล อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย มีความยาวตลอดลำน้ำหลักกว่า 100 กิโลเมตร มีพื้นที่ลุ่มน้ำคาบเกี่ยว 3 จังหวัดคือ หนองบัวลำภู อุดรธานี และหนองคาย มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 3,933 ตารางกิโลเมตร ความยาวของลำน้ำ 1,497.5 กิโลเมตร มีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงที่เป็นแหล่งน้ำที่สำคัญในการอุปโภค-บริโภคของชุมชนเมืองจังหวัดอุดรธานี ภายในลุ่มน้ำมีสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ของกรมอุตุนิยมวิทยา Figure 1

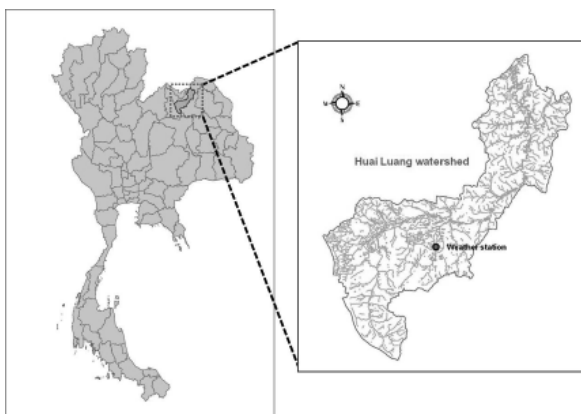


Figure 1 Location of Huai Luang watershed

การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะอากาศอันเป็นผลจากกิจกรรมของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของบรรยากาศโลกโดยตรงหรือโดยอ้อมและที่เพิ่มเติมจากความแปรปรวนของสภาวะอากาศตามธรรมชาติที่สังเกตได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณน้ำฝน ฤดูกาล ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตที่จะต้องปรับตัวให้เข้ากับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่มีชีวิตนั้นอาศัยอยู่

ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศในอนาคตเป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลองภูมิอากาศ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกอาจจะเปลี่ยนแปลงไปในอนาคต ตามแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมในทิศทางต่างๆ กัน ซึ่งคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ climate change (Intergovernmental Panel on Climate Change หรือ IPCC) ได้กำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาเป็น 4 รูปแบบหลัก⁶

1. แบบ A เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก โดยแบ่งย่อยเป็น

แบบ A1 คือ อนาคตการเติบโตทางเศรษฐกิจสูง ประชากรโลกสูงสุดในกิ่งศตวรรษและลดลงเล็กน้อย หลังจากนั้นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง มีการพัฒนาบุคลากร มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างวัฒนธรรม ความแตกต่างของรายได้ ประชาชาติระหว่างภูมิภาคลดลง ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (emission scenario)

แบบ A2 คือ การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลายพึ่งตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค

2. แบบ B เป็นการพัฒนาโดยให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าการพัฒนาแบบ A โดยแบ่งย่อยเป็น

แบบ B1 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่ในอนาคตประชากรเพิ่มสูงในตอนกิ่งกลางศตวรรษเช่นเดียวกับแบบ A1 และลดลงหลังจากนั้น แต่โครงสร้างเศรษฐกิจเปลี่ยนอย่างรวดเร็วไปเป็นภาคบริการและสารสนเทศ ลดการใช้วัตถุ มีการใช้เทคโนโลยีที่สะอาด เน้นที่การแก้ปัญหาเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับนานาชาติมีความเสมอภาค แต่ไม่มีการนำประเด็นด้านภูมิอากาศเป็นแรงจูงใจ

แบบ B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับ

ท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า B1 และ A1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค⁷

ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 เนื่องจากพื้นที่ศึกษาในกรณี A2 มีการพัฒนาในขนาดของโลกมีความหลากหลายพึ่งตนเองมากขึ้นภายในภูมิภาค มีการอนุรักษ์เอกลักษณ์ท้องถิ่น จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาเศรษฐกิจขึ้นอยู่กับภูมิภาค การเติบโตทางเศรษฐกิจและการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีช้ากว่าแบบอื่น และกระจายตามท้องถิ่นและภูมิภาค กรณี B2 เป็นภาพจำลองการพัฒนาที่เน้นการแก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจสังคม และสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนในระดับท้องถิ่นหรือภูมิภาค ประชากรเพิ่มขึ้นต่อเนื่องแต่น้อยกว่า A2 มีการพัฒนาเศรษฐกิจปานกลาง การเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีหลากหลายและช้าลงกว่า A1 และ B1 โดยมีการปกป้องสิ่งแวดล้อม และความเสมอภาคของสังคมที่เน้นที่ท้องถิ่นและภูมิภาค ในขณะที่ A1 และ B1 เน้นปัญหาภาพรวมในระดับโลก

แบบจำลองเชิงตัวเลข PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)

เป็นแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค (Regional Climate Models; RCMs) ที่พัฒนาขึ้นที่ The met office hadley centre for climate prediction and research ประเทศอังกฤษ โดยมีเป้าหมายเพื่อสร้างแบบจำลองที่สามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่ทั่วโลกโดยคำนวณได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลประสิทธิภาพสูงเพื่อตอบสนองความต้องการของประเทศต่างๆ ที่มีความประสงค์จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของภูมิภาคตัวเอง โดยมีพื้นฐานการพัฒนามาจากแบบจำลองภูมิอากาศระดับภูมิภาค รุ่นที่ 3 ของ Hadley Centre โดยเน้นการพัฒนาที่ความสะดวกของการใช้งาน และการแสดงผลแก่ผู้ใช้แบบจำลอง PRECIS สามารถให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพอากาศที่ดีกว่าแบบจำลอง GCMs โดยมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ประมาณ 0.22 องศา หรือประมาณ 25 กิโลเมตร และสามารถลดขนาด (downscale) ได้ถึงประมาณ 20x20 ตารางกิโลเมตร⁸

ข้อมูลที่ต้องการจากแบบจำลอง PRECIS จะมีทั้งหมด 43 ปี ซึ่งจะแบ่งเป็นปีฐาน จำนวน 13 ปี คือระหว่าง พ.ศ. 2546-2558 สำหรับการเปรียบเทียบ และการตรวจสอบ ปีอนาคต จำนวน 30 ปี คือระหว่าง พ.ศ.2559-2589 แบบจำลอง PRECIS จะแสดงข้อมูลปริมาณฝนเป็นรายวันใน 1 ปี ที่ตำแหน่ง

ตามพิกัดกริดแบบละติจูด (latitude) และลองจิจูด (longitude) โดยพื้นที่ศึกษาจะอยู่ระหว่างพิกัด 18° 00'00" N, 102° 12'00" E และ 16° 48'00" N, 103° 24'00" E และใช้ตำแหน่งพิกัดกริดจำนวน 22 จุด Figure 2 เป็นตำแหน่งที่จำลองคาดการณ์ปริมาณฝน

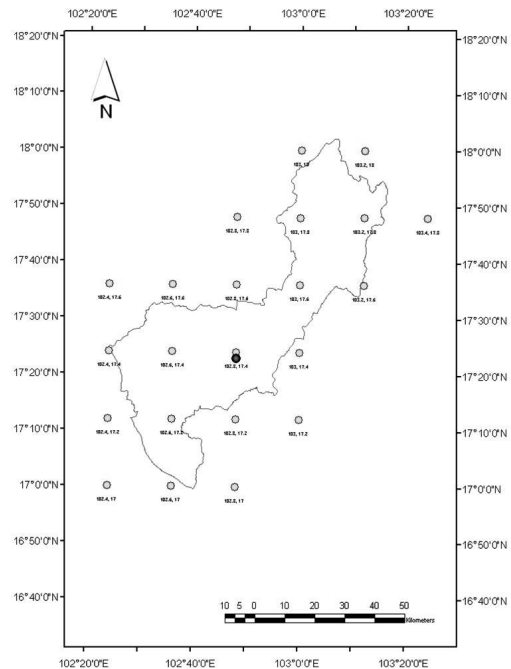


Figure 2 Location of grid point

เนื่องจากการคาดการณ์ปริมาณฝนบนพื้นฐานของแบบจำลองนั้นจะมีข้อจำกัดที่อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นการทดสอบความถูกต้องของผลการคำนวณจากแบบจำลองจึงมีความจำเป็น^{8,9} ด้วยเหตุนี้ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง PRECIS ที่จะนำมาใช้ในการศึกษาจะต้องมีการทดสอบความถูกต้องโดยการใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศ โดยการเปรียบเทียบผลการจำลองปริมาณฝนจะต้องใช้ข้อมูลที่ตำแหน่งเดียวกัน วิธีการเปรียบเทียบและตรวจสอบข้อมูลสภาพภูมิอากาศสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ผู้ศึกษาได้เลือกพื้นที่สำหรับทำการเปรียบเทียบและตรวจสอบข้อมูลคือพื้นที่ลุ่มห้วยหลวง ซึ่งจะทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ณ ตำแหน่งพิกัด 17° 23' N, 102° 48' E เนื่องจากเป็นสถานีตรวจอากาศที่ใกล้กับตำแหน่งที่มีข้อมูลคาดการณ์มากที่สุด ดังแสดงใน Figure 2
2. ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงระหว่างปี พ.ศ. 2546 - 2558 จะทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในปีเดียวกัน โดยจะต้องทำการเฉลี่ยข้อมูลเป็นรายเดือนสำหรับแต่ละปีจากการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัด

จริง และข้อมูลจากแบบจำลอง พบว่าปริมาณฝนจากการตรวจวัดจริงมีค่ามากกว่าปริมาณฝนจากแบบจำลองจึงควรมีการปรับแก้

3. จากความแตกต่างของข้อมูลที่พบในข้อ 2. ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในปีเดียวกันมาคำนวณหาค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ (C_R) สำหรับใช้ในการปรับแก้ที่ได้จากแบบจำลองเป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้น ๆ ดังแสดงในสมการที่ 1

$$C_R = \frac{R_{\text{scenario}}}{R_{\text{baseline}}} \quad (1)$$

โดยที่ C_R = ค่าคงที่สำหรับการปรับแก้ข้อมูลฝน
 R_{scenario} = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง (มิลลิเมตร)
 R_{baseline} = ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนปีฐาน

4. ค่าที่ได้จากการปรับเทียบข้อมูลจากสถานีตรวจวัดจริงกับแบบจำลองจะถูกนำไปใช้ปรับความคลาดเคลื่อนผลการคำนวณ ปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลองเพื่อทดสอบค่าความถูกต้องระหว่างปี พ.ศ.2556 – 2558 (จำนวน 3 ปี) โดยจะต้องมีการปรับแต่งค่า C_R เพื่อให้ได้ค่าความถูกต้องระหว่างข้อมูลตรวจวัดจริง และข้อมูลจากแบบจำลองมากที่สุด และสมการที่ 2 เป็นสมการสำหรับปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนที่ได้จากแบบจำลอง ดังนี้

$$R_{\text{rev}} = R_{\text{model}} \times C_R \quad (2)$$

โดยที่ R_{rev} = ปริมาณฝนที่ปรับแก้แล้ว (มิลลิเมตร)
 R_{model} = ปริมาณฝนจากแบบจำลอง (มิลลิเมตร)
 C_R = ค่าคงที่สำหรับการปรับแก้ข้อมูลฝน

นำค่า C ที่ผ่านการปรับเทียบแล้วไปทดสอบกับข้อมูลตรวจวัดจริงในปี พ.ศ.2556 - 2558 จากนั้นจึงนำผลที่ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในปี พ.ศ.2556 - 2558 สำหรับการประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลปริมาณฝนที่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อน เปรียบเทียบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัด ข้อมูลทั้งสองชุดจะมีการ

ประเมินด้วยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination: R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error, RE)

5. เมื่อค่า C ที่ได้ผ่านการปรับแต่งค่าด้วยวิธีลองผิด – ลองถูก จนทำให้ได้ค่าความสมบูรณ์ของข้อมูล (goodness of fit) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจและค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ เป็นที่น่าพอใจแล้ว ข้อมูลปริมาณฝนรายวันระหว่าง พ.ศ.2559 – 2589 จะถูกนำมาปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่า C ตามวิธีการที่ได้แสดงในสมการที่ 2 ข้อมูลปริมาณฝนที่ได้ผ่านการปรับลดค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว จะถือว่าเป็นข้อมูลที่น่าไปใช้เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา

แบบจำลองสำหรับคำนวณปริมาณน้ำท่า

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้แบบจำลอง NAM Model ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ซึ่งการปรับเทียบแบบจำลองเป็นการหาค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นของแบบจำลองที่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน แต่ในเบื้องต้นได้มีการกำหนดช่วงของค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นแต่ละตัว โดยมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับแบบจำลองซึ่งในขั้นสุดท้ายแล้วค่าพารามิเตอร์เฉพาะถิ่นที่จะนำมาเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำได้นั้น จะได้จากการปรับเทียบระหว่างข้อมูลที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้จริงในสนามโดยใช้หลักเกณฑ์ทางสถิติมาพิจารณาในการตัดสินใจเลือกผลการปรับเทียบแบบจำลอง¹⁰

รายละเอียดการเทียบมาตรฐานแบบจำลอง ดำเนินการดังนี้

1. พิจารณาเลือกช่วงเวลาการปรับเทียบแบบจำลอง โดยใช้ช่วงพ.ศ. 2550-2557
2. นำเข้าข้อมูลขอบเขต (boundary) ของแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน ค่าแพกเตอร์ถ่วงน้ำหนักด้วยวิธีซีสเซนซึ่งการหาฝนเฉลี่ยด้วยวิธีซีสเซนจะมีการหาค่าถ่วงน้ำหนัก โดยพิจารณาพื้นที่ของสถานีฝนที่แบ่งโดยวิธีซีสเซนเทียบกับพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 ลุ่มน้ำย่อยโดยแบ่งตามตำแหน่งสถานี KH.53 และ KH.103 ค่าการระเหย และปริมาณการไหลที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำท่า ของกรมชลประทาน ช่วงปี พ.ศ. 2550-2557
3. ในขั้นต้นได้ทำการปรับเทียบแบบจำลองในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงสถานี KH.53 และ KH.103 Figure 3



Figure 3 Location of gauging stations in Huai Luang watershed

4. ทำการปรับเทียบแบบจำลอง โดยใช้วิธีการปรับเทียบในการ trial and error เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น
5. ปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีปรับเทียบ เพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนที่ติขึ้น โดยเลือกช่วงเวลา (time step) ที่เหมาะสม
6. ทำการปรับเทียบแบบจำลองขั้นสุดท้าย โดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบได้กับพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานี โดยมีสรุปขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลอง

Figure 4

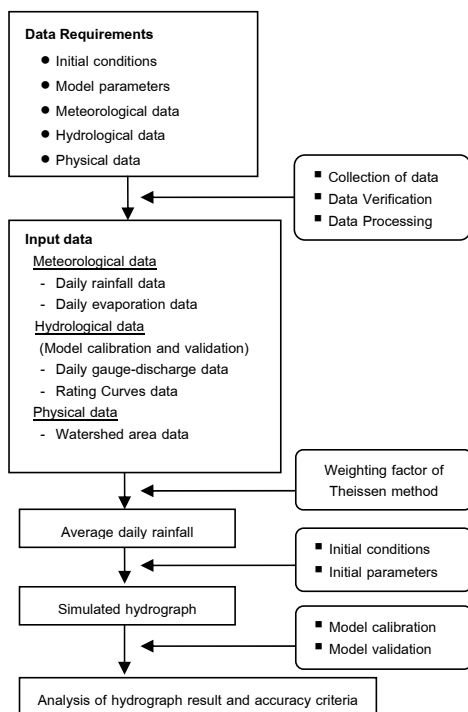


Figure 4 Flow chart of modeling process

การตรวจสอบแบบจำลองเพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากการปรับเทียบมาแล้วว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีนำค่าพารามิเตอร์จากการปรับเทียบแบบจำลองในขั้นสุดท้ายมาใช้สร้างข้อมูลปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำบนที่กไว้ในช่วงปี ข้อมูลนอกเหนือจากช่วงปีที่ทำการปรับเทียบ เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้หลักเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกผลการตรวจสอบแบบจำลองเช่นกับแบบจำลองภูมิอากาศ ซึ่งในศึกษานี้จะพิจารณาช่วงปี พ.ศ. 2555 – 2557 มาใช้ในการตรวจสอบแบบจำลอง

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

ผลการจำลองสภาพภูมิอากาศ

การปรับลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลจากแบบจำลองขั้นตอนแรกในการเตรียมข้อมูลปริมาณฝนในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาระหว่าง พ.ศ.2546 - 2558 (ปีฐาน) และ พ.ศ.2559 - 2589 (ปีคาดการณ์) จากแบบจำลอง PRECIS กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 จำเป็นจะต้องมีการปรับลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนโดยการนำข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลองนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณฝนที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศจังหวัดอุดรธานี ผลการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปริมาณฝนจากแบบจำลองและสถานีตรวจอากาศ ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนปีฐานเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลอง PRECIS (เส้นประสีแดง) มีค่าสูงกว่าค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนที่ตรวจวัดจากสถานีตรวจอากาศ (เส้นทึบสีน้ำเงิน) ดังนั้นจึงควรมีการปรับลดค่าปริมาณฝนจากแบบจำลองเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดจริงมากที่สุด จากผลความแตกต่างของข้อมูลจากแบบจำลอง และข้อมูลตรวจวัดจริง ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยในปีเดียวกันมาคำนวณหาความแตกต่างระหว่างข้อมูลจริงกับแบบจำลองแยกเป็น 2 กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ยระหว่างปี พ.ศ.2546 - 2558 เป็นฐานสำหรับการคำนวณค่าความแตกต่างระหว่างข้อมูลทั้งสอง โดยใช้สมการ 1 ซึ่งจะทำให้ได้ค่าคงที่ (C_r) สำหรับใช้ในการปรับค่าที่ได้จากแบบจำลองกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 เป็นรายเดือนที่ตำแหน่งนั้นๆ ผลการปรับเทียบและตรวจสอบข้อมูลปริมาณฝนสามารถแสดงดังรูป Figure 6 และ Figure 7

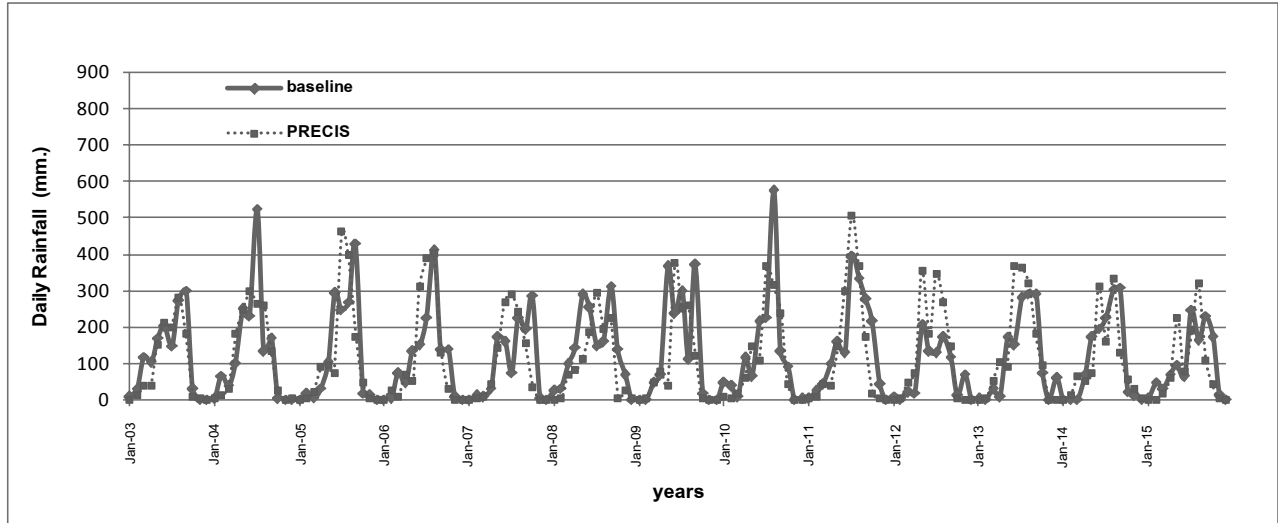


Figure 5 Rainfall data from baseline and PRECIS model

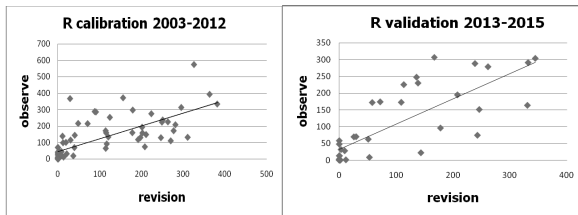


Figure 6 Calibration and validation results (A2)

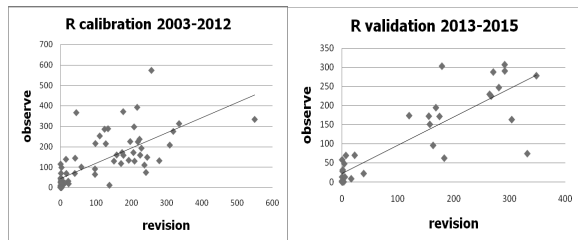


Figure 7 Calibration and validation results (B2)

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า

ผลการเปรียบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง สำหรับ สถานีวัดน้ำท่าการปรับเทียบแบบจำลอง สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 2 สถานี ในลุ่มน้ำห้วยหลวง จากสถานี KH.53 และ KH.103 แยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ได้พิจารณาเลือกช่วงเวลาปีฐานของแบบจำลอง โดยใช้ช่วง ค.ศ. 2003 - 2015 (พ.ศ. 2546 - 2558) การปรับเทียบระหว่าง ค.ศ. 2003 - 2012 (พ.ศ. 2546 - 2555) และตรวจสอบแบบจำลอง ค.ศ. 2013 - 2015 (พ.ศ. 2556 - 2558) นำเข้าข้อมูลขอบเขตของแบบจำลอง ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน โดยหาค่าสัดส่วนการถ่วงน้ำหนักของสถานีน้ำฝนโดยวิธีสี่เส้นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจากพิกัดกริดของ PRECIS ค่าการระเหยและปริมาณการไหลที่ตรวจวัดจากสถานีวัดน้ำท่า นำข้อมูลที่

ได้จากการรวบรวมมาประยุกต์ใช้กับแบบจำลองปริมาณน้ำท่าทำการปรับเทียบแบบจำลองปริมาณน้ำท่า ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีปรับเทียบเพื่อให้ได้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนรายวันที่ดีขึ้น โดยเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมทำการปรับเทียบแบบจำลองขั้นสุดท้ายโดยประยุกต์ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับเทียบได้กับพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานี

การตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากการปรับเทียบมาแล้วว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีหาค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการสอบเทียบมาตรฐานแบบจำลองมาใช้สร้างข้อมูลปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำฝนที่กักไว้ในช่วงปีข้อมูลนอกเหนือจากช่วงปีที่ทำการปรับเทียบเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสอง โดยใช้หลักเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ เลือกผลการตรวจสอบแบบจำลองมาพิจารณา จากการพิจารณาได้เลือกช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 มาใช้ในการตรวจสอบแบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า ดังกล่าวไว้ในหัวข้อวิธีการศึกษาต่อไปนี้เป็นารแสดงผลการปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลองปริมาณน้ำท่าสำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ดังนี้

1. สถานีวัดน้ำท่า KH.53

สถานี KH.53 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งบ้านหนองวัวซอ อ.หนองวัวซอ จ.อุดรธานี สถานี KH.53 มีพื้นที่รับน้ำฝน 421 ตารางกิโลเมตร จากผลการศึกษาผลการสอบเทียบแบบจำลอง กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ช่วงพ.ศ. 2550-2554 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยและค่า R² เฉลี่ย (Table 1) พบว่าค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการปรับเทียบแบบจำลอง กรณีคาดการณ์ A2 ช่วงปี พ.ศ. 2550

- 2554 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.870 กรณีคาดการณ์ B2 ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.855 การตรวจสอบแบบจำลองกรณีคาดการณ์ A2 ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.921 กรณีคาดการณ์ B2 ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.916

2. สถานีวัดน้ำท่า KH.103

สถานี KH.103 เป็นสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งบ้านท่าตูม อ.เมือง จ.อุตรธานี สถานี KH.103 มีพื้นที่รับน้ำฝน 1,656 ตารางกิโลเมตร จากผลการศึกษาผลการเปรียบเทียบแบบ

จำลอง กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ช่วงพ.ศ. 2550-2554 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น ได้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ย และค่า R^2 เฉลี่ย (Table 1) พบว่าค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง กรณีคาดการณ์ A2 ช่วงปี พ.ศ. 2550 - 2554 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.851 กรณีคาดการณ์ B2 ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.877 การตรวจสอบแบบจำลองกรณีคาดการณ์ A2 ช่วงปี พ.ศ. 2555 - 2557 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R^2 มีค่าเท่ากับ 0.933 กรณีคาดการณ์ B2 ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.920

Table 1 Correlation coefficient in simulated runoff

Station	Calibration Period	Correlation Coefficient	Validation Period	Correlation Coefficient
KH.53				
Scenario A2	2007-2011	0.870	2012-2015	0.921
Scenario B2	2007-2011	0.885	2012-2015	0.916
KH.103				
Scenario A2	2007-2011	0.851	2012-2015	0.933
Scenario B2	2007-2011	0.877	2012-2015	0.920

จากค่า R^2 ที่คำนวณได้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ดังนั้นนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าในอนาคตจากข้อมูลฝนและการระเหย ของ PRECIS ช่วงเวลาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต 30 ปี โดยใช้ช่วงข้อมูลทุกๆ 5 ปี คือ พ.ศ. 2564, พ.ศ. 2569, พ.ศ. 2574, พ.ศ. 2579, พ.ศ. 2584 และ พ.ศ. 2589

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในปีอนาคต

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในปีอนาคต สำหรับสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 2 สถานี ในลุ่มน้ำห้วยหลวงจากสถานี

KH.53 และ KH.103 แยกเป็นกรณีคาดการณ์ A2 และ B2 ได้พิจารณาเลือกช่วงเวลาการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าในอนาคต 30 ปี โดยใช้ช่วงข้อมูลทุกๆ 5 ปี คือ พ.ศ. 2564, พ.ศ. 2569, พ.ศ. 2574, พ.ศ. 2579, พ.ศ. 2584 และ พ.ศ. 2589 นำเข้าข้อมูลขอบเขตของแบบจำลองปริมาณน้ำท่า ซึ่งได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝน PRECIS ค่าการระเหย โดยใช้ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยจากการเปรียบเทียบแบบจำลองปีฐาน มาใช้ในการการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า ในปีอนาคต Figure 8 - 11

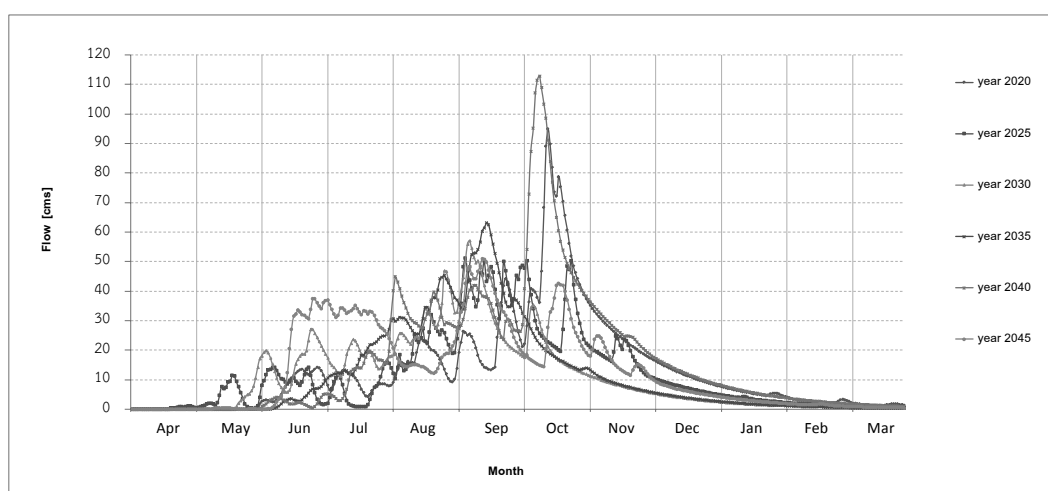


Figure 8 Simulated hydrographs of station KH.53 (Scenario A2)

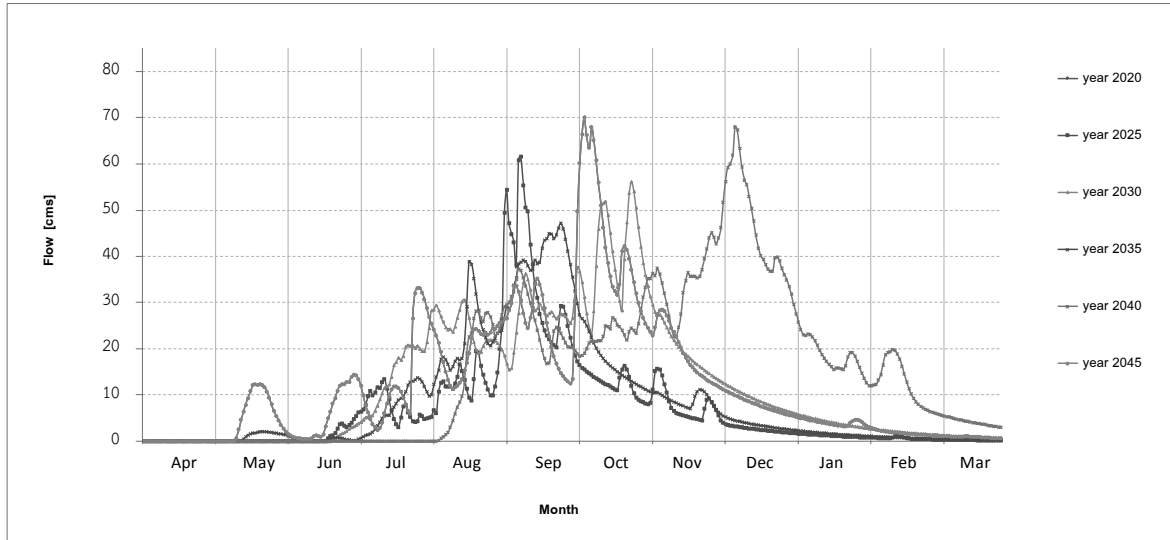


Figure 9 Simulated hydrographs of station KH.53 (Scenario B2)

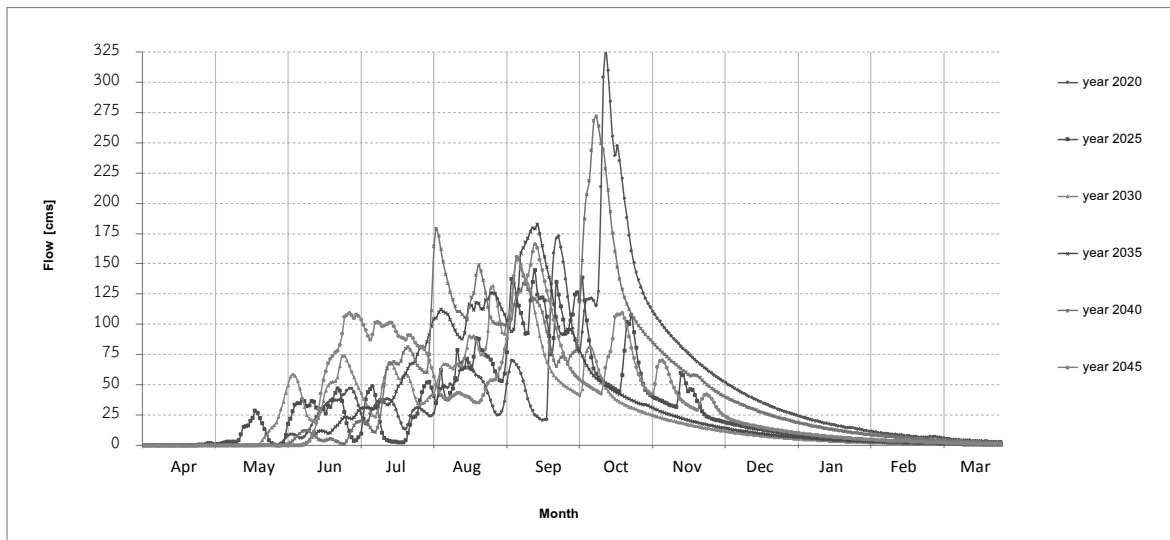


Figure 10 Simulated hydrographs of station KH.103 (Scenario A2)

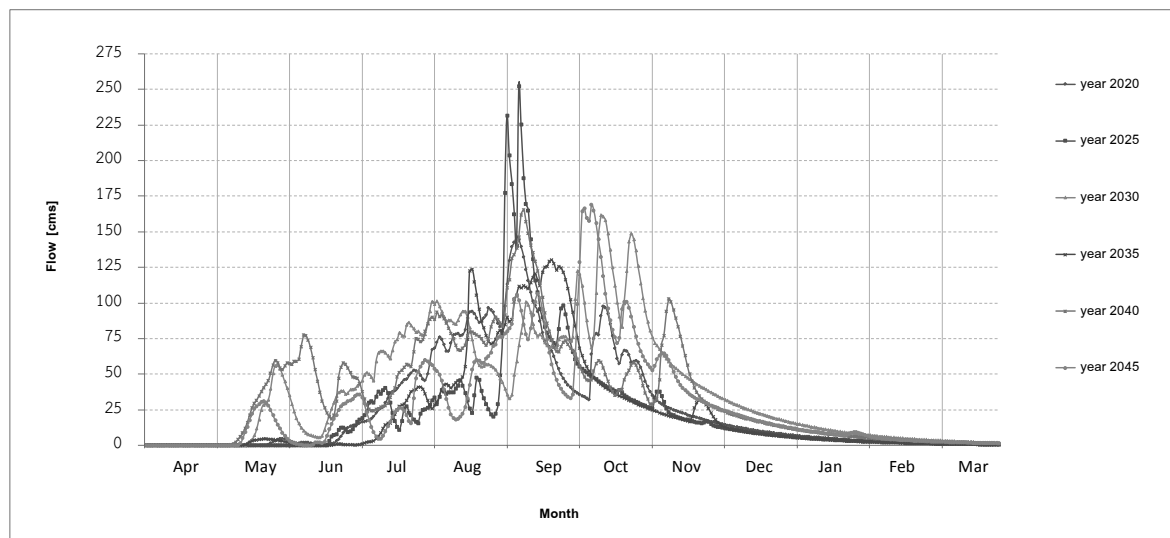


Figure 11 Simulated hydrographs of station KH.103 (Scenario B2)

Table 2 Runoff and peak flow of station KH.53

	Base	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Scenario A2							
Runoff (mm./year)	114	145	138	134	127	178	171
Difference from baseline (mm./year)		31	24	20	13	64	57
Peak flow (m ³ /s)	55	95	50	57	63	113	51
Difference from baseline (m ³ /s)		40	-5	2	8	58	-4
Scenario B2							
Runoff (mm./year)	119	162	156	159	143	184	179
Difference from baseline (mm./year)		43	37	40	24	65	60
Peak flow (m ³ /s)	59	70	62	56	47	68	68
Difference from baseline (m ³ /s)		11	3	-3	-12	9	9

Table 3 Runoff and peak flow of station KH.103

	Base	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Scenario A2							
Runoff (mm./year)	142	186	193	159	155	242	201
Difference from baseline (mm./year)		44	51	17	13	100	59
Peak flow (m ³ /s)	161	326	145	155	183	272	167
Difference from baseline (m ³ /s)		165	-16	-6	22	111	6
Scenario B2							
Runoff (mm./year)	146	209	187	168	163	234	197
Difference from baseline (mm./year)		63	41	22	17	88	51
Peak flow (m ³ /s)	162	146	252	162	130	166	169
Difference from baseline (m ³ /s)		-16	90	0	-32	4	7

จากกราฟผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่า กรณีคาดการณ์ A2 และ B2 มีความแตกต่างกัน ค่าที่ติดลบเกิดจากในบางปี peak ต่ำจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต กรณีคาดการณ์ A2 มีปริมาณน้ำสูงสุด (peak) รุนแรงกว่ากรณีคาดการณ์ B2 ในปี ค.ศ. 2020 (พ.ศ.2563), ค.ศ. 2025 (พ.ศ.2568) และ ค.ศ. 2040 (พ.ศ.2583) ปริมาณน้ำสูงสุด (peak) จะสูงมากมีแนวโน้มว่าน้ำท่าจะมีปริมาณมาก มีโอกาสเกิดน้ำท่วมฉับพลัน ควรที่จะระวังเรื่องน้ำท่วม ในปี ค.ศ. 2030 (พ.ศ.2573) peak จะต่ำมากๆ มีแนวโน้มว่าน้ำท่าจะมีปริมาณน้อย ให้ระวังในเรื่องน้ำแล้ง และในปีค.ศ. 2040 (พ.ศ.2583) เกิดฤดูกาลเปลี่ยนมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก มีฝนตกมากในเดือนธันวาคมซึ่งเป็นฤดูหนาวกลับมีฝนตกช่วงฤดูฝนไม่มีฝนตกเกิดภาวะน้ำแล้ง ดังแสดงใน Table 2 และ 3 ผลการวิเคราะห์น้ำท่า และปริมาณน้ำสูงสุด (peak) ในอนาคต

การวิเคราะห์ข้อมูลในอดีตด้วยสมการถดถอยเพื่อสร้างสมการประเมินปริมาณน้ำในลุ่มน้ำระหว่างปี พ.ศ.2546-2558 ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษามีปริมาณฝนเฉลี่ยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 30 ปีอนาคตข้างหน้า จากการนำค่าพารามิเตอร์ของสถานีวัดน้ำท่า KH.53 และ KH.103 มาคำนวณปริมาณน้ำท่า พบว่าปริมาณน้ำท่าในอนาคตมีน้ำท่ารายปีของกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 79.57 และ 246.75 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และน้ำท่าเฉลี่ยรายปีของกรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 81.25 และ 271.58 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคตมีค่ามากกว่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในปัจจุบันทั้งกรณีคาดการณ์ A2 เท่ากับ 30.70 และ 33.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ กรณีคาดการณ์ B2 เท่ากับ 37.82 และ 32.19 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา พบว่าผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำห้วยหลวง โดยใช้แบบจำลอง PRECIS ในเงื่อนไขการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซเรือนกระจกประเภท A2 และ B2 ของ IPCC SRES และใช้ข้อมูลตั้งต้นจากแบบจำลองระดับ GCMs ECHAM4 โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการคาดการณ์สภาพภูมิอากาศล่วงหน้า โดยได้มีการปรับลดความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จาก PRECIS ด้วยวิธีการสร้างค่าสัมประสิทธิ์จากการ rescale ของผลต่างระหว่างข้อมูลที่ตรวจวัดจริงจากสถานีตรวจอากาศในพื้นที่และข้อมูลจากแบบจำลอง ผลสรุปจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง มีปริมาณฝนเฉลี่ยมีแนวโน้มสูงขึ้น และปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีในอนาคตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำท่าสถานี KH.53 กรณีคาดการณ์ A2 ต่ำกว่ากรณีคาดการณ์ B2 สอดคล้องกับกรณีคาดการณ์ A2 ที่การพัฒนาในอนาคตของโลกมีความหลากหลาย จำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการเติบโตทางเศรษฐกิจ และการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยี การพัฒนาที่ก่อให้เกิดสิ่งปลูกสร้างต่างๆ และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ทำให้ปริมาณน้ำท่าในอนาคตมีแนวโน้มลดลง จะเห็นว่านอกจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นจนส่งผลให้น้ำที่ซึมลงสู่ใต้ดินทำให้ปริมาณน้ำท่ามีค่าเพิ่มมากขึ้นตาม อย่างไรก็ตาม ปริมาณฝนยังคงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ปริมาณน้ำท่ามีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปี รวมถึงส่งผลกระทบต่อปัจจัยทางอุทกวิทยาอื่นๆ ส่วนผลกระทบจากปริมาณน้ำท่าสูงสุดกรณีคาดการณ์ A2 จะรุนแรงกว่ากรณีคาดการณ์ B2 จึงมีแนวโน้มว่าจะเกิดน้ำท่าฉับพลัน และเกิดน้ำท่าฉับพลันตามมาอาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สิน ถ้าจะมีการจัดการน้ำควบลดการขยายตัวของชุมชน ประชากร หรือมีการควบคุมการขยายตัวของประชากร เน้นการพัฒนาที่แก้ปัญหาด้านเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน จะส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยไม่เกิด peak สูง แต่มีปริมาณน้ำท่าตลอดทั้งปีสำหรับใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความสะดวก สนับสนุนเครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนถึงสถานที่ห้องวิจัยแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ชูพันธุ์ ชมภูจันทร์. ภูมิศาสตร์และสภาวะแวดล้อมโลก. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.baanjommyut.com/library/global_community/01_5_3.html, เข้าดูเมื่อวันที่ 27/08/2558.
2. Shrestha B. และคณะ (2013) Impact of climate change on sediment yield in the Mekong River basin: a case study of the Nam Ou basin, Lao PDR. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1-20.
3. Feng Jiang (2013, April) Impact of climate change on water supply of off-stream reservoir. 2013 Georgia Water Resource Conference, Georgia, USA.
4. Wei Xiong, et al. (2010) Climate change, water availability and future cereal production in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 135, 58-69..
5. สถาบันแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม (2558) สํารวจจัดทำรายงานความเหมาะสม โครงการศึกษาแผนพัฒนาลุ่มน้ำห้วยหลวงตอนล่าง จังหวัดอุดรธานีและหนองคาย. รายงานความก้าวหน้า. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
6. อํานาจ ชิดไชสง, กัณฑ์ริย์ บุญประกอบ, เจียมใจ เครือสุวรรณ และศุภกร ชินวรโรจน์ (2553) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย เล่มที่ 2 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิอากาศในอนาคต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.
7. IPCC. (2001) Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II, and III to the Third Assessment Report of the Inter Governmental Panel on Climate Change, [Watson R. T. and Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 398 pp.
8. Nazrul Islam Md., Rafuddin M., Ahsan Uddin Ahmed and Rupa Kumar Kolli (2008) Calibration of PRECIS in employing future scenarios in Bangladesh, *International Journal of Climatology*, 28, 617-628.
9. นัฏฐพล ทองแท่ง, และเสวี สุภราทิพย์ (พฤษภาคม 2557) ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณฝนประเทศไทย. เอกสารนำเสนอในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาครั้งที่ 19, ขอนแก่น.
10. วิษุวัตม์ แต่สมบัติ (2546) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำนองสูงสุดของลุ่มน้ำคลองท่าตะเภา และลุ่มน้ำคลองชุมพร โดยแบบจำลองทางอุทกวิทยา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร

Influence of High Organic Substances Concentrations in Fermented Rice Noodle (Khanomjeen) Factory Wastewater on Efficiency Wastewater Treatment of *Vetiveria Zizanioides* Nash. and *Cyperus Corymbosus* Rottb.

ชัชณพพงศ์ ประทุม¹

Chitsanuphong Pratum¹

Received: 18 February 2016 ; Accepted: 17 June 2016

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชบำบัดน้ำเสีย (หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร) โดยการทดลองบำบัดน้ำเสียในหน่วยทดลองขนาดเล็ก ซึ่งทำการขังแช่น้ำเสียเป็นเวลา 5 วัน และพักให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียว และการบำบัดน้ำเสียโดยใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลองเผยให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูง (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) ที่ $3,669.70 \pm 134.50$ มิลลิกรัมต่อลิตร ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของทั้งหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวและหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย หน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวสามารถลดซีโอดีได้ที่ 121.65 ± 50.17 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบแรกของการบำบัด (7 วัน) ในส่วนของหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร สามารถลดซีโอดีได้ที่ 140.63 ± 16.24 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบที่ 4 ของการบำบัด (28 วัน) และ 128.65 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ของรอบที่ 3 ของการบำบัด (21 วัน) ตามลำดับ โดยซีโอดีจากน้ำทิ้งที่ได้เกินกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดจากหน่วยทดลองที่ใช้วัสดุปลูกพืชร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสีย พบว่า หญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพในการบำบัดดีกว่ากกกลมจันทบูร โดยพบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ p - value < 0.05 จากการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าพืชบำบัดน้ำเสียมีความทนทานต่อสารอินทรีย์ปริมาณสูงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ของการทดลองเท่านั้น โดยประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจะลดลงตามระยะเวลาการบำบัด ดังนั้นผลทดลองจากการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตขนมจีนต่อไปได้

คำสำคัญ: น้ำเสียโรงงานขนมจีน ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย หญ้าแฝกหอม กกกลมจันทบูร

Abstract

The purpose of this study was to determine the influence of high organic substances with concentrations in fermented rice noodle (Khanomjeen) factory wastewater on the efficiency wastewater treatment of plants (*Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb.). Addition, The continuous flow condition and 5-days stagnation and 2-days releasing condition experiments were performed in the bath – flow wastewater treatment system. This study was divided into 2 parts namely; wastewater treatment by use of grown materials (GMs) only and wastewater treatment by use of grown materials combining with plants (GPs). The results revealed that high concentrations of organic substances (show in form of chemical oxygen demand; COD) at $3,669.70 \pm 134.50$ mg/L have more effect with

¹ นักวิจัย คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล จังหวัดนครปฐม 73170.

¹ Researcher, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahidol University, Nakhon Pathom province, 73170 Thailand, E-mail: chitsanuphong.pra@mahidol.ac.th

efficiency wastewater treatment of GMs and GPs. The GMs could be reduced COD to 121.65 ± 50.17 mg/l at the 1 week-cycle (7 days). In part of GPs, *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. could be reduced COD to 140.63 ± 16.24 mg/l at the 4 week-cycles (28 days) and 128.65 ± 0.00 mg/l at the 3 week-cycles (21 days), respectively. The COD of effluent exceeded 120 mg/l which the limitation COD value of the Department of industrial works. From GPs experiment units, *Vetiveria zizanioides* Nash. has higher treatment efficiency than *Cyperus corymbosus* Rottb., which the statistically significant difference was detected with the p - value < 0.05. In conclusion, plants had tolerance to high concentration of organic substances for a short duration of the experiment only. The effectiveness of wastewater treatment will decreased following the period of treatment cycles. Therefore, the results of these studies could be considered to apply for fermented rice noodle (Khanomjeen) factory wastewater treatment.

Keywords: Fermented rice noodle factory wastewater, Efficiency wastewater treatment, *Vetiveria zizanioides* Nash., *Cyperus corymbosus* Rottb.

บทนำ

การลักลอบปล่อยน้ำเสียจากโรงงานผลิตอาหาร ณ ปัจจุบันอยู่ในภาวะที่รุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรงงานผลิตอาหารขนาดเล็ก โรงงานขนมจีน ถือเป็นโรงงานผลิตอาหารประเภทหนึ่งที่มีทั้งขนาดเล็กจนไปถึงขนาดใหญ่กระจายอยู่ทั่วประเทศของประเทศไทย^{2,7} โดยน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนจะมีลักษณะสีขุ่น ซึ่งเกิดจากแป้งข้าวเจ้าในกระบวนการผลิตทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์สูงมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าบีโอดี (biochemical oxygen demand:BOD) ค่าซีโอดี (chemical oxygen demand:COD) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (total dissolved solids:TDS) มีปริมาณสูงตามไปด้วย จากการศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานขนมจีนในจังหวัดฉะเชิงเทรา ราชบุรี และขอนแก่น พบว่า มีค่าบีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 23,253 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าซีโอดีเฉลี่ยสูงถึง 17,109 มิลลิกรัมต่อลิตร^{5,10,18,20,21,22} ซึ่งสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่กำหนดให้ค่าบีโอดีอยู่ที่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่าซีโอดีอยู่ที่ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร⁶ จากรายงานของวรพจน์⁸ ยังเผยให้เห็นว่า โรงงานขนมจีนสามารถก่อให้เกิดปัญหาด้านกลิ่นเหม็นรบกวนอย่างรุนแรงที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน²⁵ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของชุมชนบริเวณโดยรอบโรงงาน ปัจจุบันได้มีหลากหลายงานวิจัยที่คิดค้นและออกแบบเทคโนโลยีเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนมจีน^{5,8,10,17,18,21} โดยการใช้พืชบำบัดน้ำเสียถือเป็นหนึ่งในวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งการใช้พืชบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบบึงตามธรรมชาติสามารถลดสารอินทรีย์ได้สูงสุดถึงร้อยละ 96¹⁵ นอกจากนี้การใช้พืชบำบัดน้ำเสียยังเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อย ไม่มีการใช้สารเคมี แต่ยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่ต้องใช้พื้นที่จำนวนมากเพื่อทำให้ระบบบำบัดมี

ประสิทธิภาพ ทั้งนี้พืชบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ พืชบำบัดน้ำเสียประเภทโพล์พอน้ำ (emergent plant) อาทิ ธูปฤๅษี ต้นกก และต้นอ้อ เป็นต้น และพืชบำบัดน้ำเสียประเภทหญ้า (gramineae) อาทิ หญ้าแฝก เป็นต้น^{1,4}

จากปัญหาด้านการจัดการระบบบำบัด ขนาดพื้นที่ในการบำบัด และรูปแบบที่เหมาะสมในการบำบัด จึงทำให้ผู้วิจัยต้องการหาสภาวะเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานขนมจีนโดยใช้หน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กร่วมกับพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของปริมาณสารอินทรีย์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนด้วยพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด

วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ใช้ในวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งจากโรงงานขนมจีนแห่งหนึ่งในตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี โดยมีปริมาณสารอินทรีย์ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) อยู่ที่ $3,699.70 \pm 134.50$ มิลลิกรัมต่อลิตร และ (2) น้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น โดยใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพจากงานวิจัยก่อนหน้า¹⁷ น้ำเสียที่ได้มีปริมาณสารอินทรีย์ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดี) อยู่ที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งน้ำเสียโรงงานขนมจีนทั้ง 2 ประเภท ถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 °C ก่อนนำมาใช้ในการทดลอง

การเตรียมพืชบำบัดน้ำเสีย

พืชบำบัดน้ำเสียที่นำมาใช้ในวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) ได้จากโครงการศึกษาวิจัยและ

พัฒนาสิ่งแวดล้อมหมักเบียร์ จังหวัดเพชรบุรี โดยเป็นพืชบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้บำบัดน้ำเสียภายในพื้นที่โครงการ วิธีการเตรียมกล้าพันธุ์ทำโดยนำกล้าพันธุ์ที่มีอายุ 7 วัน มาตัดแต่งลำต้นและรากให้มีความยาวประมาณ 30 เซนติเมตร นำไปปักชำลงในถุงพลาสติกขนาด 8 นิ้ว ทำการเพาะเลี้ยงเป็นระยะ 7 วัน จากนั้นย้ายต้นกล้าลงปลูกในถังพลาสติกทรงกลมขนาดความจุ 30 ลิตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 54 เซนติเมตร โดยทำการปลูก 2 ต้นต่อถัง ซึ่งภายในถังพลาสติกบรรจุโดยเรียงลำดับจากล่างขึ้นบน จำนวน 4 ชั้น ได้แก่ ทราย ทราห์หยาบ ทราห์ละเอียด และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) โดยปรับความสูงของแต่ละชั้นให้อยู่ที่ 7, 2, 1.5 และ 20 เซนติเมตร ตามลำดับ (ดัดแปลงจาก Klomjek & Nitisoravut¹⁴)

การวางแผนการทดลอง

การทดลองบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก โดยทำการวางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD ซึ่งมีหน่วยการทดลองทั้งหมด 3 หน่วยทดลอง แต่ละหน่วยทดลองมีจำนวน 3 ซ้ำ ได้แก่ (1) หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้วัชตูปลูกพีชเพียงอย่างเดียว (Treatment

1 ; T1), (2) หน่วยทดลองที่ใช้วัชตูปลูกพีชร่วมกับหญ้าแฝกหอม (Treatment 2 : T2), และสุดท้าย (3) หน่วยทดลองที่ใช้วัชตูปลูกพีชร่วมกับกกจันทบูร (Treatment 3 ; T3) โดยแต่ละหน่วยทดลองจะทำการบำบัดน้ำเสียโรงงานจีนทั้งที่ไม่มี การบำบัดเบื้องต้น และมีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น

การดำเนินการทดลอง

ทำการถ่ายน้ำประปาออก (จากขั้นตอนการเตรียมพืชบำบัดน้ำเสีย) และพักวัชตูปลูกพีชให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นจึงทำการขังแช่น้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยทดลอง (ตามการวางแผนการทดลอง) โดยให้ขังแช่น้ำเสียโรงงานขนมจีน เป็นเวลา 5 วัน ถ่ายน้ำเสียโรงงานขนมจีนออก และพักวัชตูปลูกพีชให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาการบำบัดน้ำเสียรวมทั้งสิ้น 7 วัน หรือเท่ากับ 1 รอบของการบำบัด (ดัดแปลงจาก Klomjek & Nitisoravut¹⁴) ทั้งนี้ให้ทำการทดลองจนกว่าปริมาณซีโอดีในน้ำทิ้งแต่ละรอบของการบำบัดจะเกินกว่ามาตรฐานที่กำหนด⁶ รูปแบบการทดลองบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก ดังแสดงใน Figure 1

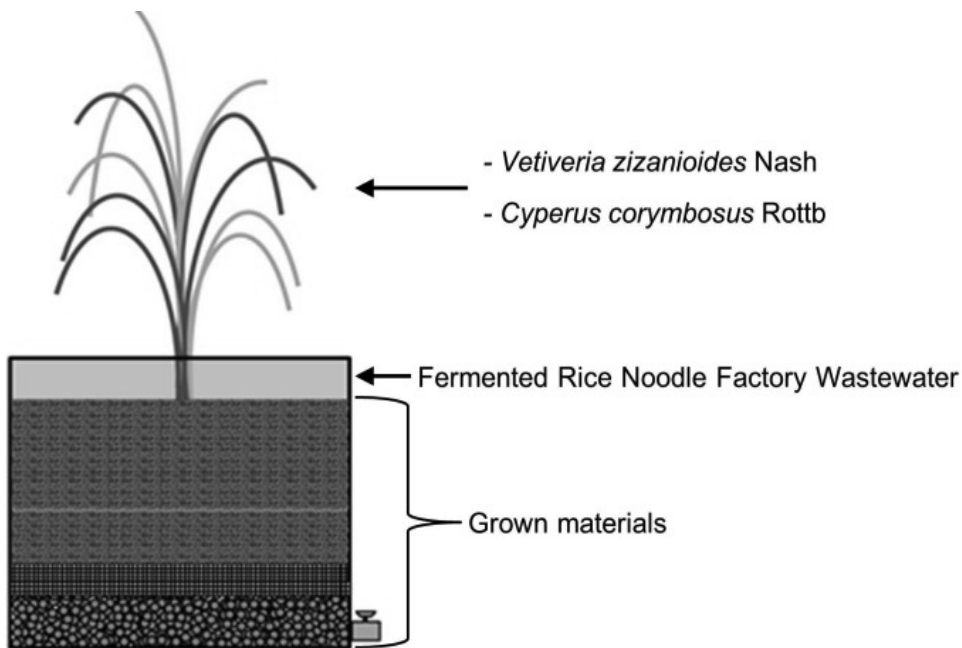


Figure 1 Batch - flow wastewater treatment system

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ผลการทดลองที่ได้จะนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางสอง (Two - way ANOVA) นอกจากนี้ยังทำการทดสอบเปรียบเทียบพหุคูณแบบ Scheffe's Post hoc test Comparison (Scheffe) เพื่อแยกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดไว้ $p - value < 0.05$

ผลการวิจัย

การทดลองบำบัดน้ำเสียในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก เพื่อให้ทราบถึงผลของสารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของพืชบำบัด ผู้วิจัยจึงแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

การบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุปลูกพืช

หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้น้ำเสียแบบไม่มีการบำบัดเบื้องต้น พบว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูง (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดีที่ $3,669.70 \pm 134.50$ มิลลิกรัมต่อลิตร) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียแบบไม่มีการบำบัดเบื้องต้น โดยน้ำทิ้งจากรอบแรกของการบำบัดมีปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 121.65 ± 43.45 มิลลิกรัมต่อลิตร และการบำบัดในรอบสุดท้าย (รอบที่ 6 ของการบำบัด) พบว่า ปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 795.58 ± 77.91 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงใน Table 1 ซึ่งค่าซีโอดีตั้งแต่รอบแรกจนถึงรอบสุดท้ายของการบำบัดเกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด (120 มิลลิกรัมต่อลิตร) แต่ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียยังมีประสิทธิภาพสูงตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการทดลอง โดยในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 96.69 ± 1.37 และในรอบสุดท้ายของการบำบัดอยู่ที่ร้อยละ 78.32 ± 2.12 ซึ่งนั่นเนื่องมาจากปริมาณซีโอดีที่สูงมากในน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่มีการบำบัด ($3,699.70 \pm 134.50$ มิลลิกรัมต่อลิตร) เมื่อนำมาคำนวณกับปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดในแต่ละครั้ง จึงทำให้ถูกมองว่าหน่วยทดลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด แต่ในความเป็นจริงต้องมองปัจจัยในส่วนของ ปริมาณซีโอดีของน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ต้องไม่เกินกว่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ดังนั้น

หน่วยทดลองที่ใช้ตัววัสดุปลูกพืชเพียงอย่างเดียวไม่มีความสามารถในการรองรับสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (ซีโอดีปริมาณสูง) ของน้ำเสียโรงงานขนมจีนได้ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น แสดงใน Figure 2 (a)

ในขณะที่หน่วยทดลองควบคุมที่ใช้น้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้น ซึ่งเผยให้เห็นว่าตัววัสดุปลูกพืชที่ใช้ในหน่วยบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กสามารถรองรับสารอินทรีย์ปริมาณต่ำ (แสดงในรูปของปริมาณซีโอดีที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยระบบบำบัดสามารถกำจัดซีโอดีให้มีปริมาณต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดได้ถึง 2 รอบของการบำบัด ซึ่งในรอบแรกของการบำบัดปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 40.44 ± 16.67 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 2 ของการบำบัดปริมาณซีโอดีอยู่ที่ 64.99 ± 25.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงใน Table 1 และเมื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะแปรผันตามระยะเวลาการบำบัด ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดหลังจากรอบที่ 3 ของการบำบัด (ร้อยละ 85.17 ± 5.71 ของการบำบัด) และในรอบสุดท้ายของการบำบัดร้อยละของการบำบัดอยู่ที่ 38.05 ± 5.68 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 2 (b)

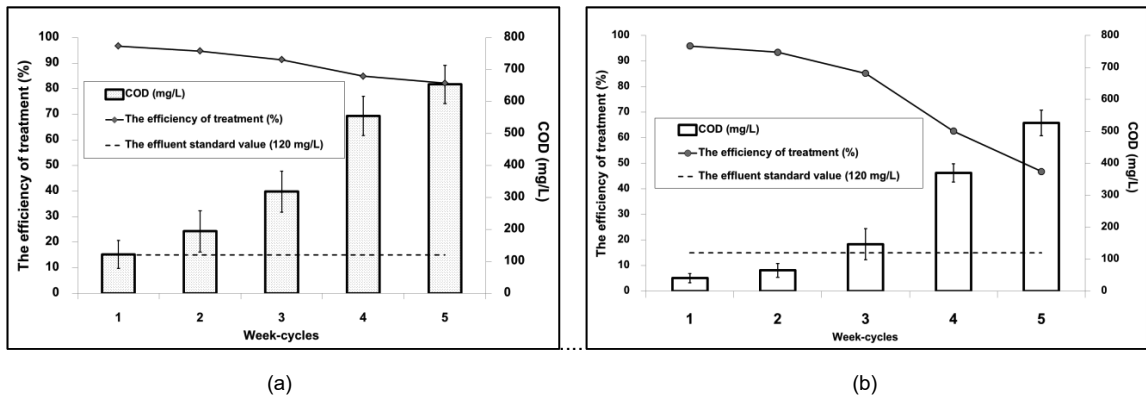


Figure 2 The test of grown materials to treat (a) non pre-treated wastewater and (b) pre-treated wastewater

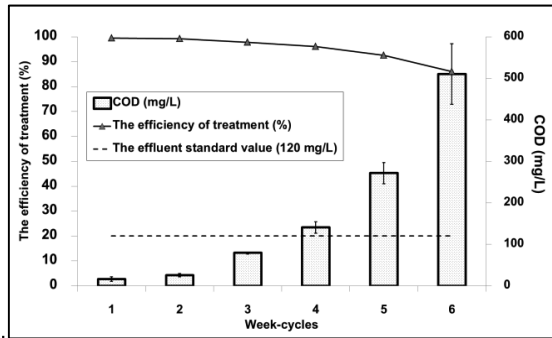
การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสียเป็นการบำบัดน้ำเสียร่วมกันระหว่างวัสดุปลูกพืชกับพืชบำบัดน้ำเสีย โดยรูปแบบการบำบัดน้ำเสียคล้ายคลึงกับการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบพื้นที่ชุ่มน้ำประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวชั้นกรองในแนวนอน (Subsurface Flow Systems)¹² ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พืชบำบัดน้ำเสีย 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides*

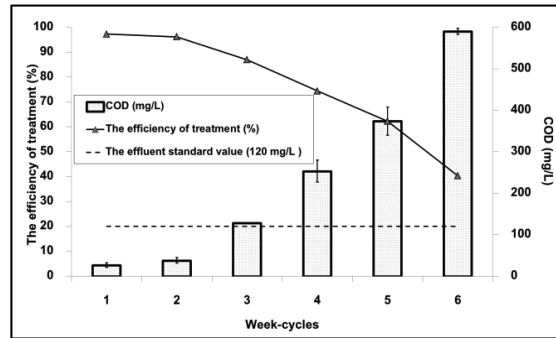
Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของทั้งหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอมสามารถบำบัดน้ำเสียได้ถึง 3 รอบของการบำบัด ดังแสดงใน Figure 3 (a) ซึ่งมีปริมาณซีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 16.03 ± 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการ

บำบัดอยู่ที่ 25.42 ± 4.51 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 79.17 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 99.56 ± 0.17 , 99.31 ± 0.12 และ 97.84 ± 0.00 ตามลำดับ ในขณะที่หน่วยทดลองที่ปลูกกกกลมจันทบูรมีสามารถในการบำบัดน้ำเสียน้อยกว่าหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอม 1 รอบการบำบัด (ดังแสดงใน Table 1) โดยปริมาณชีโอดีในรอบแรกของการ

การบำบัดอยู่ที่ 26.72 ± 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร และรอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 38.12 ± 8.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 99.27 ± 0.17 และ 68.96 ± 0.22 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 3 (b)



(a)

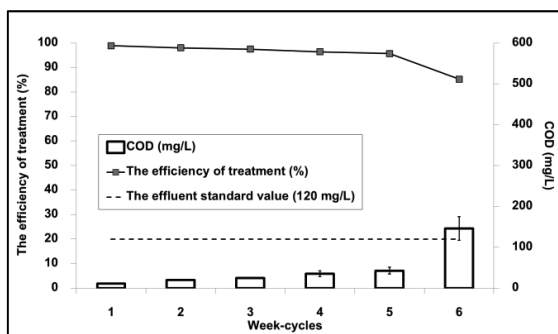


(b)

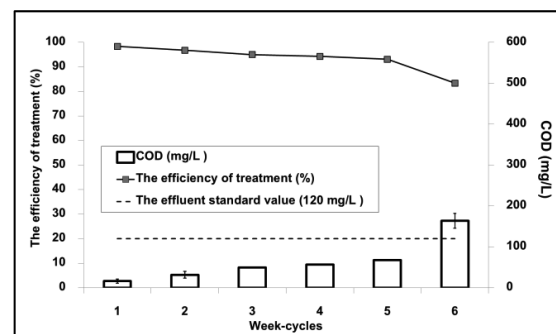
Figure 3 The test of *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. to treat non pre-treated wastewater

ในส่วนหน่วยทดลองที่ใช้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น พบว่า สารอินทรีย์ปริมาณต่ำ (แสดงในรูปของปริมาณชีโอดี อยู่ที่ 988.93 ± 124.89 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในน้ำเสียส่งผลกระทบต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของทั้งหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบูร โดยหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอมสามารถบำบัดน้ำเสียได้ถึง 5 รอบของการบำบัด ดังแสดงใน Figure 4 (a) ซึ่งมีปริมาณชีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 10.69 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 19.55 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 24.74 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 4 ของการบำบัดอยู่ที่ 35.16 ± 8.12 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 5 ของการบำบัดอยู่ที่ 42.46 ± 9.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 98.92 ± 0.00 , 98.02 ± 0.00 , 97.50 ± 0.00 , 96.44 ± 0.82 , $95.71 \pm$

0.99 และ 95.71 ± 0.99 ตามลำดับ ในขณะที่หน่วยทดลองที่ปลูกกกกลมจันทบูรมีสามารถในการบำบัดน้ำเสียเท่ากับหน่วยทดลองที่ปลูกหญ้าแฝกหอม อยู่ที่ 4 รอบการบำบัด (ดังแสดงใน Table 1) ปริมาณชีโอดีในรอบแรกของการบำบัดอยู่ที่ 16.03 ± 6.17 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 2 ของการบำบัดอยู่ที่ 31.70 ± 9.16 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 3 ของการบำบัดอยู่ที่ 49.48 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร, รอบที่ 4 ของการบำบัดอยู่ที่ 56.25 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และในรอบที่ 5 ของการบำบัดอยู่ที่ 67.93 ± 0.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยร้อยละของประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียอยู่ที่ 98.38 ± 0.62 , 96.79 ± 0.93 , 95.00 ± 0.00 , 94.31 ± 0.00 และ 96.13 ± 0.00 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น ดังแสดงใน Figure 4 (b)



(a)



(b)

Figure 4 The test of *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb. to treat pre-treated wastewater

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนของ (1) พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ หญ้าแฝกหอม (*Vetiveria zizanioides* Nash.) และกกกลมจันทบูร (*Cyperus corymbosus* Rottb.) และ (2) รอบการบำบัดน้ำเสีย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าหญ้าแฝกหอม มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้น สูงกว่าทั้งกกกลมจันทบูร และวัสดูปลูกพืช (หน่วยทดลองควบคุม) โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ในส่วนของการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของแต่ละรอบการบำบัด พบว่า ในช่วงแรกของการบำบัด (รอบที่ 1 และ รอบที่ 2) ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดูปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในรอบการบำบัดที่ 3 เป็นต้นไป ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดูปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

แต่ในส่วน of หน่วยทดลองที่บำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนที่มีการบำบัดเบื้องต้น ผลการศึกษาพบว่า หญ้าแฝกหอม มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น เท่ากับกกกลมจันทบูร โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่ในขณะที่พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้น สูงกว่าวัสดูปลูกพืช (หน่วยทดลองควบคุม) ส่วนการเปรียบเทียบการบำบัดน้ำเสียของแต่ละรอบการบำบัด พบว่า ในช่วงรอบที่ 1 ถึงรอบที่ 3 ของการบำบัด ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดูปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในรอบการบำบัดที่ 4 เป็นต้นไป ทั้งพืชบำบัดน้ำเสีย และวัสดูปลูกพืช ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทั้งที่ไม่มีการบำบัดเบื้องต้น และมีการบำบัดเบื้องต้น แสดงใน Table 1

Table 1 The comparison of efficiency wastewater treatment from *Vetiveria zizanioides* Nash. and *Cyperus corymbosus* Rottb.

Treatment	Week-cycles	The wastewater treatment efficiency			
		Non pre-treated wastewater		Pre-treated wastewater	
		COD (mg/l)	% removal	COD (mg/l)	% removal
T1	1	121.65 ± 50.17	96.69 ± 1.37 ab	40.44 ± 16.67	95.91 ± 1.69 ab
	2	193.94 ± 74.66	94.72 ± 2.03 ab	64.99 ± 25.01	93.43 ± 2.53 ab
	3	318.10 ± 73.46	91.33 ± 2.00 k	146.63 ± 56.44	85.17 ± 5.71 bc
	4	554.95 ± 71.20	84.88 ± 1.94 l	369.97 ± 33.36	62.59 ± 3.37 j
	5	653.18 ± 68.94	82.20 ± 1.88 m	526.30 ± 46.74	46.78 ± 4.73 k
	6	795.58 ± 77.91	78.32 ± 2.12 n	612.68 ± 56.19	38.05 ± 5.68 l
Mean		439.57 ± 9.90	88.02 ± 1.89 C	293.50 ± 16.65	71.32 ± 3.95 C
T2	1	16.03 ± 6.17	99.56 ± 0.17 ab	10.69 ± 0.00	98.92 ± 0.00 ab
	2	25.42 ± 4.51	99.31 ± 0.12 ab	19.55 ± 0.00	98.02 ± 0.00 ab
	3	79.17 ± 0.00	97.84 ± 0.00 c	24.74 ± 0.00	97.50 ± 0.00 bc
	4	140.63 ± 16.24	96.17 ± 0.44 d	35.16 ± 8.12	96.44 ± 0.82 d
	5	271.73 ± 29.79	92.60 ± 0.81 e	42.46 ± 9.80	95.71 ± 0.99 e
	6	510.11 ± 3.28	86.10 ± 0.09 f	145.75 ± 33.66	85.26 ± 3.40 f
Mean		173.85 ± 11.14	95.26 ± 0.27 A	46.39 ± 13.05	95.31 ± 0.87 AB
T3	1	26.72 ± 6.39	99.27 ± 0.17 ab	16.03 ± 6.17	98.38 ± 0.62 ab
	2	38.12 ± 8.05	68.96 ± 0.22 ab	31.70 ± 9.16	96.79 ± 0.93 ab
	3	128.65 ± 0.00	96.49 ± 0.00 g	49.48 ± 0.00	95.00 ± 0.00 bc
	4	253.14 ± 31.74	93.10 ± 0.87 h	56.25 ± 0.00	94.31 ± 0.00 g

Treatment	Week-cycles	The wastewater treatment efficiency			
		Non pre-treated wastewater		Pre-treated wastewater	
		COD (mg/l)	% removal	COD (mg/l)	% removal
	5	373.63 ± 39.47	89.82 ± 1.08 i	67.93 ± 0.00	96.13 ± 0.00 h
	6	590.27 ± 9.13	83.92 ± 0.25 j	163.96 ± 21.04	83.42 ± 2.13 i
	Mean	235.09 ± 15.86	93.92 ± 0.25 B	64.23 ± 8.30	95.51 ± 0.61 AB
	F-test	-	*	-	*
	CV (%)	85.50	7.14	132.22	20.85

T1 = wastewater treatment by use of grown materials (Control treatment).

T2 = wastewater treatment by use of grown materials combining with *Vetiveria zizanioides* Nash.

T3 = wastewater treatment by use of grown materials combining with *Cyperus corymbosus* Rottb.

Uppercase (A, B, and C) shown differ significance of treatment.

Lowercase (a, b, c and f) shown differ significance of week-cycles.

Mean values on the same column with the same letters do not differ significantly.

* = Significant at p – value < 0.05

วิจารณ์และสรุปผล

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อความสามารถในการบำบัดน้ำเสียด้วยวัสดุปลูกพืช อาจแบ่งได้เป็น (ก) ระดับความลึกของชั้นวัสดุปลูกพืช (โดยเฉพาะชั้นดิน) ซึ่งที่ความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร วัสดุปลูกพืชสามารถกรองของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียได้ดียิ่ง ทำให้น้ำเสียที่ผ่านวัสดุปลูกพืชมีลักษณะที่ใสขึ้น และในระยะเวลาความลึกประมาณ 60 เซนติเมตรขึ้นไป วัสดุปลูกพืชสามารถกรองสารอินทรีย์และสารพิษที่สามารถละลายน้ำได้ทั้งหมด (ข) ลักษณะเนื้อดิน โดยดินถือเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของวัสดุปลูกพืช ซึ่งเนื้อดินที่มีอนุภาคดินเหนียวต่ำ (low clay content) จะมีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่าร้อยละ 90^{9,13} โดยชั้นดินที่มีอนุภาคของดินเหนียวเป็นจำนวนมาก ช่องว่างระหว่างดิน (pore space) จะมีจำนวนน้อยซึ่งทำให้น้ำเสียไหลผ่านได้น้อย และเกิดสภาวะน้ำขังในชั้นดินนานเกินไป (ponded condition) ส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียลดลงเป็นอย่างมาก ในทางกลับกัน ดินที่มีทรายหรือกรวดผสมอยู่มากเกินไป น้ำเสียจะมีการไหลผ่านอย่างรวดเร็ว จึงไม่เกิดการขังน้ำในชั้นดินจนทำให้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพเกิดขึ้นน้อยหรือไม่มีการเกิดขึ้น²⁸

นอกจากนี้การใช้กรวด ทรายหยาบ และทรายละเอียดในส่วนผสมของวัสดุปลูกพืชยังช่วยให้พืชสามารถยึดเกาะและเจริญเติบโตได้ดีอีกด้วย¹⁹ และ (ค) จุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการย่อยสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ใช้ออกซิเจนจะทำหน้าที่ย่อยสารอินทรีย์ในช่วงแรกของการขังน้ำเสีย และเมื่อผ่านสภาวะหนึ่งออกซิเจนในระบบบำบัดจะหมดลงจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำหน้าที่ใน

การย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยใช้สารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในระบบบำบัดมาเป็นตัวรีดิวซ์อิเล็กตรอนในกระบวนการเจริญเติบโตจึงเกิดการบำบัดอย่างต่อเนื่องนั่นเอง แต่ในการบำบัดจะต้องมีช่วงการพักการบำบัด (ขังน้ำเสีย) เพื่อป้องกันการอัดแน่นของชั้นวัสดุปลูกพืช (โดยเฉพาะชั้นดิน) และเพื่อให้เกิดการถ่ายเทอากาศภายในชั้นดินอีกด้วย¹¹

ในส่วนของการบำบัดน้ำเสียด้วยพืชบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลองเผยให้เห็นว่า หญ้าแฝกหอมมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีกว่ากกกลมจันทบูรในหน่วยทดลองที่ใช้ น้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 แต่ในหน่วยทดลองที่ใช้ น้ำเสียที่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น ทั้งหญ้าแฝกหอม และกกกลมจันทบูร มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเท่ากัน โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด ช่วยให้การบำบัดน้ำเสียดีขึ้นทั้งในหน่วยทดลองที่ใช้ น้ำเสียที่ไม่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและในหน่วยทดลองที่ใช้ น้ำเสียที่มีการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น โดยพืชบำบัดน้ำเสียจะทำการเปลี่ยนถ่ายก๊าซที่เป็นพิษออก (อาทิ CO₂, N₂, N₂O และ CH₄ เป็นต้น) ให้กับจุลินทรีย์บริเวณรากพืชบำบัดน้ำเสีย ส่งผลทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การแลกเปลี่ยนก๊าซจะเกิดในชั้นดินบริเวณรากพืช (rhizosphere) ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนก๊าซต่างๆ จากบริเวณรากพืชออกสู่ชั้นบรรยากาศและดึงเอาก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศลงสู่บริเวณรากพืชด้วยเนื้อเยื่อแอเรนคิมา (aerenchyma) หรือเนื้อเยื่อลำเลียงอากาศ³ จึงทำให้เกิดปฏิสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่องระหว่างชั้นดิน เชื้อจุลินทรีย์ และสารอินทรีย์^{23,24}

นอกจากนี้สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนยังส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด พบว่า หน่วยทดลองที่ใช้ น้ำเสียที่ไม่มี การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้น กกกลมจันทบุรีมีการเจริญเติบโตและการแตกกอของส่วนในหญ้าแฝกหอมมีการเจริญเติบโตและการแตกกอของส่วนในหญ้าแฝกหอมมีการเจริญเติบโตและการแตกกอของส่วนในหญ้าแฝกหอมมีการเจริญเติบโตและการแตกกอของส่วนในหญ้าแฝกหอม

นอกจากนี้ยังพบอาการใบแห้งกรอบ ซึ่งเริ่มเกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 4 ของการบำบัด ในส่วนของหน่วยการทดลองที่ใช้ น้ำเสียแบบผ่านการบำบัดเบื้องต้น พืชบำบัดน้ำเสียทั้ง 2 ชนิด มีการเจริญเติบโตและการแตกกอตามปกติ โดยพืชทุกชนิดจะตอบสนองต่อปัจจัยภายนอก (สภาพแวดล้อม) ในการเจริญเติบโต อาทิ ภูมิอากาศ, แสง, อุณหภูมิ, น้ำ, ช่วงแสง, ลม, แก๊สต่างๆ, เนื้อดิน, โครงสร้างของดิน, อินทรีย์วัตถุ, CEC, pH ของดิน, วัชพืช, แมลง, โรคระบาด, จุลินทรีย์, และ สัตว์ต่างๆ เป็นต้น²⁶ ซึ่งพืชจะไม่แสดงอาการตอบสนองเมื่อมีปัจจัยนั้นอยู่ในระดับต่ำสุด (minimum) แต่เมื่อมีการเพิ่มปัจจัยนั้นมากขึ้น การตอบสนองจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนแทบจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณปัจจัยที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณหรือความเข้มข้นของปัจจัยนั้นต่อไป อัตราการตอบสนองจะค่อยๆ ลดลงจนจุดเหมาะสม (optimum) จากนั้นจะลดลงไปเรื่อยๆ จนกระทั่งระดับการตอบสนองเท่ากับศูนย์ หรือเรียกว่า จุดสูงสุด (maximum) ซึ่งเกิดจากพืชได้รับปัจจัยในปริมาณที่มากเกินไปหลังจากถึงระยะอิ่มตัว (saturation) จนทำให้เกิดการยับยั้ง (inhibition) หรือเป็นพิษต่อพืชขึ้น จุดที่มีปริมาณของปัจจัยที่ทำให้เกิดการตอบสนองทั้งสามจุดอันได้แก่ จุดต่ำสุด, จุดเหมาะสม และจุดสูงสุดดังกล่าวเรียกว่า จุดคาร์ดินัล (cardinal points) ในพืชแต่ละชนิด แต่ละพันธุ์จะมีการตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆ ในลักษณะเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องของระดับความเข้มข้นของปัจจัยต่อระดับและระยะเวลาการตอบสนองที่ไม่เท่ากันเท่านั้น โดยทั่วไปแล้วการตอบสนองในเชิงปริมาณของพืชต่อปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโต²⁷

งานวิจัยนี้จึงแสดงให้เห็นว่า สารอินทรีย์ปริมาณสูงในน้ำเสียโรงงานขนมจีนมีอิทธิพลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียทั้งด้วยวัสดุปลูกพืชอย่างเดียวหรือด้วยวัสดุปลูกพืชร่วมกับหญ้าแฝกหอมและกกกลมจันทบุรีในหน่วยบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้ (ถังพลาสติกทรงกลมขนาดความจุ 30 ลิตร) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Mosse¹⁶ ที่พบว่า น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นจะมีผลกระทบอย่างมากกับสภาพการแลกเปลี่ยนก๊าซของวัสดุปลูกพืช (soil respiration) การหมุนเวียนธาตุไนโตรเจน (nitrogen cycling) และจำนวนจุลินทรีย์ในวัสดุปลูกพืช (microbial community structure) ซึ่งในทางกลับกันน้ำเสียที่มีการบำบัดเบื้องต้นจะไม่ส่งผลกระทบใดๆ ทั้งสิ้น ดังนั้นเพื่อให้หน่วยบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในงาน

วิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานขนมจีนได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงควรทำการบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นก่อนเข้าสู่หน่วยบำบัดขนาดเล็ก โดยรูปแบบการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ¹⁷ ถือได้ว่าเป็นความเหมาะสมมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Dr. Benjamin C. Schulte ผู้เชี่ยวชาญต่างประเทศที่ช่วยให้ความคิดเห็น แก้ไข ปรับปรุง และเพิ่มเติมบทความภาษาอังกฤษ ให้เกิดความถูกต้องและเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาที่ดิน. เอกสารเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี: การใช้ประโยชน์หญ้าแฝกในการรักษาและฟื้นฟูสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2550.
2. กลุ่มเทคโนโลยีการป้องกันมลพิษ. หลักปฏิบัติเทคโนโลยีการผลิตที่สะอาด (การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการป้องกันมลพิษ) อุตสาหกรรมรายสาขาแป้งขนมจีน. สำนักเทคโนโลยีน้ำและการจัดการมลพิษโรงงาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2549.
3. กัญจน์ ศิลป์ประสิทธิ์. ความสัมพันธ์ทางสรีรวิทยาของต้นข้าวกับการนำพาคาร์บอนจากนาข้าวสู่บรรยากาศ. วารสารวิชาปทุมวัน 2555;2(5):45-53.
4. ดาริกา วสุนทรากุล, สุดสาคร พุงงาม. การใช้พืชน้ำในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์ทักษิณ 2548;2(2):44-55.
5. ประมวล ทรายทอง. การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยา. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2548.
6. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539). กรุงเทพฯ: กระทรวงอุตสาหกรรม; 2540.
7. ลาวัลย์ ไกรเดช. มาตรฐานคุณภาพและเอกลักษณ์ความเป็นไทยของขนมจีนหมักที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม. ปทุมธานี, ศูนย์พันธุ์วิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ; 2545.
8. วรพจน์ รัตนพันธุ์. สภาวะการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนโดยแอนแอโรบิคคอนแทค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2550.

9. Akber A, Al-Awadi E, Rashid T. Assessment of the use of soil aquifer treatment (sat) technology in improving the quality of tertiary treated wastewater in Kuwait. *Emirates Journal for Engineering Research* 2003; 8(2):25-31.
10. Bunnag S, Pimda W, Pongpera S. Utilization of *Spirulina platensis* for wastewater treatment in fermented rice noodle factory. *ELBA Bioflux* 2010; 2(2):39-44.
11. Christen EW, Quayle WC, Marcoux MA, Arienzo M, Jayawardane NS. Winery wastewater treatment using the landfilter technique. *Journal of Environmental Management* 2010; 91:1,665-73.
12. Kadlec RH, Wallace S. *Treatment Wetlands* 2nd ed. Taylor & Francis Group: USA; 2008.
13. Karen M, Brian S. Suitability of Ohio Soils for Treating Wastewater. *Bulletin 896: USA*; 2002.
14. Klomjek P, Nitorisavut S. Constructed treatment wetland: a study of eight plant species under saline conditions. *Chemosphere* 2005; 58:585-93.
15. Kootatep T, Polprasert C, Oanh NTK, Surinkul N, Montangero A, Strauss M. *Constructed Wetlands for Septage Treatment – Towards Effective Faecal Sludge Management*. AIT: Thailand; 2002.
16. Mosse KPM, Patti AF, Smernik RJ, Christen EW, Cavagnaro TR. Physicochemical and microbiological effects of long- and short-term winery wastewater application to soils. *Journal of Hazardous Materials* 2012; 201-2:219-28.
17. Pratum C, Tangkananuruk N, Tangkananuruk K, Sirivithayapakorn S. Enhancement of Biological Wastewater Treatment of Fermented Rice Noodle Industry using *Bacillus subtilis* KJP8. *International Journal of Applied Environmental Sciences* 2014;9(2):285-94.
18. Ratanapongleka K, Siripattanakul S, Suvannapen W, Tummavong J. Utilization of fermented rice noodle effluents for bioethanol production. *International Journal of Chemical and Environmental Engineering* 2010;1(1):13-17.
19. Reed SC, Middlebrooks EJ, Crites RW. *Natural System for Waste Management and Treatment*. McGraw-Hill Inc.: New York; 1988.
20. Sirianuntapiboon S, Yommee S. Application of a new type of moving bio-film in aerobic sequencing batch reactor (aerobic-SBR). *Journal of environmental management* 2008; 78(2):149-56.
21. Siripattanakul S, Ratanapongleka K, Sangthean P, Yootachana K, Pimwongnok K. Fermented rice noodle wastewater treatment and ethanol production potential using entrapped yeast cells. *Water Practice Technol* 2010; 5:1-7.
22. Siripattanakul-Ratpukdi S. Ethanol production potential from fermented rice noodle wastewater treatment using entrapped yeast cell sequencing batch reactor. *Applied Water Science* 2012; 2(1):47-53.
23. Stottmeister U, Wießner A, Kusch P, Kappelmeyer U, Kästner M, Bederski O, Moormann H. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnology Advances* 2003; 22(1):93-117.
24. Wenzel WW. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant and Soil* 2009; (1-2):385-408.
25. Wilkie AC. Anaerobic digestion: biology and benefits. In: *Dairy Manure Management Conference*; 2005 March 15-17; Cornell University, USA; 2005. P. 63-72.
26. Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. *Physiology of Crop Plants*. Iowa State University Press, USA; 1985.
27. Salisbury FB, Ross CW. *Plant Physiology* 2nd ed. Wadsworth Publishing Company, Inc., Belmont, California, USA; 1978.
28. Loomis GW. *Soil based wastewater treatment*. 1999; Available Source: <http://bit.ly/2cl3baq>, September 9, 2016.

คุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรและลักษณะของน้ำเสียฟาร์มสุกร

Quality of Groundwater Used in Swine Farm and Swine Wastewater Characteristics

พันธ์ทิพย์ กล่อมเจ็ก¹

Pantip Klomjek¹

Received: 29 April 2016 ; Accepted: 2 September 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณภาพของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีความแตกต่างกันด้านจำนวนสุกร ระบบการเลี้ยง และการจัดการของเสีย โดยเปรียบเทียบปริมาณมลสารในน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มแต่ละขนาด น้ำผิวดินจาก แหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียง และน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนของการจัดการน้ำเสีย การศึกษาพบน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มมีค่า TDS และ pH อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสุกร น้ำเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดคอก มีสารอินทรีย์ ของแข็ง และ ไนโตรเจนปนเปื้อนสูง โดยมีค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ระหว่าง 1,274.4-4,347.8, 2,798.5-8,268.0, 387.5-1,037.5 และ 188.2-1,713.9 mg/L ตามลำดับ โดยมลสารในน้ำเสียมีค่าไม่แตกต่างกันระหว่างฟาร์มทั้งสองขนาด การศึกษาายังพบว่า น้ำเสีย หลังการบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนของฟาร์มขนาดกลาง มีค่า BOD₅, COD และ TSS ลดลง ขณะที่การกัก พักน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดสามารถลดค่าสารอินทรีย์ ของแข็ง รวมถึงค่าไนโตรเจนในน้ำเสียลงได้ โดย น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาด มีค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ระหว่าง 424.8-1,720.1, 1,036.5-3,000.0, 42.5-254.0 และ 39.2-532.0 mg/L ตามลำดับ ซึ่งยังคงเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้ง ฟาร์มสุกร

คำสำคัญ: น้ำเสียฟาร์มสุกร มลสาร คุณภาพน้ำ มาตรฐานน้ำทิ้ง

Abstract

This research investigated the quality of the water supply and the wastewater of small and medium swine farms, which differed in number of pigs, pig production systems and waste management. In this study, concentrations of pollutants in the water supply from groundwater, wastewater of swine farms of each treatment stage and nearby surface water were compared. The results showed TDS and pH values of groundwater used in swine farm were appropriate for pig production. However, the water supply of both farms was contaminated with high organic compounds, solids and nitrogen compounds after pigsty cleaning. BOD₅, COD, TSS and TKN in pigsty cleaning wastewater of both farms were 1,274.4-4,347.8, 2,798.5-8,268.0, 387.5-1,037.5 and 188.2-1,713.9 mg/L, respectively. There were no significant differences between pollutants concentrations in pigsty cleaning wastewater of both farms. When the pigsty cleaning wastewater of medium farms was treated by anaerobic wastewater treatment systems, reduction of BOD₅, COD and TSS in the wastewater was found. Moreover, retention of the wastewaters in storage ponds of both farms could reduce organic compounds, solids and nitrogen compounds in the wastewaters. The BOD₅, COD, TSS and TKN of wastewaters in these storage ponds were 424.8-1,720.1, 1,036.5-3,000.0, 42.5-254.0 and 39.2-532.0 mg/L, respectively which were still higher than those of the effluent standard for pig farm.

Keywords: swine wastewater, pollutants, water quality, effluent standard

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 pantipk@nu.ac.th

¹ Assist Prof, Faculty of Agriculture Natural Resources and Environment, Naresuan University, Tapho Subdistrict, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand. pantipk@nu.ac.th

บทนำ

ในปี 2557 เกษตรกรไทยมีการเลี้ยงสุกรมากถึง 191,545 ครัวเรือน เป็นสุกรรวม 9,504,921 ตัว¹ ซึ่ง น้ำเสียจากกิจกรรมของฟาร์มสุกรเหล่านี้เป็นแหล่งกำเนิดสำคัญประการหนึ่งของมลพิษน้ำ เนื่องจากมีของเสียประเภทสารอินทรีย์ ของแข็ง และธาตุอาหารปนเปื้อนในปริมาณสูง² โดยน้ำเสียฟาร์มสุกรจะมีปริมาณการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปของ BOD และ COD ระหว่าง 1,500-3,000 และ 4,000-7,000 mg/L ตามลำดับ มีการปนเปื้อนของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และไนโตรเจนในรูปที่เคอีน (TKN) ระหว่าง 2,000-4,800 และ 400-800 mg/L ตามลำดับ และมีค่า pH ระหว่าง 6-8³ ทั้งนี้ แหล่งที่มาที่สำคัญของมลสารในน้ำเสียฟาร์มสุกร ได้แก่ เศษอาหารที่เหลือตกค้างจากการเลี้ยง และปัสสาวะและมูลของสุกร³ ซึ่งมลสารเหล่านี้ สามารถส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติที่มักถูกใช้เป็นแหล่งสุดท้ายในการรองรับน้ำเสีย โดยจะส่งผลทั้งต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ และความสามารถในการนำน้ำจากแหล่งน้ำมาใช้ประโยชน์ ดังนั้นการบำบัดและควบคุมปริมาณการปนเปื้อนมลสารให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรก่อนการระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกจึงเป็นสิ่งจำเป็น โดยน้ำทิ้งจากฟาร์มสุกรขนาดใหญ่หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร มากกว่า 5,000 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 251 ครัวเรือน¹ ถูกกำหนดให้มีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 และมีค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ไม่เกิน 60, 300, 150 และ 120 mg/L ตามลำดับ³ ขณะที่ น้ำทิ้งจากฟาร์มขนาดกลางหรือเทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 500-5,000 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 2,187 ครัวเรือน¹ และฟาร์มขนาดเล็กหรือเทียบเท่าจำนวนสุกร ตั้งแต่ 50-น้อยกว่า 500 ตัว ซึ่งในปี 2557 พบมีปริมาณการเลี้ยงโดยเกษตรกรจำนวนรวม 7,128 ครัวเรือน¹ ถูกกำหนดให้มีค่า pH ระหว่าง 5.5-9.0 และมีค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ไม่เกิน 100, 400, 200 และ 200 mg/L ตามลำดับ³ อย่างไรก็ตาม นอกเหนือจากการบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงซึ่งเป็นการลดและควบคุมการแพร่กระจายมลพิษที่ปลายทางแล้ว ยังมีการดำเนินการอีกหลายประการ ได้แก่ การปฏิบัติการเลี้ยง การจัดการพื้นที่เลี้ยง และการจัดการของเสียและมูลสุกร ซึ่งเป็นปัจจัยต้นทางที่สำคัญที่จะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร⁴

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสำรวจคุณภาพของน้ำใช้และน้ำที่ผ่านการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร โดยศึกษาทั้งในฟาร์มขนาดกลางและฟาร์มขนาดเล็กที่มีความแตกต่างกันทั้งด้านของจำนวนสุกร และลักษณะของการจัดการฟาร์ม ซึ่งส่งผลต่อ

ปริมาณการเกิดของเสีย โดยฟาร์มสุกรขนาดเล็กจะเป็นการเลี้ยงระดับครัวเรือน ขณะที่ฟาร์มสุกรขนาดกลางจะเป็นการเลี้ยงภายใต้ระบบธุรกิจที่กระบวนการเลี้ยงและการจัดการของเสียของฟาร์มอยู่ภายใต้การดูแลของบริษัทผู้สัญญา

โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ คือ ศึกษาคุณภาพของน้ำใช้และน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกร ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสีย ศึกษาเปรียบเทียบค่ามลสารในน้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรระหว่างฟาร์มสุกรขนาดเล็กและฟาร์มสุกรขนาดกลาง ค่ามลสารในน้ำเสียในแต่ละขั้นตอนของการจัดการน้ำเสีย และเปรียบเทียบค่ามลสารในน้ำเสียกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางที่เหมาะสมในการป้องกันและควบคุมการแพร่กระจายของมลสารจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

กลุ่มตัวอย่าง แผนการทดลอง และวิธีวิเคราะห์ทางสถิติ

กลุ่มตัวอย่างที่ 1 ทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดของฟาร์มสุกรต่อคุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกร โดยกำหนดตัวแทนของฟาร์มสุกรขนาดเล็กและฟาร์มสุกรขนาดกลางที่เป็นอิสระต่อกัน ทำการสุ่มขนาดละ 3 ฟาร์ม โดยฟาร์มขนาดเล็กเป็นฟาร์มที่มีการเลี้ยงในระดับครัวเรือน ปริมาณสุกรที่เลี้ยงมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 6 ถึง น้อยกว่า 60 หน่วย หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร 50-น้อยกว่า 500 ตัว³ เกษตรกรปฏิบัติการเลี้ยงด้วยตัวเอง ส่วนฟาร์มขนาดกลางเป็นฟาร์มที่มีการเลี้ยงในระดับธุรกิจ ปริมาณสุกรที่เลี้ยงมีน้ำหนักหน่วยปศุสัตว์ 60 ถึง ไม่เกิน 600 หน่วย หรือเทียบเท่าจำนวนสุกร 500-5,000 ตัว³ เกษตรกรปฏิบัติการเลี้ยงภายใต้คำแนะนำของบริษัทผู้สัญญา นำผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้คุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด มาวิเคราะห์เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Independent t-test ที่ระดับนัยสำคัญ 95%

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 ทำการศึกษาอิทธิพลของการจัดการคุณภาพน้ำและการใช้น้ำต่อคุณลักษณะของน้ำใช้และน้ำเสียของฟาร์มสุกร โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างสำหรับฟาร์มขนาดเล็กจำนวน 4 ประเภท ได้แก่ น้ำใช้ น้ำเสียจากการล้างคอก น้ำเสียที่กักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสีย (Storage pond) และน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์ม ซึ่งฟาร์มสุกรขนาดเล็กที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก และกำหนดกลุ่มตัวอย่างของฟาร์มสุกรขนาดกลาง จำนวน 5 ประเภท ได้แก่ น้ำใช้ น้ำเสียจากการล้างคอก น้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนของฟาร์ม น้ำเสียหลังบำบัดที่กักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสีย และน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์ม ซึ่งฟาร์มสุกรขนาดกลางที่ศึกษาตั้งอยู่ในเขตอำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก นำผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีบ่งชี้คุณลักษณะของน้ำแต่ละประเภทของฟาร์มสุกรขนาดเดียวกันมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% และวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณลักษณะของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มแต่ละขนาดกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร

การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างน้ำใช้น้ำเสียหลังการบำบัด และน้ำผิวดินด้วยการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง ส่วนตัวอย่างน้ำเสียจากการล้างคอก ทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นขณะทำความสะอาดคอก และตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อเก็บน้ำเสียทำการเก็บตัวอย่างแบบผสมจาก 5 จุดเก็บตัวอย่างโดยรอบบ่อ ทำการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำภาคสนาม ได้แก่ อุณหภูมิ น้ำ ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ของแข็งละลายได้ทั้งหมด (TDS) และค่าความนำไฟฟ้า (EC) ของน้ำเสียจากแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำที่ทำกรวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ ค่าสารอินทรีย์ในรูป BOD₅ วิเคราะห์ด้วยวิธี Azide modification ค่าสารอินทรีย์ในรูป COD วิเคราะห์ด้วยวิธี Closed reflux ค่าของแข็งแขวนลอย (TSS) วิเคราะห์ด้วยวิธีกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้วและอบที่อุณหภูมิ 103-105 °C และค่าไนโตรเจน ในรูป TKN วิเคราะห์ด้วยวิธี Kjeldahl ทั้งนี้ วิธีการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและน้ำเสียเป็นไปตามวิธีการที่กำหนดใน Standard method for the examination of water and wastewater⁵

ผลการศึกษา

คุณภาพน้ำที่ใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

น้ำที่ใช้ในการเลี้ยงสุกรของฟาร์มทั้งสองขนาด เป็นน้ำบาดาลที่เกษตรกรขุดเจาะในบริเวณพื้นที่เลี้ยง โดยจะใช้เป็นทั้งน้ำดื่มของสุกร และน้ำฉีดล้างทำความสะอาดตัวสุกรและพื้นคอก โดยน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรขนาดกลางจะผ่านการเติมคลอรีนเพื่อปรับปรุงคุณภาพก่อนใช้ ส่วนในฟาร์มขนาดเล็กไม่มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนใช้ ผลการวิเคราะห์น้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มทั้งสองขนาด พบมีค่า pH ระหว่าง 6.8-8.7 ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์อนุโลมสูงสุดสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ ที่กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 6.5-9.2 และน้ำมีค่า TDS ระหว่าง 256.0-587.0 mg/L ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสมสำหรับน้ำบาดาลที่ใช้บริโภคได้ ที่กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 600 mg/L ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และมาตรการในทางวิชาการสำหรับการป้องกันด้านสาธารณสุขและการป้องกันในเรื่องสิ่งแวดล้อม เป็นพิษ พ.ศ. 2551 นอกจากนี้ ยังพบว่าค่า TDS ของน้ำอยู่ภายใต้ข้อยกเว้นสำหรับคุณภาพน้ำสำหรับการผลิตสุกร^{6,7} อย่างไรก็ตาม ค่า pH สูงสุดที่พบในน้ำบาดาลมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำสำหรับคุณภาพน้ำสำหรับการผลิตสุกร⁶ เล็กน้อย และพบค่า BOD₅ ในน้ำบาดาลมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นเกณฑ์คุณภาพสำหรับการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร โดยค่า BOD₅, COD, TSS, TDS และ TKN ในน้ำใช้ของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้น ค่า pH ซึ่งพบว่าน้ำใช้ของฟาร์มขนาดกลางมีค่าสูงกว่าและค่อนข้างเป็นด่าง (Table 1)

Table 1 Quality of groundwater used in swine farm.

Parameters	Unit	Concentration of pollutants in groundwater ^{1/}		Groundwater quality standards for drinking purposes ^{2/}	Water quality guideline for pig production	Surface water quality standard for agriculture ^{3/}
		Small swine farm	Medium swine farm			
BOD ₅	mg/L	5.3±2.7	5.6±3.8	-	-	2.0
COD	mg/L	34.9±14.9	41.7±6.9	-	-	-
TSS	mg/L	42.2±18.9	34.7±17.7	-	-	-
TDS	mg/L	451.0±77.9	339.7±53.0	≤ 600	≤ 1,000 ^{6, 7}	-
TKN	mg/L	4.5±3.5	2.1±0.9	-	-	0.5 (NH ₃ -N)
pH		7.1±0.3	8.3±0.2	7.0-8.5	6.5-8.5 ⁶	5.0-9.0

^{1/} Mean±SEM and sample size (n) = 3

^{2/} Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment: Technical Criteria and Measures to Prevent Public Health and Environment Hazard B.E. 2551 (2008)

^{3/} Notification of the National Environmental Board, No. 8, B.E. 2537 (1994), issued under the Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act B.E. 2535 (1992)

คุณภาพน้ำภายหลังการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร น้ำบาดาลที่ผ่านการใช้ในการฉีดล้างทำความสะอาดสุกรและของเสียบริเวณพื้นคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีคุณภาพลดต่ำลง เนื่องจากมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูง โดยมีมลสารเหล่านี้มีแหล่งที่มาจากเศษอาหาร ปัสสาวะและมูลสุกรที่ตกค้างอยู่ที่ตัวสัตว์และพื้นคอก ซึ่งเป็นแหล่งของไนโตรเจนของแข็งแขวนลอย ของแข็งละลายได้ และสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายและย่อยสลายได้ยากโดยจุลินทรีย์ ผลการตรวจวัดพบมลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากการล้างคอกมีค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับน้ำเสียจากสถานีตรวจวัดอื่น โดยค่า BOD₅, COD, TSS, TDS, TKN และ pH ของน้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้ น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มขนาดเล็กจะถูกระบายลงสู่บ่อเก็บน้ำเสียโดยตรงโดยไม่ผ่านการบำบัด ขณะที่ น้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลางจะถูกรวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดของฟาร์ม น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มขนาดกลางที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบบำบัดประเภทฟิสิกซ์โดม (Fixed dome)

และระบบคัฟเวอร์ลากูน (Covered lagoon) มีค่าสารอินทรีย์และของแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3) โดยพบ BOD₅, COD และ TSS ในน้ำเสียหลังการบำบัด มีค่าระหว่าง 704.7-1,149.5, 2,000-4,000 และ 220.0-645.0 mg/L ตามลำดับ โดยน้ำเสียหลังบำบัดนี้จะถูกระบายและกักพักอยู่ในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มต่อไป

น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กมีความเข้มข้นของ BOD₅, TSS และ TKN ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียจากการล้างคอก (Table 4) ขณะที่น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีความเข้มข้นของมลสารไม่แตกต่างจากน้ำเสียหลังการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสีย (Table 3) และพบว่าค่า BOD₅, COD และ TSS ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กและฟาร์มขนาดกลางมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 2) ทั้งนี้เกษตรกรเจ้าของฟาร์มได้มีการนำน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะฟาร์มขนาดกลางซึ่งตั้งอยู่ห่างไกลชุมชนและล้อมรอบด้วยพื้นที่เกษตรกรรมน้ำเสียจึงถูกนำไปใช้

Table 2 Quality of wastewater of different swine farm and quality of surface water nearby.

Types of sample/ Farm size	Concentration of pollutants in wastewater and surface water ^{1/}					
	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	TDS (mg/L)	TKN (mg/L)	pH
Pigsty cleaning wastewater						
- Small farm	3,223.4±978.4 ^a	5,355.5±1,588.9 ^a	743.5±190.1 ^a	2,011.0±763.6 ^a	417.4±147.3 ^a	7.5±0.3 ^a
- Medium farm	1,924.2±499.7 ^a	5,400.0±404.1 ^a	902.0±90.2 ^a	3,284.3±1,974.8 ^a	912.0±403.4 ^a	8.6±0.0 ^a
Effluent of wastewater treatment system ^{2/}						
- Small farm	-	-	-	-	-	-
- Medium farm	891.1±133.4	3,300.0±700.0	479.7±131.4	2,981.0±1,723.3	1,150.0±70.9	8.0±0.2
Wastewater in storage pond						
- Small farm	914.9±405.8 ^a	2,102.2±573.0 ^a	121.0±45.6 ^a	743.0±60.9 ^b	101.2±32.0 ^b	7.1±0.2 ^b
- Medium farm	724.6±132.2 ^a	2,100.0±416.3 ^a	221.3±31.9 ^a	4,359.0±638.3 ^a	473.3±54.7 ^a	8.0±0.2 ^a
Surface water in water resource						
- Small farm	5.1±1.5 ^a	387.8±279.8 ^a	36.2±10.9 ^a	163.7±13.7 ^a	41.0±21.9 ^a	7.5±0.2 ^a
- Medium farm	37.4±21.2 ^a	157.8±48.1 ^a	134.0±56.6 ^a	271.7±70.8 ^a	13.9±6.4 ^a	7.5±0.3 ^a

^{1/} Mean±SEM and sample size (n) = 3.

^{2/} There was no wastewater treatment system in small swine farms.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at p≥0.05.

Table 3 Quality of wastewater of medium swine farm and quality of surface water nearby.

Parameters (unit)	Concentration of pollutants in wastewater and surface water ^{1/}			
	Pigsty cleaning wastewater	Effluent of wastewater treatment system ^{2/}	Wastewater in storage pond	Surface water in water resource
BOD ₅ (mg/L)	1,924.2±499.7 ^a	891.1±133.4 ^b	724.6±132.2 ^b	37.4±21.2 ^b
COD (mg/L)	5,400.0±404.1 ^a	3,300.0±700.0 ^b	2,100.0±416.3 ^b	157.8±48.1 ^c
TSS (mg/L)	902.0±90.2 ^a	479.7±131.4 ^b	221.3±31.9 ^{bc}	134.0±56.6 ^c
TDS (mg/L)	3,284.3±1,974.8 ^a	2,981.0±1,723.3 ^a	4,359.0±638.3 ^a	271.7±70.8 ^a
TKN (mg/L)	912.0±403.4 ^a	1,150.0±70.9 ^a	473.3±54.7 ^{ab}	13.9±6.4 ^b
pH	8.6±0.0 ^a	8.0±0.2 ^{ab}	8.0±0.2 ^{ab}	7.5±0.3 ^b

^{1/} Mean±SEM and sample size (n) = 3.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at p≥0.05.

Table 4 Quality of wastewater of small swine farm and quality of surface water nearby.

Parameters (unit)	Concentration of pollutants in wastewater and surface water ^{1/}		
	Pigsty cleaning wastewater	Wastewater in storage pond	Surface water in water resource
BOD ₅ (mg/L)	3,223.4±978.4 ^a	914.9±405.8 ^b	5.1±1.5 ^b
COD (mg/L)	5,355.5±1,588.9 ^a	2,102.2±573.0 ^{ab}	387.8±279.8 ^b
TSS (mg/L)	743.5±190.1 ^a	121.0±45.6 ^b	36.2±10.9 ^b
TDS (mg/L)	2,011.0±763.6 ^a	743.0±60.9 ^a	163.7±13.7 ^a
TKN (mg/L)	417.4±147.3 ^a	101.2±32.0 ^b	41.0±21.9 ^b
pH	7.5±0.3 ^a	7.1±0.2 ^a	7.5±0.2 ^a

^{1/} Mean±SEM and sample size (n) = 3.

Mean in the same row followed by the same letters are not significantly different at p≥0.05.

ในการรดพืชไร่ประเภทอ้อย ข้าวโพด และถูกสูบใส่ลงในพื้นที่นา ก่อนเริ่มเพาะปลูกข้าว ส่วนน้ำเสียจากบ่อเก็บ น้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กถูกใช้ในการรดพืชประเภทมะนาว กล้วย และหญ้าอาหารสัตว์ที่ปลูกในบริเวณฟาร์ม

ผลการศึกษาพบค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ของน้ำผิวดินในแหล่งน้ำใกล้เคียงพื้นที่ฟาร์ม ยังคงมีค่าต่ำกว่าค่า BOD₅, COD, TSS และ TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาด แม้จะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 3-4)

การกักพืชน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกร แต่ละขนาดเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการจัดการน้ำเสียของฟาร์ม

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรแล้ว พบว่าน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด ยังคงมีค่า BOD₅ และ COD เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรประเภท ข (ฟาร์มสุกรขนาดกลางและขนาดเล็ก) ในระดับสูง (Table 5) โดยพบค่า TSS และ TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ขณะที่น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลาง มีค่าความเข้มข้นของ BOD₅, COD, TSS และ TKN เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ส่วนค่า pH ในน้ำเสียที่ตรวจวัดทั้งหมดมีค่าอยู่ภายใต้เกณฑ์มาตรฐาน

Table 5 Comparison between wastewater characteristics in storage pond and effluent standard for swine farm.

Parameters (Units)	Wastewater in storage pond of small swine farm		Wastewater in storage pond of medium swine farm		Effluent standard for swine farm	
	Range	Average	Range	Average	Standard A ^{1/}	Standard B ^{2/}
BOD ₅ (mg/L)	424.8-1720.1	914.9	524.7-974.5	724.6	60	100
COD (mg/L)	1,036.5-3,000.0	2,102.2	1,300.0-2,700.0	2,100.0	300	400
TSS (mg/L)	42.5-200.5	121.0	157.5-254.0	221.3	150	200
TKN (mg/L)	39.2-146.2	101.2	364.0-532.0	473.3	120	200
pH	6.7-7.4	7.1	7.7-8.4	8.0	5.5-9.0	5.5-9.0

^{1/} Standard for large swine farm (more than 600 livestock unit).

^{2/} Standard for medium swine farm (60-600 livestock unit) and small swine farm (6- less than 60 livestock unit).

วิจารณ์และสรุปผล

คุณภาพน้ำที่ใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

เพื่อลดผลกระทบต่อชุมชน ฟาร์มสุกรโดยเฉพาะ ฟาร์มที่มีการเลี้ยงสุกรจำนวนมาก จึงมักตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล ชุมชนซึ่งไม่มีระบบประปาให้บริการ ดังนั้น น้ำบาดาลจึงถูกนำมาใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกรเป็นหลัก นอกเหนือจากเหตุผลประการสำคัญ คือ น้ำบาดาลมีราคาถูกและมีคุณภาพดีเพียงพอต่อการดื่มกินของสุกร และการใช้ทำความสะอาดสุกรและพื้นคอก ทั้งนี้เนื่องจากน้ำบาดาลจะถูกกรองด้วยชั้น หิน กรวด และทราย ระหว่างการไหลภายใต้ชั้นผิวดิน ดังนั้น น้ำบาดาลในพื้นที่ที่ไม่มีสารธาตุหรือโลหะที่เป็นพิษสะสมอยู่ จึงเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยจะพบในหลายพื้นที่ของประเทศมีการนำน้ำบาดาลมาใช้ในการผลิตน้ำประปา น้ำดื่มบรรจุขวด และน้ำแข็ง^๑ ทั้งนี้ ผลการตรวจวัดค่า pH และ TDS ของน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกรทั้งสองขนาด พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ภายใต้เกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับน้ำเพื่อการผลิตสุกร อย่างไรก็ตาม ในการเลี้ยงระดับธุรกิจที่อยู่ภายใต้การดูแลของบริษัทผู้สัญญา น้ำบาดาลที่ใช้จะถูกปรับปรุงคุณภาพด้วยการเติมคลอรีนน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่อาจปนเปื้อนอยู่ในน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำภายหลังการใช้ในกิจกรรมการเลี้ยงสุกร

น้ำเสียจากกิจกรรมการเลี้ยงสุกรมีมลสารปนเปื้อนในปริมาณสูงและเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกร ทั้งนี้พบปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็ง ไนโตรเจน และค่า pH ในน้ำเสียจากการทำความสะอาดสุกรและคอกของฟาร์มทั้งสองขนาดมีค่าไม่แตกต่างกัน แม้ฟาร์มสุกรขนาดกลางจะมีจำนวนสุกรมากกว่า ซึ่งหมายถึงมีของเสียในปริมาณที่สูงกว่าด้วย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการปฏิบัติการเลี้ยงที่แตกต่างกัน ในฟาร์มขนาดเล็กนั้น เกษตรกรจะทำการเลี้ยงบนพื้นฐานของความรู้อยู่

และประสบการณ์ โดยมักเลี้ยงสุกรคละขนาดหรือช่วงอายุ และมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนของสุกรในระยะเวลาสั้น ทำให้การจัดการชนิดและปริมาณอาหารสุกรอาจไม่เหมาะสมกับสุกรที่เลี้ยงในแต่ละขณะ จึงอาจเกิดอาหารเหลือหรือเกิดมูลสุกรในปริมาณมาก ในส่วนของการฉีดล้างสุกรและคอกมักไม่มีการเก็บกวาดมูลสุกรและของเสียอื่นๆ ออกก่อน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ซึ่งเกษตรกรระบุว่าไม่มีพื้นที่สำหรับตากมูลจึงไม่ได้เก็บรวบรวมมูลไว้ขายหรือใช้ประโยชน์ จึงทำให้น้ำล้างคอกของฟาร์มขนาดเล็กมีสิ่งปนเปื้อนสูงและมีความเข้มข้นของมลสารไม่แตกต่างจากน้ำล้างคอกของฟาร์มขนาดกลางที่แม้จะไม่มี การเก็บมูลสุกรออกก่อนฉีดล้างเนื่องจากมีระบบบำบัดในการรองรับ แต่จะมีการใช้น้ำปริมาณมากในการฉีดล้างซึ่งจะช่วยลดค่าความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียลง ซึ่งการเลี้ยงสุกรโดยทั่วไปจะมีอัตราการเกิดน้ำเสียเท่ากับ 10-20 ลิตร/ตัว/วัน^๓ โดยเกือบทั้งหมดเป็นน้ำเสียจากการล้างคอก ทั้งนี้ การเลี้ยงสุกรของฟาร์มขนาดกลาง นอกจากจะมีการปฏิบัติการเลี้ยงอย่างเป็นระบบภายใต้การดูแลของนักวิชาการแล้ว การเลี้ยงของฟาร์มขนาดกลางจะเป็นการเลี้ยงหมูขุนที่มีช่วงอายุเดียวกันเป็นหลัก การจัดการชนิดและปริมาณอาหารให้เหมาะสมกับประเภทและจำนวนสุกรที่เลี้ยงจึงทำได้ง่าย ไม่เกิดเศษอาหารเหลือหรือเกิดมูลสุกรจำนวนมากจากการได้รับอาหารมากเกินไป นอกจากนี้ ในฟาร์มขนาดกลางยังมีการสร้างส้วมน้ำไว้ให้สุกรได้ใช้ระบายความร้อนและใช้เป็นพื้นที่ขับถ่าย ทำให้เกษตรกรสามารถกวาดล้างมูลสุกรได้ง่ายขึ้น ไม่เกิดของเสียสะสมบริเวณพื้นคอก

น้ำเสียจากการทำความสะอาดคอกของฟาร์มขนาดกลาง แม้จะมีความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียไม่แตกต่างจากฟาร์มขนาดเล็ก แต่เนื่องจากมีจำนวนสุกรมากกว่า จึงมีปริมาณของเสียในหน่วยของน้ำหนักสูงกว่าด้วย แต่เนื่องจาก

น้ำเสียจากการล้างคอกได้ถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดน้ำเสียก่อนการระบายลงสู่บ่อเก็บน้ำเสีย จึงทำให้น้ำเสียที่กักเก็บในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีค่าสารอินทรีย์และปริมาณของแข็งไม่แตกต่างจากน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็ก ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ถูกใช้ในการรองรับน้ำเสียหลังการล้างคอกโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด อย่างไรก็ตามพบว่าค่าไนโตรเจนในรูป TKN ของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางยังคงมีค่าสูงกว่าน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็ก

ทั้งนี้ น้ำเสียจากการล้างคอกของฟาร์มสุกรขนาดกลางจะถูกบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบฟิสิกซ์เคมี และคัพเวอร์ลาถูก ซึ่งเป็นระบบบำบัดที่มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบต่ำ มีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และของแข็งในน้ำเสีย และให้ประโยชน์ในรูปของก๊าซชีวภาพ ซึ่งเกษตรกรได้นำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับระบบระบายอากาศของฟาร์มสุกรขนาดกลางซึ่งเป็นระบบปิด ขณะที่ ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดถูกนำกลับมาใช้เป็นวัสดุบำรุงดิน

การบำบัดน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดกลาง ด้วยระบบฟิสิกซ์เคมี และคัพเวอร์ลาถูก ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนี้ ทำให้น้ำเสียมีค่า BOD_5 , COD และ TSS ลดลง ซึ่งเป็นผลจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดทำให้ของแข็งอินทรีย์ถูกย่อยลดขนาดลง ขณะที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ถูกย่อยให้โมเลกุลเล็กลงและถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทนที่สามารถใช้เป็นพลังงานได้^{10, 11} ขณะที่ ค่า TKN ในน้ำเสียหลังบำบัดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามไม่แตกต่างจากน้ำเสียก่อนบำบัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้ ภายในระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนนั้น ไนโตรเจนในรูป Org-N จะถูกย่อยสลายและเปลี่ยนรูปโดยจุลินทรีย์ประเภท Fermentative bacteria และ Acetogenic bacteria ไปอยู่ในรูปสารประกอบที่ละลายน้ำได้ที่โมเลกุลมีความซับซ้อนลดลง เช่นการย่อยโปรตีนไปอยู่ในรูปของ Amino acids และ NH_4 ตามลำดับ^{12, 13}

น้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มสุกรขนาดเล็กเป็นน้ำเสียจากการทำความสะอาดคอก โดยในบ่อเก็บ น้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดจะเกิดกระบวนการบำบัดน้ำเสียตามธรรมชาติคล้ายคลึงกับบ่อปรับเสถียร ทั้งนี้ พบมีตะกอนลอย (Scum) ที่ผิวหน้า เนื่องจากการฟุ้งของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักแบบไร้ออกซิเจนบริเวณก้นบ่อ ซึ่งบ่งชี้ถึงการเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนรูป มลสารโดยจุลินทรีย์ ทำให้ค่ามลสารของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียจากการล้างคอก และค่ามลสารของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดกลางมีค่าต่ำกว่าค่ามลสารของน้ำเสียหลังผ่าน

ระบบบำบัดของฟาร์ม ยกเว้นค่า TDS ซึ่งมีค่าสูงขึ้นจากการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ไปเป็นสารอนินทรีย์ ทั้งนี้ นอกจากการลดลงของค่า BOD_5 , COD และ TSS แล้ว ยังพบการลดลงของค่า TKN ด้วย ซึ่งนอกจากจะเกิดจากการนำไปใช้โดยจุลินทรีย์แล้ว การนำแอมโมเนียม (NH_4^+) ไปใช้โดยพืช¹⁴ ประเภท จอก แหน ที่พบในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มขนาดเล็กยังเป็นสาเหตุหนึ่งของการลดลงของ TKN ในบ่อเก็บน้ำเสียโดยน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียนี้ เกษตรกรได้สูบลำไยพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อเพิ่มธาตุอาหารไนโตรเจนให้กับพืชและพื้นที่ อย่างไรก็ตาม คุณภาพของน้ำเสียในบ่อเก็บน้ำเสียของฟาร์มทั้งสองขนาดยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรซึ่งหากไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดินจะก่อผลกระทบต่อชั้นใต้ดิน ดังนั้นจึงควรมีกระบวนการในการลดปริมาณของเสียและการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเพิ่มเติมเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำ และต้องควบคุมมิให้เกิดการแพร่กระจายของมลสารในน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

ผลการตรวจวัดน้ำผิวดินในแหล่งน้ำบริเวณใกล้เคียงฟาร์มสุกรพบมีคุณภาพต่ำ โดยพบการปนเปื้อนสารอินทรีย์ในรูปของค่า BOD_5 และ COD และมีการปนเปื้อนไนโตรเจนในรูป TKN ในระดับสูง เกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 จึงเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์เพื่อการคมนาคมเท่านั้น การปนเปื้อนมลสารเหล่านี้ คาดว่าเป็นผลจากการชะล้างของเสียและปุ๋ยจากพื้นที่เกษตรกรรมบริเวณข้างเคียงลงสู่แหล่งน้ำ ทั้งนี้ การชะล้างของน้ำไหลบ่าหน้าดินบนพื้นที่เกษตรกรรมที่เป็นพื้นที่รองรับน้ำเสียที่ถูกสูบลำไยจากบ่อเก็บน้ำเสีย จะทำให้มลสารและธาตุอาหารที่ถูกเติมลงบนพื้นที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำได้เช่นกัน

จากผลการศึกษา สรุปได้ว่าน้ำบาดาลที่ใช้ในฟาร์มสุกร มีค่า pH และ TDS เหมาะสมต่อการผลิตสุกร น้ำเสียหรือน้ำบาดาลภายหลังการใช้ในการฉีดล้างทำความสะอาดสุกรและคอก จะมีของเสียจากฟาร์มสุกรทั้งในรูปของสารอินทรีย์ของแข็ง และไนโตรเจนปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง ทั้งนี้ พบว่าการปฏิบัติการเลี้ยงโดยเฉพาะการจัดการด้านอาหาร การจัดการพื้นที่ขับถ่ายมูลของสุกร การจัดการมูลสุกรอย่างเหมาะสม เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดคอก ขณะที่การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดที่เหมาะสม นอกจากจะช่วยป้องกันและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังก่อประโยชน์ให้กับเกษตรกรด้วย ทั้งนี้ในฟาร์มขนาดเล็กที่ยังไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียนั้น เกษตรกรควรใช้ระบบการหมักอย่างง่ายในการลดมลสารในน้ำเสียและจะได้ประโยชน์ในรูปของก๊าซชีวภาพและวัสดุปรับปรุงดินได้เช่นกัน¹⁵ จากการศึกษาพบว่าน้ำเสียในบ่อ

เก็บน้ำเสียซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการน้ำเสีย ยังคงมีค่ามลสารปนเปื้อนเกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งฟาร์มสุกรและควรต้องทำการควบคุมและจัดการเพิ่มเติม

กิตติประกาศ

ผู้ศึกษาขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณ และคณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ที่ให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการ และอำนวยความสะดวกจนการศึกษาวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมปศุสัตว์. ข้อมูลจำนวนปศุสัตว์ ในประเทศไทย ปี 2557. กรุงเทพฯ: กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์; 2557
- กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการประเมินปริมาณน้ำเสียและปริมาณมลพิษจากการเลี้ยงสุกร. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2553
- กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการเลือกใช้ การดูแลและบำรุงรักษาระบบบำบัดน้ำเสียฟาร์มสุกรตามแบบมาตรฐานกรมปศุสัตว์. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2546
- กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือวิธีการหรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสุกรประเภท ค. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2556
- APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed. Washington D.C: American Public Health Association; 1992
- สมปรียา กองแก้ว, เกิดศักดิ์ ญาโน, ภาณุวัฒน์ แยมสกุล, ประภาส ภัชณี. ใส่ใจ น้ำ สักนิด เพื่อชีวิตหมูที่ดีกว่า (ตอนที่ 2) [อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ท.). [เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ย. 2559]. เข้าถึงจาก: <http://www.vet.cmu.ac.th/web/file/big-pig/03.pdf>
- สมโภชน์ ทับเจริญ. คุณภาพน้ำ คุณภาพชีวิต คุณภาพผลผลิต คุณภาพสุกร. วารสารปศุสัตว์เกษตรศาสตร์ 2554; 37(148): 12-8
- Kruawala K, Sacherb F, Wernerc A, Mqllerc J, Knepper TP. Chemical water quality in Thailand and its impacts on the drinking water production in Thailand. Sci Total Environ 2005; 340:57-70
- Moreda IL. The potential of biogas production in Uruguay. Renew Sustain Energy Rev 2016; 54: 1580-91
- Abbasi T, Tauseef SM, Abbasi SA. Anaerobic digestion for global warming control and energy generation-an overview. Renew Sust Energy Rev 2012;16:3228-42
- ฤกษ์ฤทธิ์ เคนหาราช. การผลิตพลังงานจากชีวมวล: การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงเลี้ยงสัตว์. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน; 2548
- The Japan Institute of Energy. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล[อินเทอร์เน็ต]. (ม.ป.ท.). [เข้าถึงเมื่อ 10 พ.ย. 2559]. เข้าถึงจาก: http://www.jie.or.jp/biomass/AsiaBiomassHandbook/Thai/All_T.pdf
- Jules B. van Lier. Biological wastewater treatment: Principles modelling and design. London: IWA Publishing; 2008
- Zimmo OR, van der Steen NP, Gijzen HJ. Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. Water Research 2004;38:913-20
- พันธ์ทิพย์ กล่อมแจ็ก. ลักษณะของน้ำเสียและฟางข้าวในระบบหมักร่วมแบบไร้อากาศ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2558; 34(5): 423-30

ผลของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิ Effects of Calcium Carbonate on Browning Appearance in Jasmine Flower

ธัญญาภัสร์ ศรีวิจารย์¹, เบ็ญจวรรณ ชุตินุเดช², ประสิทธิ์ ชุตินุเดช³

Thanyaphat Sriwichan¹, Benjawan Chutichudet², Prasit Chutichudet³

Received: 13 June 2016 ; Accepted: 17 October 2016

บทคัดย่อ

งานทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิภายหลังการเก็บเกี่ยว วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยใช้ CaCO_3 ที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับการไม่แช่ จำนวน 4 ซ้ำ นาดอกมะลิแช่ในสารละลาย CaCO_3 ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาบรรจุใส่ถุงพลาสติกโพลีโพรพิลีน นำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 ± 2 องศาเซลเซียส ทำการทดลองระหว่างเดือนธันวาคม 2556 ถึงเดือนพฤษภาคม 2557 ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม บันทึกข้อมูลการเกิดสีน้ำตาล ปริมาณสารประกอบฟีนอล ปริมาณสารควิโนน และอายุการเก็บรักษา ผลการทดลองพบว่าดอกมะลิที่ผ่านการแช่ CaCO_3 ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ เกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุดและมีอายุการเก็บรักษาดอกมะลิได้นานที่สุด คือ 10 วัน

คำสำคัญ: มะลิ, ปฏิกริยาการเกิดสีน้ำตาล, แคลเซียมคาร์บอเนต, สารประกอบฟีนอล, ควิโนน

Abstract

The objective of this experiment was to study the effects of calcium carbonate (CaCO_3) on browning appearance in jasmine flower after harvest. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design (CRD) by using CaCO_3 at four concentrations (0.1, 0.3, 0.5 and 0.7%) compared with untreated control with four replications. Jasmine flowers were dipped in different CaCO_3 concentrations for five min, and then packed in polypropylene plastic bag, stored at 10 ± 2 °C. The experiment was carried out during December, 2013 to May, 2014 at the Laboratory of Division of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University. The appearance, contents of phenolic compound and quinone, and shelf life were recorded. The results revealed that jasmine flower soaked with 0.1% CaCO_3 showed the minimum browning level and had the longest storage life of ten days.

Keywords: Jasmine, Browning reaction, Calcium carbonate, Phenolic compound, Quinone

บทนำ

ดอกมะลิ (*Jasminum sambac* Ait.) เป็นดอกไม้ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นดอกไม้ที่ตลาดภายในประเทศมีความต้องการในปริมาณสูงตลอดทั้งปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวของประเทศไทย เพราะในช่วงฤดูนี้มะลิจะออกดอกน้อยและมีราคาแพงมาก¹ ราคาดอกมะลิในช่วงฤดูดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง 550-1,000 บาทต่อกิโลกรัม² ทั้งนี้ดอก

มะลียังมีการส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ ทั้งในรูปของพวงมาลัย ดอกมะลิสด และต้นมะลิ ซึ่งตลาดของดอกมะลิในต่างประเทศที่สำคัญ คือ ประเทศเนเธอร์แลนด์ อเมริกา และเบลเยียม ส่วนพวงมาลัยมะลิในตลาดต่างประเทศ คือ ประเทศอเมริกาและญี่ปุ่น³ ซึ่งสาเหตุที่ตลาดทั้งในและต่างประเทศมีความต้องการมะลิตลอดทั้งปีและเป็นจำนวนมาก เนื่องจากดอกมะลินิยมนำมาใช้ในชีวิตประจำวันและงานเทศกาลได้ใน

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree studies, ²Asst. Prof., ³Assoc. Prof., Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

รูปแบบต่าง ๆ เช่น นำมาร้อยพวงมาลัย ทำดอกไม้แห้ง บูชาพระ ประดับพานพุ่ม บูชาพระ นำดอกมาอบขนมและอบใบชาให้มีกลิ่นหอม อีกทั้งมีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพรใช้รักษาโรค มะลิจึงจัดเป็นดอกไม้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย⁴ แต่อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์จากดอกมะลิคือ ดอกมะลิมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้นภายหลังเก็บเกี่ยวจากต้นในระยะดอกตูม เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในนำไปสู่การเสื่อมสภาพของดอก เช่น การเปลี่ยนเป็นสีม่วงเข้มหรือน้ำตาลของกลีบดอก และการเหี่ยวแห้งของดอกที่เกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เพียง 1-2 วัน เนื่องจากกลีบดอกมีการสร้างเอทิลีน ซึ่งเป็นฮอร์โมนพืชที่เร่งการเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นอย่างมาก⁵ Faragher and Mayak (1984)⁶ รายงานว่าการผลิตเอทิลีนปริมาณสูงในดอกไม้ ทำให้ดอกไม้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ดอกจึงเกิดการบานอย่างรวดเร็ว ทำให้เร่งการเสื่อมสภาพของดอกให้เกิดขึ้น⁷ ซึ่งพบว่าธาตุแคลเซียม (Ca) เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เมื่อพืชขาดธาตุแคลเซียมปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจะเริ่มขึ้น เนื่องจากธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นต่อส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะผนังเซลล์ ซึ่งธาตุนี้ทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ยึดเกาะติดกัน ทำให้ผนังเซลล์พืชมีความแข็งแรง ถ้าพืชขาดธาตุแคลเซียมจะทำให้ผนังเซลล์เกิดการสลายตัว ส่งผลทำให้เซลล์พืชสลายตัวและแยกออกจากกัน เซลล์จึงเกิดการเสื่อมสภาพและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่าย⁸ จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่ทำให้เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์โดยเฉพาะในบริเวณที่เรียกว่า abscission zone⁹ ซึ่งจะพบการสร้างเอทิลีนในปริมาณที่สูงกว่าเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียง^{10:11} ส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น¹² นำไปสู่การเสื่อมสภาพและเกิดการหลุดร่วงในที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งส่วนของใบ ดอก กลีบดอก และผล โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อพืชมีการเจริญถึงระยะบรรจบ (mature)¹³ ทั้งนี้ในปัจจุบันยังไม่มีผู้ทำการศึกษาวิธีปฏิบัติในการชะลอการเปลี่ยนแปลงสภาพในดอกมะลิภายหลังการเก็บเกี่ยวโดยใช้สารแคลเซียมในรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) กันอย่างจริงจัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ต่อการเกิดสีน้ำตาลในดอกมะลิภายหลังการเก็บเกี่ยว อันจะเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ปลูก ผู้ค้า ตลอดจนผู้นำดอกมะลิไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) มี 5 ทรีทเมนต์ที่ได้แก่

ทรีทเมนต์ที่ 1 ควบคุม (control)

ทรีทเมนต์ที่ 2 CaCO₃ ความเข้มข้น 0.1%

ทรีทเมนต์ที่ 3 CaCO₃ ความเข้มข้น 0.3%

ทรีทเมนต์ที่ 4 CaCO₃ ความเข้มข้น 0.5%

ทรีทเมนต์ที่ 5 CaCO₃ ความเข้มข้น 0.7%

แต่ละทรีทเมนต์มีจำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 15 ถู หลังจากนำดอกมะลิมาแช่ในสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ที่ความเข้มข้นแต่ละระดับ นานเป็นเวลา 5 นาที จึงนำดอกมะลิมาผึ่งให้สะเด็ดน้ำบรรจุใส่ถุงพลาสติก polypropylene (PP) ขนาด 3 x 5 นิ้ว ถูละ 5 กรัม โดยดอกมะลิที่เก็บเกี่ยวระยะดอกตูมทางการค้า (12-14 วันหลังปรากฏตุ่มดอก) จากอำเภอเขียงยืน จังหวัดมหาสารคาม หลังจากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10±2 องศาเซลเซียส และทำการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของดอกมะลิภายหลังเก็บรักษาทุก ๆ 2 วัน

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของแผนการทดลองแบบ Completely Randomize Design (CRD) และเปรียบเทียบผลต่างของทรีทเมนต์ในงานทดลองโดย Least Significant Difference (LSD)

การบันทึกข้อมูล

ทำการบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพดอกมะลิระหว่างเก็บรักษาทุก ๆ 2 วัน ดังนี้

1. ระดับการเกิดสีน้ำตาล ใช้เกณฑ์การให้คะแนนตามวิธีของ Barta และ Tibbitts (1991)¹⁴ คิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ของการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนกลีบดอก โดยเกณฑ์การให้คะแนนคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนี้

ไม่เกิดสีน้ำตาล (0%)

เกิดสีน้ำตาลระดับ 1/4 ของพื้นที่ดอก (25%)

เกิดสีน้ำตาลมากกว่าระดับ 1/4 ถึง 2/4 ของพื้นที่ดอก (25-50%)

เกิดสีน้ำตาลมากกว่าระดับ 2/4 ถึง 3/4 ของพื้นที่ดอก (50-75%)

เกิดสีน้ำตาลมากกว่า 3/4 ถึง ทั้งหมด (75-100%)

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอล ใช้วิธีของ Ribeiro et al. (2008)¹⁵ หน่วยเป็นมิลลิกรัม ต่อ 100 กรัมน้ำหนักสด

3. ปริมาณสารควิโนน วิธีการของ Pirie and Mullins (1976)¹⁶ หน่วยเป็นกรัมน้ำหนักสด

4. อายุเก็บรักษา อายุเก็บรักษาของดอกมะลิจะสิ้นสุดเมื่อดอกมะลิมีระดับความรุนแรงของการเกิดสีน้ำตาลอยู่ที่

ระดับ 3/4 ของพื้นที่ดอก (50-75%) ตามวิธีการของ Barta และ Tibbitts (1991)¹⁴

ผลการศึกษา

จากการทดลองใช้สาร CaCO₃ ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน 4 ระดับ คือ 0.1, 0.3, 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับทรีทเม้นท์ควบคุม (ไม่แช่แคลเซียมคาร์บอเนต) ต่อคุณภาพของดอกมะลิ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

1. ระดับการเกิดสีน้ำตาล

จากผลการทดลองพบว่าในวันที่ 2 ของการเก็บรักษา การใช้สาร CaCO₃ ทุกระดับความเข้มข้นไม่ส่งผลกระทบต่อการเกิดสีน้ำตาลในทุกทรีทเม้นท์ ขณะที่อายุการเก็บรักษาที่ 4 วัน พบว่าการใช้ CaCO₃ ทุกระดับความเข้มข้นเกิดสีน้ำตาลในระดับที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบว่าดอกมะลิเกิดสีน้ำตาลน้อยที่สุด (13.75 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งน้อยกว่า

กว่าการไม่แช่อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ดอกมะลิเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด (27.50 เปอร์เซ็นต์) และมากกว่าการไม่แช่อย่างมีนัยสำคัญ ภายหลังจากเก็บรักษาที่อายุ 6 วัน พบว่าทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ พบการเกิดสีน้ำตาลบนดอกมะลิน้อยที่สุด คือ 30.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ พบการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุดถึง 80.00 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงท้ายของการเก็บรักษาที่อายุ 8 วัน พบว่าทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ยังพบการเกิดสีน้ำตาลบนดอกมะลิน้อยที่สุด คือ 53.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งกับทรีทเม้นท์ควบคุมและทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.3, 0.5 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ พบการเกิดสีน้ำตาลมากที่สุด (85.00, 90.00, 100.00 และ 95.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) (Table 1)

Table 1 Level of browning appearance of jasmine after dipping in different CaCO₃ solution

Treatment	Level of browning appearance (%) at different storages (days)			
	2	4	6	8
Control	11.25	21.25b ^{1/}	50.00b	85.00a
CaCO ₃ 0.1%	7.50	13.75c	30.00c	53.75b
CaCO ₃ 0.3%	12.50	25.00ab	67.50ab	90.00a
CaCO ₃ 0.5%	12.50	27.50a	80.00a	100.00a
CaCO ₃ 0.7%	13.75	23.75ab	80.00a	95.00a
F-test	ns	**	**	**
LSD	-	1.963	6.291	5.728
C.V. (%)	36.38	17.65	20.44	13.52

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

ns = not significant

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอล

จากการทดลองในวันที่ 2 พบว่าการใช้ CaCO₃ ในระดับความเข้มข้นที่ต่างกันทำให้ทุก ทรีทเม้นท์มีปริมาณสารฟีนอลที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยทรีทเม้นท์ที่ใช้ CaCO₃ ที่ระดับความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาณสาร ฟีนอลมากที่สุด คือ 21.50 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ขณะที่การใช้ CaCO₃ ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ มีสารฟีนอลในปริมาณน้อยที่สุด คือ 13.31 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด น้อยกว่าการไม่แช่ CaCO₃ อย่างมีนัยสำคัญ ในช่วง 2 และ 4 วันแรกของการเก็บรักษา พบว่าดอกมะลิในทุกทรีทเม้นท์มีสารประกอบฟีนอล

ในปริมาณที่ต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ โดยดอกมะลิที่ผ่านการแช่ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ มีสารฟีนอลในปริมาณน้อยที่สุด ขณะที่ดอกมะลิที่ผ่านการแช่ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.5, 0.7 เปอร์เซ็นต์ และ control พบสารฟีนอลในปริมาณมากที่สุด

ส่วนในวันที่ 6 และ 8 ของการเก็บรักษา พบว่าการใช้ CaCO₃ ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอล โดยทุกทรีทเม้นท์มีสาร ฟีนอลในปริมาณใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 14.85-20.19 และ 15.12-19.19 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม น้ำหนักสด ตามลำดับ (Table 2)

Table 2 Phenolic contents of jasmine after dipping in different CaCO₃ solution

Treatment	Phenolic contents (mg/100 gFW) at different storages (days)			
	2	4	6	8
Control	18.35ab ^{1/}	18.27ab	17.97	17.94
CaCO ₃ 0.1%	13.31c	13.86c	14.85	15.12
CaCO ₃ 0.3%	15.33bc	15.31bc	18.04	18.35
CaCO ₃ 0.5%	18.23ab	17.89abc	17.56	16.12
CaCO ₃ 0.7%	21.50a	20.79a	20.19	19.19
F-test	**	*	ns	ns
LSD	1.107	1.445	-	-
C.V. (%)	12.77	16.78	23.24	27.39

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at * p ≤ 0.05 and ** p ≤ 0.01

ns = not significant

Table 3 Quinone contents of jasmine after dipping in different CaCO₃ solution

Treatment	Quinone contents (gFW) at different storages (days)			
	2	4	6	8
Control	0.2705ab ^{1/}	0.2617ab	0.2493a	0.1825
CaCO ₃ 0.1%	0.2300b	0.2110b	0.1978b	0.1673
CaCO ₃ 0.3%	0.2648b	0.2302b	0.2006b	0.1773
CaCO ₃ 0.5%	0.2582b	0.2463b	0.2136b	0.1928
CaCO ₃ 0.7%	0.3219a	0.3013a	0.2655a	0.1825
F-test	*	*	**	ns
LSD	0.018	0.018	0.011	0.007
C.V. (%)	13.90	14.42	10.87	7.83

^{1/}Letters within columns indicate least significant differences (LSD) at * p ≤ 0.05 and ** p ≤ 0.01

ns = not significant

3. ปริมาณสารควิโนน

จากการทดลองวิเคราะห์สารประกอบควิโนนในดอกมะลิภายหลังได้รับสาร CaCO₃ ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พบว่าภายหลังเก็บรักษาในวันที่ 2, 4 และ 6 วัน ทุกทรีทเมนต์ที่ให้ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ การใช้สาร CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ มีสารควิโนนในปริมาณน้อย ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ

จากการใช้สาร CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่าดอกมะลิในทรีทเมนต์ดังกล่าวมีสารควิโนนในปริมาณมากที่สุด

ส่วนในวันสุดท้ายของการเก็บรักษา (วันที่ 8)

พบว่าการใช้ CaCO₃ ทุกระดับความเข้มข้นไม่มีผลต่อปริมาณสารควิโนน โดยดอกมะลิในทุกทรีทเมนต์ที่มีปริมาณสารควิโนนเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.1673-0.1928 กรัม/น้ำหนักสด (Table 3)

4. อายุเก็บรักษา

จากการทดลองพบว่า การแช่ดอกมะลิด้วยสาร CaCO₃ ที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกัน ทำให้อายุการเก็บรักษาดอกมะลิแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่าทรีทเมนต์ที่ใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานที่สุด คือ 10 วัน เพราะที่การไม่แช่มีอายุเพียง 6.75 วัน (Table 4)

Table 4 Shelf life of jasmine after dipping in different CaCO₃ solution

Treatment	Shelf life (days)
Control	6.75b ^{1/}
CaCO ₃ 0.1%	10.00a
CaCO ₃ 0.3%	7.50b
CaCO ₃ 0.5%	7.00b
CaCO ₃ 0.7%	6.00b
F-test	**
LSD	0.512
C.V. (%)	13.75

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

สรุปผลการทดลอง

การใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ ช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลบนกลีบดอกมะลิลงได้ดีกว่าการใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้นอื่นและดีกว่าการไม่แช่อย่างชัดเจน ทำให้ยืดอายุการเก็บรักษาดอกมะลิได้นานถึง 10 วัน นานกว่าการใช้ CaCO₃ ที่ความเข้มข้นอื่น ซึ่งมีอายุการเก็บรักษาเพียง 6-7.5 วัน และนานกว่าการไม่แช่ ซึ่งมีอายุเพียง 6.75 วัน

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าภายหลังเก็บเกี่ยวดอกมะลิมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในผลผลิต ส่วนหนึ่งเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ polyphenol oxidase (PPO) ซึ่งเป็นโปรตีนที่มีโลหะทองแดงเป็นองค์ประกอบทำหน้าที่กระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลให้เปลี่ยนไปเป็นสารควิโนน จากนั้นสารควิโนนจะเกิดการรวมตัวกันเป็นโมเลกุลใหญ่เกิดเป็นสารสีน้ำตาลที่เรียกว่าเมลานิน (melanin)¹⁷ โดยปกติเอนไซม์ PPO จะอยู่ใน คลอโรพลาสต์หรือพลาสทิดของพืชแยกจากสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารตั้งต้นปฏิกิริยาซึ่งพบถูกเก็บสะสมในแวคคิวโอล เมื่อเซลล์พืชถูกทำลาย เอนไซม์และสารตั้งต้นปฏิกิริยาดังกล่าวจึงมีโอกาสสัมผัสและทำปฏิกิริยา 2 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยา hydroxylation ทำหน้าที่เปลี่ยนสารประกอบ monophenols ไปเป็น *o*-diphenols และปฏิกิริยา oxidation โดยสารประกอบ *o*-diphenols ที่เกิดจากปฏิกิริยาแรกจะถูกออกซิไดส์ต่อไปเป็นออร์โท-ควิโนน (*o*-quinones) โดยกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ PPO ที่มีชื่อเรียกว่า diphenolase และ catecholase ตามลำดับ ซึ่งสารควิโนนที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนแปลงและรวมตัวกันเกิดปฏิกิริยากับกรดอะมิโนจนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ให้สีน้ำตาล¹⁸ สอดคล้องกับอดิณัฐและคณะ (2550)¹⁹ ซึ่งรายงานว่าดอกมะลิ

เมื่อเข้าสู่ระยะแก่หรือเสื่อมสภาพมากขึ้น โครงสร้างและการทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์จะเสื่อมลง มีผลทำให้เกิดการรั่วไหลของสารต่าง ๆ และเร่งการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ระหว่างเอนไซม์ PPO กับสารประกอบฟีนอลทำให้เกิดสีน้ำตาลมากขึ้น เวศน์ทิวา (2549)²⁰ ศึกษาผลของสารเคลือบผิวไคโตซานต่อการเกิดสีน้ำตาลบนเปลือกของผลองกอง พบว่าการเคลือบผิวไคโตซานที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.3 สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนผิวเปลือกผลได้ดี เนื่องจากไคโตซานมีส่วนประกอบของธาตุแคลเซียม (Ca) ที่สกัดจากเปลือกภายนอกที่หุ้มตัวสัตว์ที่มีลักษณะเป็นข้อปล้อง เช่น เปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนของหมีก โดยธาตุ Ca เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล เนื่องจากธาตุแคลเซียมเป็นองค์ประกอบที่สำคัญและจำเป็นต่อส่วนต่าง ๆ ของพืช โดยเฉพาะผนังเซลล์ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ยึดเกาะติดกันทำให้เซลล์มีความแข็งแรง ถ้าพืชขาดธาตุแคลเซียม จะทำให้ผนังเซลล์เกิดการสลายตัวทำให้เซลล์พืชคลายตัว และแยกออกจากกัน เซลล์เกิดการเสื่อมสภาพและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้ง่าย²¹ จากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาที่เกิดการสลายตัวของผนังเซลล์⁹ นำไปสู่การสร้างเอทิลีนในปริมาณที่สูงขึ้น^{10:11} ซึ่งเอทิลีนที่มีปริมาณมากขึ้นนี้ส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชมีการหายใจเพิ่มมากขึ้น¹² นำไปสู่การเร่งการเสื่อมสภาพในที่สุด¹³ ทั้งนี้เมื่อเนื้อเยื่อพืชเริ่มเสื่อมสภาพ จะพบการรั่วไหลของสารละลายต่าง ๆ ภายในเซลล์ จึงส่งเสริมการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลและเอนไซม์ PPO ทำให้กระตุ้นการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลของเนื้อเยื่อพืชให้ปรากฏเร็วขึ้น¹⁷ สอดคล้องกับ สุริยพันธ์ (2543)²² ศึกษาผลของแคลเซียมคลอไรด์ที่ระดับความเข้มข้น 0.1 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อการเก็บรักษามะละกอเส้นพันธุ์แขกดำ พบว่าการใช้ CaCl₂ ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงสีที่

เกิดขึ้นระหว่างเก็บรักษาได้ นอกจากนี้มีรายงานว่า CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ สามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลบนผลลูกพีช ได้เช่นกัน²³ ขณะที่อัมพวรรณและนิรมล (2551)²⁴ ศึกษาการใช้สารละลาย CaCl_2 เพื่อยืดอายุการปักแจกันในดอกหน้าวัว พันธุ์เปลวเทียน พบว่าการใช้ CaCl_2 ที่ความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ สามารถชะลอการเกิดสีน้ำตาลบนกลีบใบประดับดอกหน้าวัวได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. ช.ณัฐศิริ สุสุวรรณ (2538) วิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวไม้ตัดดอกไม้ตัดใบ. ภาควิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยี การเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
2. ตลาดสี่มุมเมือง. (2559) ราคาขายส่งสินค้า “มะลิดิบ” ปี 2555-2559 วันที่ ณ ปัจจุบัน (สืบค้นเมื่อ 23 มกราคม 2559) ได้จาก: <http://www.taladsimummuang.com/dmma/Portals/PriceListItem.aspx?id=080114020>
3. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557) ข้อมูลการส่งออกสินค้า (สืบค้นเมื่อ 22 ตุลาคม 2557) ได้จาก: report/export_import/export.php
4. ชัญญา ทิพานุกะ. (2554) “มะลิ” ไม้ดอกมหัศจรรย์. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร, กรุงเทพฯ.
5. ศรีสังวาลย์ ปลายวิเศษกุล. (2537) สรีรวิทยาของดอกมะลิหลังการเก็บเกี่ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
6. Faragher, J.D. and S. Mayak. (1984) Physiological responses of cut rose flowers to exposure to low temperature: Changes in membrane permeability and ethylene production. *J. Expt. Bot.*, 35, 965-974.
7. Kug, R. and M. Workman. (1964) The relation of maturity to the respiration and keeping quality of cut carnations and chrysanthemum. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 84, 575-581.
8. Saure M.C. (2005) Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticult -turae.*, 105, 65-89.
9. Sexton, R and J.A. Roberts. (1982) Cell biology of abscission. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 33, 133-162.
10. Sexton, R., A.E. Porter, S. Littlejohn and S.C. Thian. (1995) Effects of diazocyclo -pen tadiene (DACP) and silver thiosul -phate (STS) on ethylene regulated abscission of sweet pea flowers (*Lathy -rus odoratus L.*) *Ann. Bot.*, 75, 337-342.
11. Patterson, S.E. (2001) Cutting loose. Abscission and dehiscence in *Arabidop -sis*. *Plant Physiol.*, 126, 494-500.
12. Salisbury, F.B. and C.W. Ross. (1992) *Plant Physiology*. Wadsworth Pubs., Belmont, California. p. 682.
13. Gonz´alez-Carranza, Z.H., E. Lozoya-Gloria and J.A. Roberts. (1998) Recent developments in abscission: shedding light on the shedding process. *Trends Plant Sci.*, 3, 10-14.
14. Barta, D.J. and T.W. Tibbitts. (1991) Calcium localization in lettuce leaves with and without tip burn: comparison of controlled -environment and field-grown plants. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 116, 870-875.
15. Ribeiro, S.M.R., L.C.A. Barbosa, J.H. Queiroz, M. Knodler and A. Schieber. (2008) Phenolic compounds and antioxi -dant capacity of Brazilian mango (*Mangifera indica L.*) varieties. *Food Chem.*, 110, 620-626.
16. Pirie, A. and M.G. Mullins. (1976) Changes in anthocyanin and phenolic content of grapevine leaf and fruit tissue treated with sucrose, nitrate and abscisic acid. *Plant Physiol.*, 58, 468-472.
17. ชมดาว ขำจริง. (2554) ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเติบโตคุณภาพภายในและการเกิดอาการปลายใบไหม้ในผักกาดหอมใบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.
18. จิ่งแท้ สิริพานิช. (2549) ชีววิทยาหลังการเก็บเกี่ยวและการวางของพืช. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรวิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
19. อติษฐ์ จรดล จำนวน อุทัยบุตร กานดา หวังชัย และกอบเกียรติ แสงนิล. (2550) การยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลิ้นจี่แช่แข็งโดยการแช่ในกรดออกซาลิก. *วิทยาศาสตร์เกษตร*. 38: 45-48.
20. เวศน์ทิวา แพงมา. (2549) ผลของสารเคลือบผิวและสภาพตัดแปลงบรรยากาศต่อการเกิดสีน้ำตาลของเปลือกลองกอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
21. Saure, M.C. (2005) Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. *Scientia Horticult -turae.*, 105, 65-89.
22. สุริย์พันธ์ สุภาพวานิช. (2543) ผลของแคลเซียมคลอไรด์

และฟิล์มพลาสติกต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ-เคมีของมะละกอเส้นพันธุ์แขกดำพร้อมปรง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

23. Kang, R.Y., and Yu, Z.F. (2003) Effects of chitosan and calcium chloride coating treatments on the enzyme activity of Yangshan peach during refrigerate storage. *Changjiang Fruits*. 1: 12-14.
24. อัมพวรรณ สนั่นชัย และนิรมล สันติภาพ วิวัฒนา. (2551) การใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เพื่อยืดอายุการปักแจกันของดอกหน้าวัว. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 39(3) (พิเศษ):235-238.

การดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยใช้ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ Adsorption of Lead (Pb^{2+}) Using Saw Dust and Modified Saw Dust

พลวัฒน์ พาทรมพิก,¹ ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์,^{2*} ธาญกร พระบำรุง³

Polawat Phaphromphuek,¹ Panjai Sueprasearsit,^{2*} Thayukorn Prabamroong³

Received: 25 April 2016 ; Accepted: 26 August 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ซีลี้อย (SD) และซีลี้อยปรับสภาพ (MSD) โดยปรับสภาพด้วยกระบวนการปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารละลายกรดซัลฟิวริก การศึกษาทั้งหมดอยู่ในรูปแบบการทดลองแบบที่ละทีละอย่าง ซึ่งปัจจัยการดูดซับที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย ค่า pH ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น และอุณหภูมิ นอกจากนี้ได้มีการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ จลนศาสตร์การดูดซับ และ อุณหพลศาสตร์การดูดซับ เพื่ออธิบายกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น รวมถึงศึกษาการคายซับเพื่อพิจารณาวิธีการจัดการที่เหมาะสมสำหรับตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับ

ผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ คือ pH 5 ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สำหรับการศึกษาการดูดซับพบว่า สมการไอโซเทอร์มที่เหมาะสมในการอธิบายกลไกการดูดซับตะกั่วของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ คือ แลงเมียร์โดยค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพตามสมการของแลงเมียร์มีค่าเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 7.56 มิลลิกรัมต่อกรัม การศึกษาจลนศาสตร์ของการดูดซับพบว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second-order และการศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า ΔH^0 ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -9.99 กิโลจูลต่อโมลและ -15.08 กิโลจูลต่อโมล แสดงว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction) และ ΔG^0 ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นปฏิกิริยาการดูดซับสามารถเกิดขึ้นได้เอง (Spontaneous Reaction) และ ΔS^0 ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -52.20 จูลต่อโมล.เคลวิน และ -64.40 จูลต่อโมล.เคลวิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นทำให้ระบบมีความเป็นระเบียบมากขึ้น

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการคายซับเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการวัสดุดูดซับหลังผ่านกระบวนการดูดซับ ซึ่งพบว่า ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ มีค่าเท่ากับ 70.79% และ 90.28% จากการใช้สารละลาย กรดไนตริก 1.0 โมลาร์ จากผลการศึกษาจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการคายซับมีค่าสูงจึงเหมาะสมที่จะใช้วิธีการคายซับในการจัดการตัวดูดซับหลังผ่านการดูดซับ ซึ่งวิธีการนี้จัดว่าเป็นวิธีการนำตะกั่วกลับมาใช้ (Recovery) และเป็นการฟื้นฟูสภาพตัวดูดซับ (Regeneration) เพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพจัดว่าเป็นวัสดุดูดซับที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว ซึ่งการนำซีลี้อยและซีลี้อยที่ปรับสภาพมาใช้ประโยชน์นี้จัดว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Utilization) และยังช่วยจัดการวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Management) ซึ่งเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Eco-friendly Approach) อีกแนวทางหนึ่ง

คำสำคัญ: การดูดซับ โลหะหนัก ซีลี้อยการปรับสภาพ

¹ นิสิตระดับปริญญาโท,^{2,3} อาจารย์, คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมืองจังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master Degree's Student,^{2,3} Lecturer, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm, 44150, Thailand.

^{*} Corresponding author; PanjaiSueprasearsit, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm, 44150, Thailand. panjai@msu.ac.th

Abstract

This research presented the adsorption of lead in synthetic wastewater using sawdust (SD) and modified sawdust (MSD) that modified processes of Alkali-Acid Modification with sodium hydroxide cooperate citric acid. All experiments were carried out in the batch reactor technique. This research project studied the characteristics of sawdust and modified the sawdust including adsorption factors; pH, contact time, initial lead concentration and temperature. Furthermore, the studied adsorption isotherm, kinetic and thermodynamics were used to explain the related adsorption. Finally, desorption was studied to evaluate the appropriate technique for spent adsorbent management.

The results indicate that the optimal adsorption of lead using sawdust and modified sawdust condition consists of pH 5, contact time 120 minutes of contacting time, initial lead concentration of 50 mg/l and temperature at 30 °C. The experimental data were well fitted with Langmuir isotherm of sawdust and modified sawdust, in which the adsorption efficiency of sawdust and modified sawdust was 5.58 mg/g and 7.56 mg/g respectively. The kinetic adsorption behavior was fitted with the Pseudo-second-order model. The average thermodynamic changes of standard adsorption heat, ΔH^0 , of sawdust and modified sawdust were -9.99 kJ/mol and -15.08 kJ/mol, which shows that the adsorption system was an exothermic reaction. ΔG^0 values indicate the reaction process for lead onto the studied sawdust and modified sawdust were a spontaneous reaction. The values of standard entropy, ΔS^0 , of sawdust and modified sawdust were -52.20 J/mol.K and -64.40 J/mol.K, which shows that the adsorption system had more regularity.

In addition, this research studied the desorption efficiency for management of adsorbent after. The results of desorption were 70.79% and 90.28% respectively. The results of desorption were high yield. All the results show sawdust and modified sawdust to be interesting adsorbents and adsorption efficient of lead. Sawdust and modified sawdust were effective for waste utilization and represent an eco-friendly approach.

Keywords: Adsorption, Heavy Metal, Sawdust, Modified

บทนำ

การปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว มีผลสืบเนื่องมาจากการนำเอาตะกั่วไปใช้ประโยชน์ เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นจำนวนมาก เช่น อุตสาหกรรม แบตเตอรี่ อุตสาหกรรมเคลือบเหล็ก อุตสาหกรรมชุบโลหะ (เหล็ก และเหล็กกล้า) เป็นต้น¹ ซึ่งทำให้มีโอกาสที่ตะกั่วจะปนเปื้อนหรือแพร่กระจายไปในสิ่งแวดล้อมจนก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า หากประชาชนได้รับสารตะกั่วเข้าไปสะสมในร่างกายจะมีผลต่อระบบหมุนเวียนโลหิต ระบบประสาทสมอง ไต และต่อสารพันธุกรรม เป็นต้น²

จากข้อมูลดังกล่าวจึงจำเป็นต้องหาวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วที่ปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิด ที่ส่วนใหญ่ของในรูปแบบของน้ำเสีย ซึ่งวิธีการกำจัดตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำเสียมียุทธวิธีด้วยกัน ประกอบด้วย การตกตะกอน (Precipitation) การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange) กระบวนการออสโมซิสแบบผันกลับ (Reverse Osmosis) กระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) การออกซิเดชันทางเคมี และการดูดซับ (Adsorption)³ สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสนใจที่จะเลือกวิธีการดูดซับมาใช้ศึกษา ทั้งนี้เนื่องจากการดูดซับ

จัดว่าใช้หลักการขั้นพื้นฐานง่ายต่อการควบคุมและบำรุงรักษา มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัด และมีค่าใช้จ่ายต่ำในการดำเนินการระบบ นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้สูงในการที่จะนำกลับตะกั่วกลับไปใช้ประโยชน์ (Recovery)⁴ และเป็นที่ยอมรับกันดีว่าการดูดซับโดยทั่วไปจะนิยมใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวดูดซับ แต่เนื่องจากกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์จะต้องใช้อุณหภูมิสูงซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงและใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก⁵ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้นำขี้เลื่อย (Sawdust หรือ Wood Dust) ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตประเภทผลิตภัณฑ์ไม้ และไม้แปรรูป ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ขี้เลื่อยจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งในโครงสร้างมีกลุ่มฟังก์ชันคือ กลุ่มไฮดรอกซิล (OH^-) และคาร์บอกซิลิก (COO^-)⁶ เป็นจำนวนมากจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้ดูดซับตะกั่วได้ และนอกจากการใช้ขี้เลื่อยตามธรรมชาติแล้ว ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สนใจที่จะศึกษาการดูดซับตะกั่วของขี้เลื่อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกระบวนการกรด-ด่างโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับกรดซิตริก ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การปรับสภาพด้วยโซเดียม

ไฮดรอกไซด์ (NaOH) สามารถละลายพันธะสลายพันธะโควาเลนต์ระหว่างลิกนินและเซลลูโลส ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้ มากไปกว่านั้นยังช่วยย่อยสลายไซและไซมันบนผิวของเซลลูโลส และกรดซัลฟิวริกช่วยเพิ่มอุณหภูมิ จะทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ที่เปลี่ยนกลุ่มฟังก์ชันนอลของไฮดรอกซิลเป็นคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการเพิ่มไอออนลบให้แก่ตัวดูดซับ ทำให้สามารถดูดซับไอออนบวกของโลหะหนักได้เพิ่มมากขึ้น⁸ โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการดูดซับตะกั่ว (Pb^{2+}) โดยใช้ทั้งซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพด้วยกรด-ด่าง โดยเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดูดซับ คือ ค่า pH ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วเริ่มต้น และอุณหภูมิ ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ จลนศาสตร์การดูดซับ และอุณหพลศาสตร์การดูดซับ รวมทั้งการคายซับตะกั่วจากวัสดุดูดซับทั้งสองชนิด

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมวัสดุดูดซับและน้ำเสียสังเคราะห์

1.1 การเตรียมซีลี้อย

ล้างซีลี้อยด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกจนค่า pH ของน้ำล้างสุดท้ายใกล้เคียงกับค่า pH ของน้ำกลั่น และนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นและนำไปบดให้มีขนาดเล็กกล และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 35 และ 60 มิลลิเมตร (ขนาด 250-500 ไมโครเมตร)³ เก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อใช้เป็นซีลี้อยในขั้นตอนการทดลอง

1.2 การเตรียมซีลี้อยปรับสภาพ

สำหรับซีลี้อยปรับสภาพ สามารถเตรียมได้โดยการนำซีลี้อยผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ (0.1M NaOH) ด้วยอัตราส่วน 1:20 นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจนค่า pH ของน้ำล้างสุดท้ายใกล้เคียงกับค่า pH ของน้ำกลั่น นำซีลี้อยไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำซีลี้อยไปแช่ในกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ ($1M\ C_6H_8O_{10}$) ด้วยอัตราส่วน 1:7 แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจนค่า pH ของน้ำล้างสุดท้ายใกล้เคียงกับค่า pH ของน้ำกลั่นนำซีลี้อยไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง⁸ จากนั้นนำไปบดให้มีขนาดเล็กกลและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 35 และ 60 มิลลิเมตร (ขนาด 250-500 ไมโครเมตร) แล้วเก็บในภาชนะที่ปิดสนิท เพื่อใช้เป็นซีลี้อยปรับสภาพในการทดลอง

1.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากการละลายสารตะกั่วไนเตรต ($Pb(NO_3)_2$) ปริมาณ 1.59 กรัม ลงในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เท่ากับ 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นของตะกั่ว (Pb^{2+}) 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร บรรจุลงในภาชนะปิดและเก็บไว้ทำการเจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่ต้องการในแต่ละการทดลอง⁹

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดูดซับ

คุณสมบัติของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพเป็นการศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Micro-scope; SEM) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Leo-1450⁴ และเครื่อง BET Surface Area Pore Size and Pore Volume Distribution Analyzer (BET) ยี่ห้อ Bel-Japan รุ่น BelSorp mini II¹⁰ วิเคราะห์ผลึกโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ X-ray Diffraction (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 advance วิเคราะห์ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เครื่อง Near Infrared & relate (IR-Spectrum) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น NIRFlex N-500¹¹

2.2 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ

การศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์จะใช้กรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์² ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่ 0, 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 และ 360 นาที¹² ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นกับอุณหภูมิ โดยที่ความเข้มข้น 5, 25, 50, 75 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิที่ 30, 45 และ 60 องศาเซลเซียส¹² โดยนำตัวอย่างไปแช่ในเครื่องควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ซึ่งในการทดลองจะทำการแยกวัสดุดูดซับออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการกรอง โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร โดยสารละลายโลหะหนักที่ได้จะอยู่ในรูปของ Dissolved HM หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS ยี่ห้อ Shimadzu aa-6200 ที่ความยาวคลื่น 283.3 นาโนเมตร นำค่าที่ได้มาคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับจากสมการที่ (1)¹³ การทดลองทั้งหมดจะควบคุมปัจจัยที่มีค่าเหมาะสม ได้แก่ ค่า pH ระยะเวลาสัมผัส ความเข้มข้นเริ่มต้น และอุณหภูมิ จากสมการที่ (1)¹

คำนวณค่าปริมาณของโลหะหนักที่ถูกดูดซับในรูป %Removal จากสมการที่ (1)

$$\% \text{Removal} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก (mg/l) C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนัก (mg/l) ที่เหลือ

2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

การวิเคราะห์ไอโซเทอร์มเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมของการดูดซับตะกั่ว ประกอบด้วยสมการแลงเมียร์ (Langmuir Adsorption Isotherm) สมการของฟรุนดิช (Freudlich Adsorption Isotherm) สมการของเทมคิน (Temkin Isotherm) และสมการของดูบิโน-ราดัสเควิช (Dubinin-Radushkevich Isotherm)

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m K_L} \quad (2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m} \quad (3)$$

เมื่อ C_e คือ ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่วที่จุดสมดุล (mg/l) q_e คือ ปริมาณของตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของซีลี้อยหรือซีลี้อยที่ปรับสภาพที่สภาวะสมดุล (mg/g) q_m คือ ความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงสุด (mg/g) และ K_L คือ ค่าคงที่แลงเมียร์ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ (l/mg)¹¹

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มของ ฟรุนดิช ดังสมการที่ (3) และ (4)⁵

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (4)$$

$$\log q_e = \frac{1}{n} \log C_e + \log K_F \quad (3)$$

เมื่อ K_F คือ ค่าคงที่ของฟรุนดิช (mg/g) และ n คือ ค่าคงที่ของฟรุนดิช¹³

สมการแบบจำลองของเทมคิน ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln K_T C_e \quad (5)$$

$$q_e = \beta \ln K_T + \beta \ln C_e \quad (6)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) R คือ ค่าคงที่ของก๊าซเท่ากับ 8.314 (J/mol.K) K_T คือ ค่าคงที่สมดุล (kJ/mg) b คือ พลังงานการดูดซับ (kJ/mol) และ β คือ ค่าคงที่ของเทมคิน (mol²/kJ²)⁸

สมการแบบจำลองไอโซเทอร์มของดูบิโน-ราดัสเควิช (Dubinin-Radushkevich Isotherm) ดังสมการที่ (6) (7) และ (8)

$$\ln q_e = \ln q_s - K_d \varepsilon^2 \quad (6)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left[1 + \frac{1}{C_e} \right] \quad (7)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2} \beta} \quad (8)$$

เมื่อ q_e คือ ปริมาณสูงสุดของสารถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวของตัวดูดซับ (mg/g) K_d คือ ค่าคงที่ของดูบิโน-ราดัสเควิช (mol²/kJ²) ε คือ Polanyi Potential และ E คือ พลังงานในการดูดซับ (kJ/mol)¹⁴

2.4 การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ

การวิเคราะห์จลนศาสตร์เพื่อใช้อธิบายอัตราเร็วการเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยแบบจำลอง Pseudo-first-order, Pseudo-second-Order และ Intraparticle Diffusion ดังสมการ

สมการ Pseudo-first-order ดังสมการที่ (9)

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (9)$$

เมื่อ q_e คือ ความสามารถดูดซับตะกั่วที่จุดสมดุล (mg/g) q_t คือ ความสามารถในการดูดซับตะกั่วต่อปริมาณซีลี้อยหรือซีลี้อยปรับสภาพที่เวลาใด ๆ (mg/g) k_1 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (min⁻¹) และ t คือ เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (min)⁸

สมการ Pseudo-second-order ดังสมการที่ (10)

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (10)$$

เมื่อ k_2 คือ ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับสองเทียม (mg/g*min⁻¹)⁵

สมการการแพร่กระจายของอนุภาคภายในตัวดูดซับ (Intraparticle Diffusion) ดังสมการที่ (11)

$$q_t = k_i t^{1/2} + C \quad (11)$$

เมื่อ k_i คือ ค่าคงที่ของการแพร่กระจายของอนุภาคภายในตัวดูดซับ ($\text{mg}\cdot\text{min}^{0.5}/\text{g}$) และ C คือ ค่าคงที่ (mg/g)¹⁵

2.5 การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

พารามิเตอร์ของอุณหพลศาสตร์ เช่น Enthalpy Change (ΔH°) Free Energy Change (ΔG°) และ Entropy Change (ΔS°) สามารถประมาณโดยใช้ค่าคงที่สมดุลการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ การเกิดปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของการดูดซับให้ผลตามสมการ ดังสมการที่ (12) และ (13)

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_L \quad (12)$$

$$\ln K_L = \frac{\Delta H^\circ}{-RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (13)$$

เมื่อ ΔG° คือ พลังงานอิสระของ Gibbs (kJ/mol) R คือค่าคงที่ของก๊าซ ($8.314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$) K_L คือ ค่าคงที่สมดุลทางอุณหพลศาสตร์ และ T คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (K) การคำนวณค่า K_L สามารถคำนวณได้ 3 รูปแบบ คือ

$$K_L = K_F^n \quad (14)$$

$$K_L = 1/b \quad (15)$$

$$K_L = q_e/c_e \quad (16)$$

ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการแลงเมียร์และฟรุนดลิช โดยคำนวณค่า K_L ได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ $K_L = K_F^n$ ค่า K_F ได้มาจากค่าคงที่ของสมการฟรุนดลิช $K_L = 1/b$ ค่า b ได้มาจากค่าคงที่ของสมการแลงเมียร์ (K_L) และ $K_L = q_e/c_e$ ได้มาจากไอโซเทอร์มการดูดซับโดยตรง¹⁶

2.6 การศึกษาการคายซับของโลหะหนัก

นำซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพที่ผ่านการดูดซับและผ่านการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงปริมาณ 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตรทำการแยกวัสดุดูดซับด้วยการกรองโดยใช้กระดาษกรอง โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตรโดยสารละลายโลหะหนักที่ได้จะอยู่ในรูปของ Dissolved HM นำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าโลหะหนักด้วยเครื่อง AAS ยี่ห้อ Shimadzu aa-6200 ที่ความยาวคลื่น 283.3 นาโนเมตรและคำนวณการคายซับจากสมการประสิทธิภาพการคายซับ¹² ดังสมการที่ (17)

$$D = \left\{ \frac{[(C_i - C_e) - C_d]}{C_i - C_e} \right\} \times 100 \quad (17)$$

เมื่อ D คือ ประสิทธิภาพการคายซับ (%) C_i คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายโลหะหนัก (mg/l) C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลาย ในสารละลายที่จุดสมดุล (mg/g) และ C_d คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักที่เหลืออยู่ (mg/l)

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดูดซับ

(Figure 1) แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยใช้เครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า พบว่า การปรับสภาพโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร่วมกับสารละลายกรดซัลฟิวริกทำให้พื้นที่ผิวของซีลี้อยมีรูพรุนเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งยังช่วยกำจัดสิ่งสกปรกที่เกาะอยู่บริเวณพื้นที่ผิวของซีลี้อยทำให้พื้นที่ผิวเหมาะสมต่อการดูดซับตะกั่วได้มากขึ้น⁴ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Nady และคณะ⁸ ที่ได้ทำการศึกษาผลของการปรับสภาพที่มีผลต่อโครงสร้างของฟางข้าว พบว่า การปรับสภาพด้วยกรดต่างร่วมกันสามารถปรับสภาพพื้นที่ผิวของฟางข้าวให้มีความเป็นระเบียบและเหมาะสมต่อการดูดซับได้มากขึ้น รวมทั้งเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในการผลิตตัวดูดซับต้นทุ่นดำที่มีประสิทธิภาพสำหรับกำจัดตะกั่วได้ซึ่งได้ผลดัง (Figure 1)

(Table 1) แสดงลักษณะพื้นที่ผิวของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยใช้เครื่อง BET พบว่า ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 1.14 ตารางเมตรต่อกรัม และ 1.56 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ ขนาดรูพรุนของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 0.007 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 0.009 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม ตามลำดับจากการศึกษาการกระจายตัวของรูพรุน พบว่ารูพรุนส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วง 2-50 นาโนเมตร ซึ่งจัดว่าเป็นรูพรุนขนาดกลาง (Mesopore)⁹ และมีขนาดรูพรุนของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยเฉลี่ยเท่ากับ 24.75 นาโนเมตร และ 26.71 นาโนเมตร จากการศึกษาที่ได้จะเห็นว่าซีลี้อยปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะปริมาตรรวมของรูพรุน และขนาดของรูพรุนมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จะสามารถละลายพันธะละลายพันธะโควาเลนต์ระหว่างลิกนินและเซลลูโลส ไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลส และละลายโครงสร้างของลิกนินทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักได้⁹ ซึ่งได้ผลดัง (Table 1)

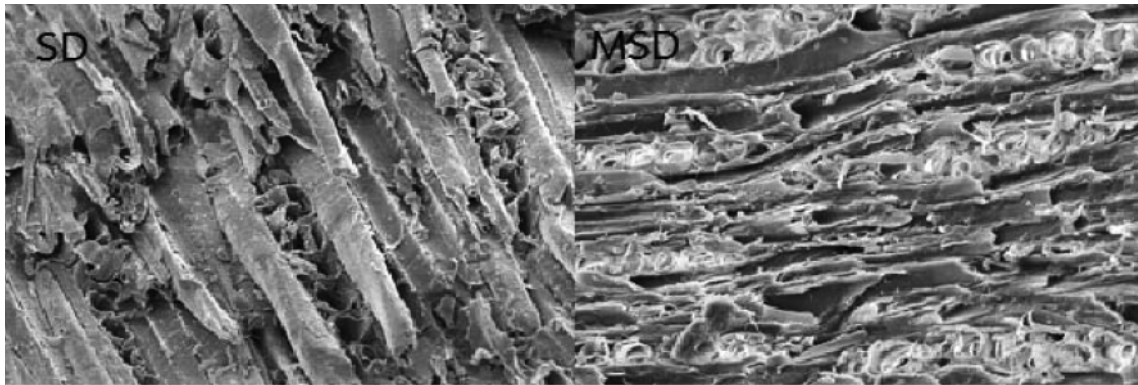


Figure 1 Characteristics of surface area using SEM at times 500 magnification

Table 1 Characteristics of surface area using BET

Adsorbent	BET surface area (m ² /g)	Total pore volume (cm ³ /g)	Mean pore diameter (nm)
SD	1.14	0.007	24.75
MSD	1.56	0.009	26.71

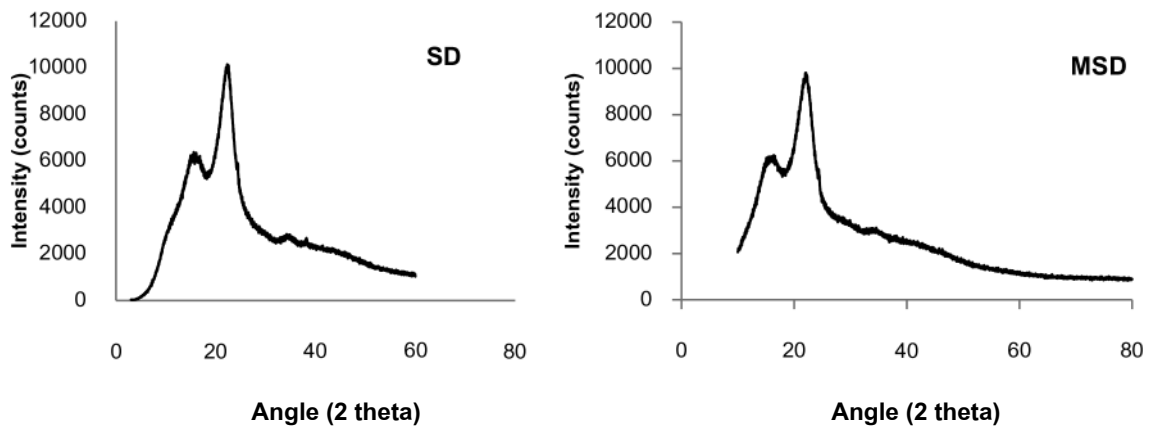


Figure 2 Characteristics of configuration using X-ray Diffraction

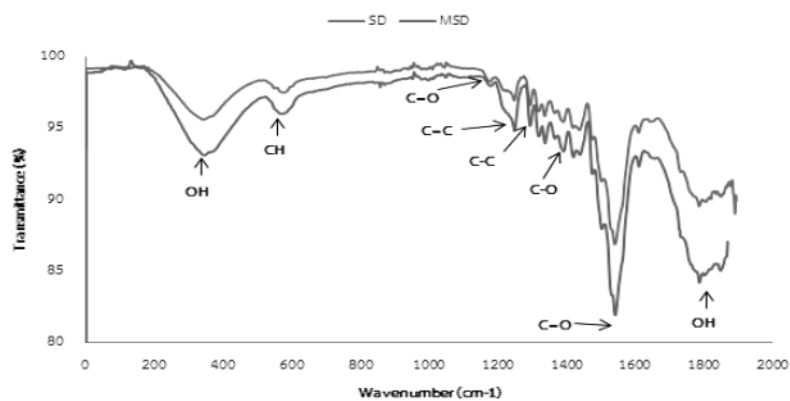


Figure 3 IR-spectrum using Near Infrared & Related

(Figure 2) แสดงลักษณะองค์ประกอบของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยใช้เครื่อง X-ray พบว่า ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีโครงสร้างเป็นอสัณฐาน (Amorphous) เป็นการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบในโครงสร้างและทำให้มีรูปร่างที่ไม่แน่นอน โดยองค์ประกอบที่พบจะเป็นส่วนประกอบที่มีในโครงสร้างของพีซีอย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบระหว่างซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ พบว่า การปรับสภาพจะมีการเกิดผลึกของเซลลูโลสซึ่งเกิดจากกระบวนการไฮโดรไลซ์มากขึ้น ทำให้ลักษณะของเส้นกราฟมีความเป็นระเบียบมากขึ้น¹¹ ซึ่งได้ผลดัง (Figure 2)

(Figure 3) แสดงลักษณะหมู่ฟังก์ชันของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยใช้เครื่อง FTIR พบว่าสเปกตรัมของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพจะปรากฏพีคของอีเธอร์และเอสเทอร์ (กลุ่มคาร์บอนิล) ที่ตำแหน่ง 1,000-1,300 (C-O) พีคของกลุ่มอัลคีน (กลุ่มคาร์บอน-นิล) ที่ตำแหน่ง 1,000-1,500 (C=C) และพีคของแอลดีไฮด์ (กลุ่มคาร์บอกซิลิก) ที่ตำแหน่ง 1,700 (C=O) ซึ่งซีลี้อยปรับสภาพจะมีกลุ่มฟังก์ชันที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลจากการทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริกโดยใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันที่เปลี่ยนกลุ่มฟังก์ชันของไฮดรอกซิลเป็นคาร์บอกซิลิก (C=O เป็นส่วนที่มาจากกรด) ซึ่งการที่ซีลี้อยปรับสภาพมีกลุ่มฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิกเพิ่มขึ้นจัดว่าเป็นการเพิ่มไอออนลบให้แก่ซีลี้อย ทำให้มีความสามารถในการดูดซับไอออนบวกของโลหะหนักได้เพิ่มมากขึ้น¹⁷ ซึ่งได้ผลดัง (Figure 3)

ผลการศึกษาคุณสมบัติวัสดุดูดซับ คือ ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ เมื่อปรับสภาพวัสดุดูดซับทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยและมีค่าไม่แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน ปริมาตรของรูพรุน และองค์ประกอบ แต่หมู่ฟังก์ชันของซีลี้อยได้ถูกเปลี่ยนไป จึงมีผลต่อการดูดซับตะกั่วได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นกระบวนการปรับสภาพด้วยกรดต่างร่วมกันมีความเป็นไปได้ที่ทำให้คุณสมบัติของวัสดุดูดซับมีความเหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้

2. ศึกษาผลของ pH ที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว

(Figure 4) แสดงผลของ pH ที่มีต่อประสิทธิภาพของการดูดซับตะกั่วของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับที่ค่า pH ต่ำจะทำให้ความสามารถในการแตกตัวของไฮโดรเจนไอออนหรือโปรตอนสูง จึงเกิดการแย่งจับกับไอออนของตะกั่ว ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วต่ำส่วนค่า pH ที่สูงขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งมากกว่า 6 โลหะตะกั่วจะเกิดการตกตะกอนในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ ทำให้ในสภาพที่เป็นต่างซึ่งปริมาณโลหะที่ถูกดูดซับจะได้น้อยลง และทำให้ความเข้มข้นของตะกั่วในสารละลายมี

ค่าลดลงด้วยสำหรับในงานวิจัยนี้เลือกค่า pH ที่เหมาะสม คือ pH 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 40.50% และ 55.40% ตามลำดับ โดยที่ค่า pH 6 และ 7 เริ่มมีการตกตะกอนทำให้ค่า Blank ของตะกั่วมีค่าลดลง ได้ผลดัง (Figure 4)

3. การศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว

(Figure 5) แสดงประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพ ซึ่งในช่วงแรกแนวโน้มในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากพื้นที่ผิวบริเวณ Active Site ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพเวลาผ่านไปพื้นที่ผิวบริเวณ Active Site จะลดลงเพราะไอออนของตะกั่วจะเข้าไปยึดเกาะทำให้ยังมีพื้นที่อยู่มากจึงสามารถดูดซับได้รวดเร็ว แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปการดูดซับจะลดลง¹⁸ และจะเกิดแรงผลักระหว่างตะกั่วที่จะเข้าไปยึดเกาะกับตะกั่วที่ถูกดูดซับไว้เดิมที่เรียกว่า "การคายซับ (Desorption)" ทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเริ่มคงที่โดยจุดที่

ประสิทธิภาพคงที่ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า "จุดสมดุล"⁴ งานวิจัยนี้ พบว่า จุดสมดุลของการดูดซับ คือ 120 นาที ซึ่ง ณ สภาวะดังกล่าวประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 50.32% และ 68.29% และซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าเท่ากับ 24.13% และ 32.70% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตะกั่วที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร มีผลทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ที่เพิ่มสูงขึ้นรวมทั้งเห็นความแตกต่างของอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาของการดูดซับไอออนตะกั่ว¹⁵ ได้ผลดัง (Figure 5)

4. ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นและอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับตะกั่ว

(Figure 6) แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการดูดซับหรือปริมาณตัวถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ (SD และ MSD) มีหน่วยเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมของตัวดูดซับ เห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไอออนตะกั่วเป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอออนตะกั่วในสารละลายกับบริเวณผิวของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพเพิ่มสูงขึ้น เกิดแรงขับเคลื่อน (Driving Force) ที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับของไอออนตะกั่วจะมีแนวโน้มที่สูงขึ้น⁴ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพลังงานจลน์มีมากขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ของสารละลายโลหะหนักไปยังพื้นที่ผิวของวัสดุดูดซับได้น้อย ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วลดลง¹⁹ ซึ่งได้ผลดัง (Figure 6)

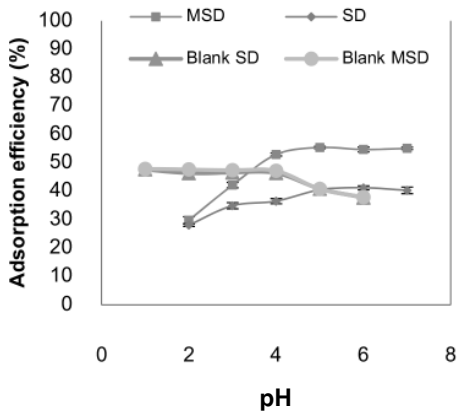


Figure 4 Effects of pH

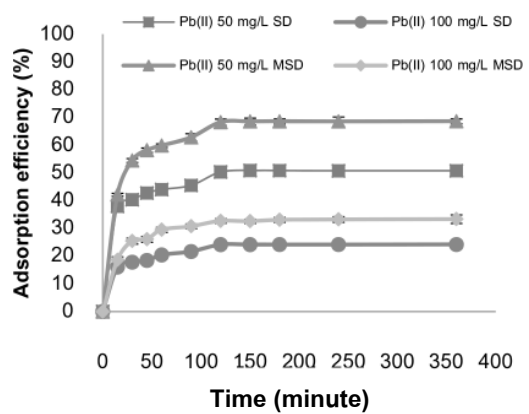


Figure 5 Effects of contact time

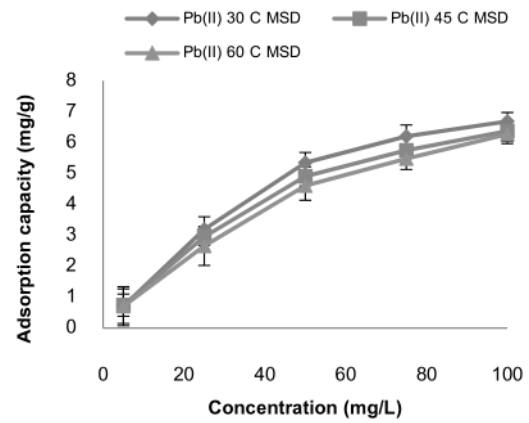
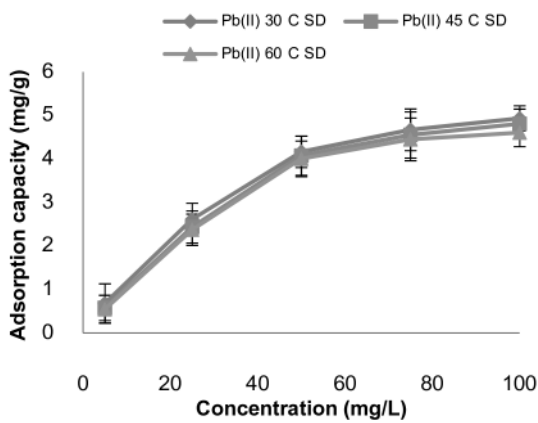


Figure 6 Effects of initial lead concentration on adsorption capacity of SD and MSD

5. การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วโดยใช้ซีเลื้อยและซีเลื้อยปรับสภาพ เมื่อใช้สมการแลงเมียร์ ฟรุนดลิช เทมคิน และ ดุบินิน-ราตัสเควิช แสดงใน (Table 2) และ (Table 3) พบว่า สอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ซึ่งอธิบายได้ว่า การดูดซับเกิดขึ้นเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) ที่มีความสม่ำเสมอ

(Homogenous) ที่อยู่บนพื้นที่ผิวของซีเลื้อยและซีเลื้อยปรับสภาพมีตำแหน่งในการดูดซับมีปริมาตรที่แน่นอน^๑ และมีค่าความสามารถในการดูดซับสารละลายตะกั่วที่เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวได้มากที่สุดเท่ากับ 5.58 และ 7.5 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งเมื่อนำค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้ผลดัง (Table 4)

Table 2 All parameters SD of Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevits

temp. (°C)	langmuir			Freundlich			Temkin			Dubinin-Radushkevits			
	q _{max} (mg/g)	K _L (g/mg)	R ²	K _F (l/g)	n (mg/g)	R ²	K _T (l/g)	b (kJ/mol)	R ²	K _d (mol ² /kJ ²)	q _d (mg/g)	E (kJ/mol)	R ²
30	5.58	0.10	0.997	0.72	2.06	0.973	0.64	2.68	0.982	6*10 ⁻⁷	4.02	0.29	0.918
45	5.71	0.08	0.996	0.54	1.80	0.967	0.97	3.00	0.979	9*10 ⁻⁷	3.90	0.75	0.919
60	5.60	0.07	0.995	0.47	1.73	0.958	1.15	3.18	0.977	1*10 ⁻⁶	3.80	0.71	0.923

Table 3 All parameters MSD of Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich.

temp. (°C)	langmuir			Freundlich			Temkin			Dubinin-Radushkevich			
	q_{max} (mg/g)	K_L (g/mg)	R^2	K_F (l/g)	n (mg/g)	R^2	K_T (l/g)	b (kJ/mol)	R^2	K_d (mol ² /kJ ²)	q_d (mg/g)	E (kJ/mol)	R^2
30	7.56	0.12	0.998	0.92	2.11	0.961	1.99	4.69	0.984	$5 \cdot 10^{-7}$	5.26	1.00	0.918
45	7.35	0.09	0.996	0.82	1.90	0.976	2.08	4.56	0.997	$6 \cdot 10^{-7}$	4.88	0.91	0.901
60	7.55	0.07	0.988	0.68	1.80	0.987	1.01	3.99	0.966	$7 \cdot 10^{-7}$	4.60	0.85	0.877

Table 4 Comparison maximum lead adsorption capacity of SD and MSD with the other adsorbents

Adsorbents	Maximum lead adsorption capacity (mg/g)	References
Logan Peel	8.70	[3]
Dried Logan Peel	1.48	[3]
Treat Logan Peel	1.01	[3]
Phosphorylated Sawdust	1.45	[20]
Spent Coffee Grounds	2.46	[21]
SD	5.58	This research
MSD	7.56	This research

6. การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ

การศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับตะกั่ว โดยใช้ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพใช้แบบจำลอง Pseudo-first-order Pseudo-second-order และแบบจำลองการแพร่กระจายภายในอนุภาคภายในตัวดูดซับ (Intraparticle Diffusion) แสดงใน (Table 5) พบว่าผลการทดลองสอดคล้องกับสมการ

Pseudo-second-order แสดงให้เห็นว่า อัตราควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแรงทางเคมี (Chemical Force) ซึ่งพันธะเคมีหรือแรงเคมีที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันหรือเกิดจากการให้อิเล็กตรอนหรือการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารละลายโลหะหนักกับตัวดูดซับ¹⁷ ซึ่งได้ผลดัง (Table 5)

Table 5 Pseudo-first-order, Pseudo-second order and Intraparticle diffusion constants for adsorption of lead on SD and MSD

Adsorbents	Pseudo-first-order			Pseudo-second-order			Intraparticle Diffusion		
	K_1 (min ⁻¹)	q_e (mg/g)	R^2	K_2 (mg/g.min ⁻¹)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	R^2	K_i (mg.min ^{0.5} /g)	C_i (mg/g)	R^2
50SD	0.03	1.32	0.918	0.03	4.98	0.998	0.09	3.43	0.771
100 SD	0.04	2.04	0.975	0.02	4.94	0.999	0.12	2.95	0.824
50 MSD	0.02	2.67	0.944	0.02	6.81	0.999	0.15	4.42	0.701
100 MSD	0.03	3.77	0.964	0.01	6.61	0.999	0.16	3.95	0.704

7. การศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับ

ในงานวิจัยนี้ มีพารามิเตอร์ทางอุณหพลศาสตร์ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของการดูดซับ (ΔH^0) การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของการดูดซับ (ΔS^0) และการเปลี่ยนแปลง

พลังงานอิสระของกิบส์ (ΔG^0) เมื่อนำผลการทดลอง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วง 30 45 และ 60 องศาเซลเซียส ของการดูดซับไอออนตะกั่วโดยใช้ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพใน (Table 4) และ (Table 5) ซึ่งผลของอุณหพลศาสตร์จะพิจารณาจากค่า R^2

และความเป็นไปได้ของข้อมูล พบว่า สอดคล้องกับรูปแบบสมการ 1/b โดย ΔH⁰ ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -9.99 กิโลจูลต่อโมลและ -15.08 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่ากระบวนการดูดซับไอออนตะกั่วลงบนพื้นผิวซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพเป็นแบบคายความร้อน ส่วน ΔG⁰ ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเป็นลบซึ่งแสดงว่าการดูดซับไอออนตะกั่วลงบนพื้นผิวของซีลี้อยและซีลี้อยปรับ

สภาพเกิดขึ้นได้เองและ ΔS⁰ ของซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -52.20 จูลต่อโมล.เคลวิน และ -67.40 จูลต่อโมล.เคลวิน เมื่อพิจารณาค่า ΔS⁰ แสดงว่าปฏิกิริยามีความเป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากผลของ Degree of Freedom เพิ่มขึ้นที่บริเวณรอยต่อของแข็งของเหลวในระหว่างที่เกิดการดูดซับไอออนตะกั่ว¹⁵ ได้ผลดัง (Table 6 และ 7)

Table 6 Thermodynamic parameters of lead adsorption on SD

Calculation method of K _L	T (K)	K _L	ΔG ⁰ (kJ/mol)	ΔS ⁰ (J/mol.K)	ΔH ⁰ (kJ/mol)	R ²
K _L = K _F ⁿ	303	0.51	1.68			
	318	0.33	2.94	-64.26	-17.68	0.964
	333	0.27	3.62			
K _L = 1/b	303	10.00	-5.80			
	318	12.50	-6.68	-52.20	-9.99	0.986
	333	14.29	-7.36			
K _L = q _e /c _e	303	0.16	4.69			
	318	0.15	5.07	-23.66	-2.47	0.992
	333	0.14	5.40			

Table 7 Thermodynamic parameters of lead adsorption on MSD

Calculation method of K _L	T (K)	K _L	ΔG ⁰ (kJ/mol)	ΔS ⁰ (J/mol.K)	ΔH ⁰ (kJ/mol)	R ²
K _L = K _F ⁿ	303	0.84	0.44			
	318	0.69	0.99	-48.97	-14.45	0.976
	333	0.50	1.92			
K _L = 1/b	303	8.33	-5.34			
	318	11.11	-6.37	-67.40	-15.08	0.999
	333	14.29	-7.36			
K _L = q _e /c _e	303	0.26	3.42			
	318	0.21	4.08	-40.20	-8.74	0.995
	333	0.19	4.63			

8. ผลของการศึกษาการคายซับซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพหลังผ่านการดูดซับ

การศึกษาการคายซับของตะกั่วจากวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด คือ ซีลี้อยและซีลี้อยปรับสภาพโดยใช้กรดไนตริก 0.1, 0.5, 1.0 และ 1.5 โมลาร์แสดงใน (Figure 7) พบว่า

การคายซับของซีลี้อยและซีลี้อย คือที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ มีประสิทธิภาพการคายซับสูงสุด เท่ากับ 70.79% และ 90.28% ตามลำดับ จากผลการทดลองมีความเป็นไปได้สูงในการที่จะนำกลับตะกั่วกลับไปใช้ประโยชน์ (Recovery)⁴ ได้ผลดัง (Figure 7)

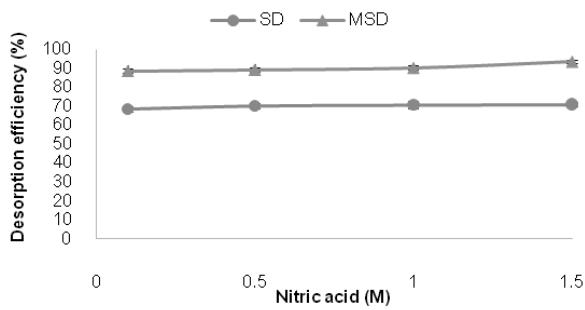


Figure 7 Effects of desorption

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาจากการศึกษาสมบัติวัสดุดูดซับ คือ ซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพ เมื่อปรับสภาพวัสดุดูดซับด้วยกรด-ด่าง ทำให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงไปได้แก่ พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน ขนาดรูพรุน และหมู่ฟังก์ชัน ทำให้คุณสมบัติของวัสดุดูดซับมีความเหมาะสมในการดูดซับตะกั่วและเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วได้ สภาวะที่เหมาะสมการดูดซับตะกั่วโดยใช้ซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพ คือ ค่า pH เท่ากับ 5 ระยะเวลาสัมผัสที่ 120 นาทีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สภาวะดังกล่าวประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วของซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพเท่ากับ 43.60% และ 56.24% ตามลำดับ สำหรับการศึกษากลไกการดูดซับ พบว่า สมการไอโซเทอร์มที่เหมาะสมในการอธิบายกลไกการดูดซับตะกั่วของซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพ คือ แลงเมียร์ การศึกษาจลนศาสตร์การดูดซับ พบว่าสอดคล้องกับสมการ Pseudo-second-order แสดงให้เห็นว่าอัตราควบคุมการเกิดปฏิกิริยาการดูดซับเป็นแนวทางเคมี ศึกษาอุณหพลศาสตร์การดูดซับพบว่า ΔH^0 ของซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -10.41 กิโลจูลต่อโมล และ -6.73 กิโลจูลต่อโมล ส่วน ΔG^0 ของซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพมีค่าเป็นลบ ซึ่งบ่งบอกถึงกระบวนการดูดซับตะกั่วโดยใช้ซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพเป็นคายความร้อนและเกิดขึ้นได้เอง และ ΔS^0 ของซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพมีค่าเท่ากับ -52.20 จูลต่อโมล.เคลวิน และ -67.40 จูลต่อโมล.เคลวิน แสดงว่า กระบวนการดูดซับมีความเป็นระเบียบมาก และการคายซับ พบว่าที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ประสิทธิภาพการคายซับสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70.79% และ 90.28% ตามลำดับ จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ซี้เลื่อยและซี้เลื่อยปรับสภาพเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและการใช้วัสดุดังกล่าวจัดว่าเป็นการจัดการวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมแปรรูปไม้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ผู้มอบทุนทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษาปีงบประมาณ 2558 และทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประเภทบัณฑิตศึกษาปีงบประมาณ 2559 รวมทั้งคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์วิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและคณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ลดหย่อนค่าวิเคราะห์คุณสมบัติและองค์ประกอบของตัวดูดซับ ตลอดจนคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ของคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความเอื้อเฟื้อในด้านต่างๆ จนงานวิจัยสามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. ยูพดี เส้นขาว. การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ 2557; 22:2.
2. พดาร์ตน์นิลเจียรนัย. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารตะกั่วที่ปนเปื้อนในน้ำสังเคราะห์โดยใช้แผ่นไคโตซาน. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา. มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม; 2558: 111-120.
3. บัญชา ขวาลี. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนโลหะแคดเมียมและตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้; 2549.
4. อรทัย วิเศษรัตน์, รินรดี งามสมบัติ, ปานใจ สือประเสริฐสิทธิ์, จิตติมา ประสาระเอ. การดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยปรับสภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2554; 31:4.
5. นิศารัตน์ จุนเจริญวงศา. การกำจัด Cu Mn และ Zn โดยกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกหอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยบูรพา; 2556.
6. Renu Singh, Sapna Tiwari, Monika Srivastava, and Ashish Shukla. Microwave sited Alkali Pretreatment of Rice Straw for Enhancing Enzymatic. Digestibility

- Energy 2014;7.
7. สุภาวดี ผลประเสริฐ. การปรับสภาพวัตถุดิบพวกกลีกลินโซเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล 2557;22(5):641-649.
 8. Nady A Fathy, Ola I El-Shafey, Laila B Khalil. Effectiveness of alkali-acid treatment in enhance- ment the adsorption capacity for rice straw: The removal of methylene blue dye. Physical chemistry 2013; 208087:15.
 9. JogaRao H, Jing P, Prasanna Kumar Y. Experimental investigation on adsorption of lead from aqueous solution using activated carbon from the waste rubber tire: optimization of process parameters using central composite design. Chemical 2016;9(2):254-277.
 10. Abdel-Ghani NT, El-Chaghaby, Helal FS. Preparation, characterization and phenol adsorption capacity of activated carbons from African beech wood sawdust. Environment Science Manage 2016;2(3): 209-222.
 11. Nimkar DA, Chavan SK. Removal of methylene blue dye (basic dye) from aqueous solution using sawdust as an adsorbent. Engineering Research & Technology 2014;3(4):1579-1583.
 12. PhuradaSaueprasearsit. Adsorption of chromium (Cr^{+6}) using durian peel. Proceedings of the international conference on biotechnology and environment management Singapore 2011;18(1).
 13. อุษณีย์ รัชไชยวรรณ, ยุพดี กุศลรัตน์กิตติวงศ์, โกวิทย์ปิยะมั่งคณา. สมดุลและจลนศาสตร์การดูดซับไอออนเงินโดยไคโตซานผสมพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เรซิน. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2557; 9(2):12-22.
 14. Dada AO, Olalekan AP, Olatunya AM, DADA O. Langmuir, freundlich, temkin and dubinin-radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn^{2+} unto phosphoric acid modified rice husk. Applied chemistry 2012;3(1):38-45.
 15. รวิินทร์สุทธระนันท์, โกวิทย์ปิยะมั่งคณา. จลนศาสตร์และเทอร์โมเคมีกการดูดซับเมทิลีนบลูโดยใช้เกลบดัดแปร. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ครั้งที่ 45: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2554;21(2).
 16. Huang Xin, GAO Nai-yun, ZHANG Qiao-li. Thermodynamics and kinetics of cadmium adsorption onto oxidized granular activated carbon. Environmental sciences 2007;19:1287-1292.
 17. Nwabanne T Joseph, Okpe Emmanuel Chinonye, Igbokwe K Philomena, Asadu C Christian, OnuChijioke Elijah. Isotherm and kinetic modeling of adsorption of dyestuffs onto kola nut (*Cola acuminata*) shell activated carbon. Chemical Technology and Metallurgy 2016;51(2):188-201.
 18. Ali Kara, EmelDemirbel, NalanTekin, Bilgen Osman, NecatiBesirli. Magnetic vinylphenylboronic acid microparticles for Cr(VI) adsorption: Kinetic, isotherm and thermodynamic studies. Hazardous materials 2015;286:612-623.
 19. รชตตามา. การดูดซับโครเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยฟางข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี; 2553.
 20. ChoongJeon, Jung Hwan Kim. Removal of lead ions using phosphorylated sawdust. Industrial and engineering chemistry 2009;15:910-913.
 21. Roberto Lavecchia, Franco Medici, MaríaSilvinaPatterer, Antonio Zuorro. Lead removal from water by adsorption on spent coffee grounds. Chemical Engineering Transactions 2016;47:295-300.

การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรใช้แทนกัน ระหว่างโกฐจุฬีเชียงและไพล ตามทฤษฎีการแพทย์แผนไทย

Comparison of chemical composition of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb., a substitute herb according to Thai Traditional Medicine

จิตรลดา คงคำ¹, อติสรณ์ คงคำ¹

Chitrada Kongkum¹, Adisorn Kongkum¹

Received: 19 May 2016 ; Accepted: 30 September 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีระหว่างโกฐจุฬีเชียง (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels.) กับไพล (*Zingiber cassumunar* Roxb.) เพื่อยืนยันองค์ความรู้ทางการแพทย์แผนไทยที่กล่าวว่าสมุนไพรที่มีสรรพคุณเหมือนกันสามารถนำมาใช้แทนกันได้ เนื่องจากโกฐจุฬีเชียงเป็นเครื่องยาที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีราคาแพง หากสามารถใช้ไพลแทนโกฐจุฬีเชียงได้จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และสะดวกในการนำมาปรุงยา ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น พบว่าสารสกัดโกฐจุฬีเชียงกับไพล มีองค์ประกอบหลักทางเคมีกลุ่มเดียวกัน 2 กลุ่ม คือ สารกลุ่มแอลคาลอยด์ และเทอร์ปีนอยด์ ส่วนการตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีของสารสกัดไพลกับโกฐจุฬีเชียงด้วย เอ็น-เฮกเซน, เอทิลอะซิเตท และเมทานอล พบว่าไพลกับโกฐจุฬีเชียงที่สกัดด้วยเอ็น-เฮกเซน มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับตรงกันที่ตำแหน่ง 0.09, 0.1, 0.41, 0.64 และ 0.79 สารสกัดด้วยเอทิลอะซิเตท มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับตรงกันที่ตำแหน่ง 0.4 และ 0.5 และสารที่สกัดด้วยเมทานอลมีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับตรงกันที่ตำแหน่ง 0.8, 0.86 และ 0.88 จากผลการศึกษาพบโกฐจุฬีเชียงกับไพลมีสารองค์ประกอบทางเคมีในกลุ่มเดียวกัน อาจมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้แทนกัน แต่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมทางการวิจัยในคลินิกเกี่ยวกับฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อไป

คำสำคัญ: โกฐจุฬีเชียง ไพล สมุนไพรใช้แทนกัน ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี ทฤษฎีการแพทย์แผนไทย

Abstract

In traditional medicine, a 'substitute herb' is a plant that shares the same medicinal properties as another better known plant and can therefore be used in place of it. According to Thai traditional medicine, *Zingiber cassumunar* Roxb can be used as a substitute for *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. This study investigated this possibility by performing a chemical analysis of the two plants. *A. sinensis* is costly to import, and substitution would make therapy more affordable for patients. Phytochemical screening of the two plants showed that both are comprised some of the same major groups of chemicals, alkaloids and terpenoids. A thin layer chromatography (TLC) method was developed to compare the two herbs through a fingerprint profile of their chemical compounds. The TLC fingerprint patterns of n-hexane, ethyl acetate and methanol extracts of the two herbs resembled each other in some zones and R_f values. The R_f values of the n-hexane extracts showed conformable zones at 0.09, 0.1, 0.41, 0.64 and 0.79. The R_f values of the ethyl acetate extracts showed conformable zones at 0.4 and 0.5. Lastly, the methanol extracts had conformable R_f values at 0.8, 0.86 and 0.88. In summary, phytochemical screening and TLC results suggest that *Zingiber cassumunar* Roxb. represents a possible substitute for *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. Further studies are now warranted to compare the pharmacological activities of the two plants.

Keywords: *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels., *Zingiber cassumunar* Roxb., substitute Herbs, thin layer chromatography, Thai traditional medicine theory

¹ อาจารย์, หน่วยปฏิบัติการวิจัยการแพทย์แผนเดิม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Lecturer, Thai Traditional Medicine research Unit, Faculty of Medicine, Mahasarakham University, Meuang District, Mahasarakham 44000, E-mail: chuchu_nice_123@hotmail.com

บทนำ

“โกฐ / โกฏ / โกฎ / โกฎฐ / โถด / โภฐ” เป็นชื่อเครื่องยาที่พบในตำรายาแผนโบราณที่มีการใช้มาก สันนิษฐานว่า “โกฐ” น่าจะมาจากคำเปอร์เซีย เขียนเทียบเป็น “kushta” แปลว่า ฆ่า ปราบ กำจัด ทำให้หายไป คำนี้ใช้เรียกชื่อเครื่องยาเทศที่ใช้ปริมาณน้อยและได้ผลทันที เมื่อใช้เรียกเครื่องยาไทยจึงควรเขียนเป็น “โกฐฐ”¹ โภฐฐเชียง (*Angelica sinensis* (Oliv.) Diels.) พบว่ามีการใช้มากในตำรายาไทย มีชื่อเรียกภาษาจีนว่า ตังกุย (Dong quai)² เป็นเครื่องยาหนึ่งในพิภักต์โกฐฐทั้ง 5, โภฐฐทั้ง 7 และโกฐฐทั้ง 9² พบมีการใช้เป็นเครื่องยาในตำรับยามากมายในคัมภีร์ต่าง ๆ และยังพบในบัญชียาจากสมุนไพรมะเขี๋ยปี 2556 เป็นจำนวน 7 ตำรับ ได้แก่ ตำรับยาหอมทิพโอสถ รักษาอาการทางระบบไหลเวียนโลหิต (แก่ลม) ยาธาตุบรรจบ ยามันทรธาตุ และยารักษาพยาธิใหญ่ เป็นยารักษาอาการทางระบบทางเดินอาหาร ยาสตรีหลังคลอด เป็นยารักษาอาการทางสูติศาสตร์ในเวชวิทยา ยาประสะประราเใหญ่ เป็นกลุ่มยาแก้ไข้ และยาบำรุงโลหิต³ จากข้อมูลการขึ้นทะเบียนยาแผนโบราณที่นำเข้าของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อ.ย.) พบว่า โภฐฐเชียงเป็นสมุนไพรวัวหนึ่งที่มีการขึ้นทะเบียนจำนวนมากถึง 1,371 ตำรับ มากเป็นอันดับที่ 3 รองจาก จันทน์เทศ และชะเอมเทศ⁴ ในประเทศจีนมีการนิยมนำตำรับยาจำนวนมาก รองจากชะเอม และในการใช้เป็นยาบำรุงกำลังใช้มากเป็นอันดับที่ 2 รองจากโสม⁵ รากมีกลิ่นหอม รสหวานขม สรรพคุณทางยาจีนใช้เป็นยาขับระดู มักใช้เกี่ยวกับโรคสตรี อาการเลือดออก แก้วหัวดี แก้วท้องขึ้น ท้องเฟ้อ ตกมูกเลือด และสรรพคุณทางยาไทยใช้แก้ไข้ แก้สะอึก แก้เสียดแทงสองราวข้าง แก้วปวดประจำเดือน แก้วปวดท้อง และปวดข้อ⁶ เนื่องจากโภฐฐเชียง มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศจีน ซึ่งในสมัยโบราณนั้นอาจหาไม่ง่ายนัก ในขณะที่เหง้าโพล มีสรรพคุณลดอาการปวด บวม ขับลม ขับระดู แก้วไส้อักเสบ แก้วบิดมูกเลือด แก้วท้องเสีย ขับเลือดร้าย แก้วระดูขาว เป็นต้น⁶⁻¹⁰ ตำรับยาประสะโพลซึ่งเป็นตำรับยาสามัญประจำบ้านแผนโบราณมีปริมาณองค์ประกอบของโพลเป็นหลัก คิดเป็นครึ่งหนึ่งของตำรับก็นำมาใช้ในการแก้จุกเสียด แก้วระดูไม่ปกติ ขับน้ำคาวปลา¹¹ ขณะเดียวกันโภฐฐเชียง ซึ่งเป็นเครื่องยาที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ในจีนมีการใช้รักษาเกี่ยวกับโรคของสตรี เช่น การขับประจำเดือน แก้วรัดขึ้น บำรุงเลือด แก้วปวดประจำเดือน ช่วยให้ประจำเดือนมาสม่ำเสมอ ช่วยบรรเทาอาการปวดหัว และเป็นยาระบายอ่อนๆ^{6,12-14} โดยสรรพคุณแก้วกลุ่มอาการเกี่ยวกับประจำเดือนมาไม่ปกติซึ่งเป็นสรรพคุณหลักของโภฐฐเชียงก็พบมีการศึกษาเกี่ยวกับสรรพคุณนี้ในตำรับยาประสะโพลซึ่งเป็นตำรับยาในบัญชียาหลักแห่งชาติที่มีโพลเป็นองค์ประกอบ

หลักในตำรับก็มีสรรพคุณแก้วอาการประจำเดือนมาไม่ปกติเช่นเดียวกัน¹⁵⁻¹⁷ นอกจากนี้ตามทฤษฎีทางการแพทย์แผนไทยมีการกำหนดตัวยาที่มีสรรพคุณเสมอกัน หรือมีสรรพคุณใกล้เคียงกันให้ใช้แทนกันได้ ซึ่งโภฐฐเชียงมีสรรพคุณเสมอกับโพล (*Zingiber cassumunar* Roxb.)¹⁸ ในปัจจุบันยังไม่เคยมีการศึกษาเพื่อยืนยันความรู้ทางการแพทย์แผนไทยเกี่ยวกับการใช้สมุนไพรมันแทนกัน และการใช้เทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีในการศึกษาเปรียบเทียบขององค์ประกอบทางเคมีเป็นวิธีการที่ทำได้ง่าย ประหยัดเวลา และราคาถูก การวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของโภฐฐเชียงและโพลด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟีเพื่อพิจารณาถึงความเป็นได้ในการนำสมุนไพรมันมาใช้แทนกันตามองค์ความรู้ทางการแพทย์แผนไทย

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมสารสกัดโภฐฐเชียงและโพล

โภฐฐเชียงและโพลได้มาจากร้านเจ้ากรมเปือแขวงจักรวรรดิ เขตสัมพันธวงศ์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร นำมาบดผง และสกัดใน Methanol ด้วยวิธี sonicate เป็นเวลา 30 นาที กรองสารสกัดผ่านกระดาษกรอง เก็บส่วนสกัดที่ได้เพื่อศึกษาในการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นต่อไปในการศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC) นำผงสมุนไพรมันสกัดด้วยวิธี Maceration โดยเริ่มจากตัวทำละลาย n-hexane, ethyl acetate และ methanol ตามลำดับ โดยใช้วิธี sonicate เป็นเวลา 30 นาที ก่อนจะเปลี่ยนเป็นตัวทำละลายในขั้นต่อไปโดยสกัดซ้ำ ๆ ด้วยตัวทำละลายชนิดเดิมจนตัวทำละลายใสเพื่อให้สารสำคัญของสมุนไพรมันในขั้นนั้น ๆ ออกมาให้มากที่สุด แล้วนำส่วนสกัดแต่ละชั้นที่ได้ระเหยตัวทำละลายออกด้วย rotary evaporator ก่อนนำไปศึกษาต่อไป ดังแสดงใน Figure 1

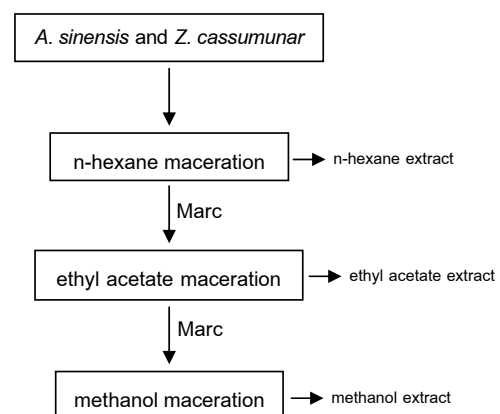


Figure 1 n-hexane, ethyl acetate and methanol phases continuous extraction

2. การทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (Phytochemical Screening Test)

นำส่วนสกัดด้วย methanol ของโกษฐ์เชียงและไพลมาทำการทดสอบทางเคมีเบื้องต้นโดยการทำให้เกิดสีหรือการเกิดตะกอน ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบสารกลุ่มแอลคาลอยด์ (alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เทอร์ปีนอยด์ (terpenoids) แอนทราควิโนน (anthraquinones) ซาโปนินไกลโคไซด์ (saponin glycosides) คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (cardiac glycosides) แทนนิน (tannin) และคูมาริน (coumarin)

3. การตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นของโกษฐ์เชียงและไพลด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC)

นำส่วนสกัดชั้น n-hexane, ethyl acetate และ methanol มาทำการตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นด้วยเทคนิค TLC โดยสารสกัดในชั้น n-hexane ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ n-hexane : ethyl acetate ในอัตราส่วน 13 : 7 ตามลำดับ สารสกัดในชั้น ethyl acetate ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ toluene

: ethyl acetate : methanol ในอัตราส่วน 12 : 6 : 2 ตามลำดับ และ acetic acid 8 หยด และการทดสอบสารสกัดในชั้น methanol ใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ ethyl acetate : methanol : H₂O ในอัตราส่วน 20 : 2 : 1 ตามลำดับ และ acetic acid 8 หยด ทำการตรวจสอบด้วยรังสีเหนือม่วงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร (UV 254 nm) และรังสีเหนือม่วงที่ความยาวคลื่น 366 นาโนเมตร (UV 366 nm) หลังจากพ่นด้วยน้ำยาทดสอบ anisaldehyde - H₂SO₄

ผลการศึกษา

1. ผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้น (Phytochemical Screening Test)

ในการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดโกษฐ์เชียงและไพล พบว่าโกษฐ์เชียง และไพล มีองค์ประกอบของสารกลุ่มแอลคาลอยด์ และเทอร์ปีนอยด์ เช่นเดียวกัน ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Phytochemical screening of crude extracts from *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb.

plant species	phytochemical screening							
	alk.	flav.	terp.	anthraq.	sap.	cardiac.	tan.	coum.
<i>A. sinensis</i>	+	-	+	-	-	-	-	-
<i>Z. cassumunar</i>	+	-	+	-	-	-	-	-

+ = presence, - = absence, alk. = alkaloids, flav. = flavonoids, terp. = terpenoids, anthraq. = anthraquinones, sap. = saponin glycosides, cardiac. = cardiac glycosides, tan. = tannin, coum. = coumarin

2. ผลการตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นของโกษฐ์เชียงและไพลด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC)

ผลการศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดโกษฐ์เชียงและไพลด้วยเทคนิค TLC ในตัวทำละลายต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์เป็นจำนวนแถบสารที่แยกได้ ดังนี้ โกษฐ์เชียงที่สกัดด้วย n-hexane, ethyl acetate และ methanol phase มีจำนวนแถบสาร 26, 15 และ 16 แถบตามลำดับ และไพลที่สกัดด้วย n-hexane, ethyl acetate และ methanol phase มีจำนวนแถบสาร 21, 10 และ 13 แถบตามลำดับ ผลที่ได้แสดงใน Figure 2-3

3. เปรียบเทียบผลการตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นของโกษฐ์เชียงและไพลด้วยเทคนิคทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC)

ผลการศึกษาเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นด้วยเทคนิค TLC พบว่าใน n-hexane phase โกษฐ์เชียงมีสาร 26 แถบ ไพลมีสาร 21 แถบ มีค่าอัตราการเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับ (rate of flow; R_f Value) ตรงกัน 5 ตำแหน่ง แสดงดัง Figure 4 และ Table 2 ใน ethyl acetate phase โกษฐ์เชียงมีสาร 15 แถบ ไพลมีสาร 10 แถบ มีค่า R_f Value ตรงกัน 2 ตำแหน่ง แสดงดัง Figure 5 และ Table 3 และใน methanol phase โกษฐ์เชียงมีสาร 16 แถบ ไพลมีสาร 13 แถบ มีค่า R_f Value ตรงกัน 4 ตำแหน่ง โดยโกษฐ์เชียง และไพลมีแถบปรากฏในตำแหน่งที่ตรงกันแสดงดัง Figure 6 และ Table 4

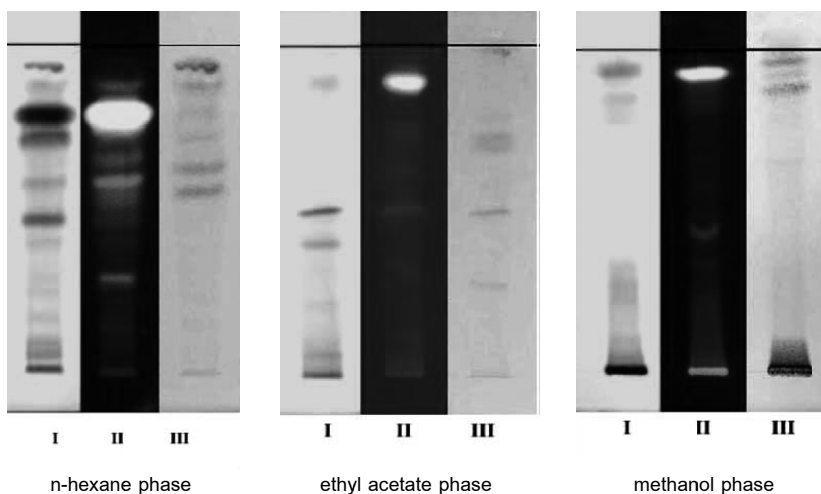


Figure 2 TLC chromatogram of a *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. crude extract I = UV 254 nm detection, II = UV 366 nm detection, III = anisaldehyde-H₂SO₄ detection

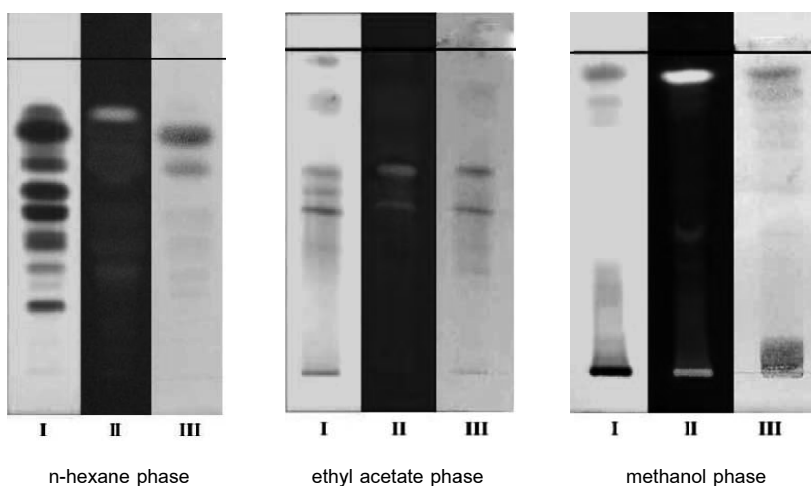


Figure 3 TLC chromatogram of a *Zingiber cassumunar* Roxb. crude extract I = UV 254 nm detection, II = UV 366 nm detection, III = anisaldehyde-H₂SO₄ detection

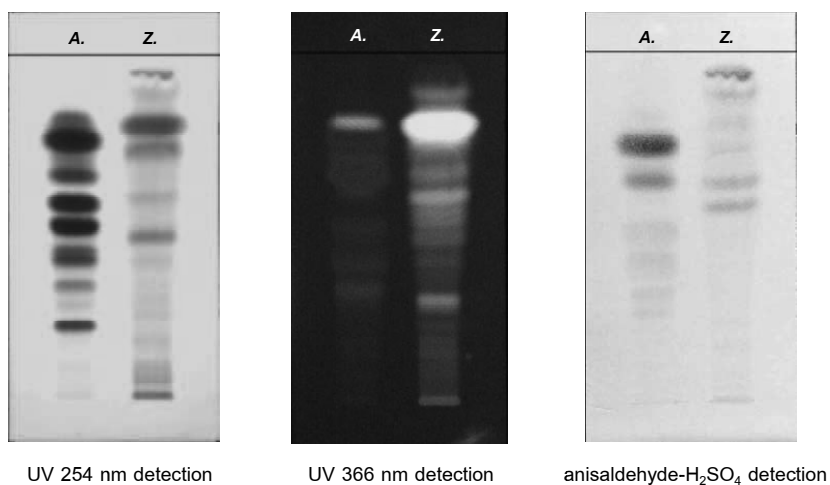
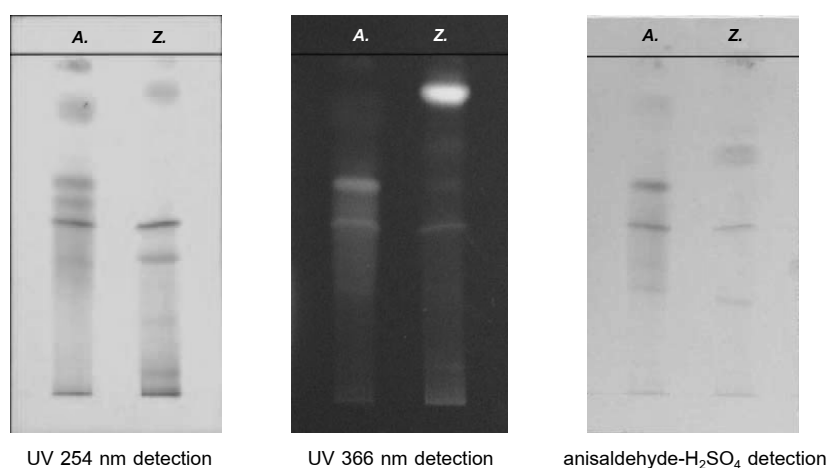


Figure 4 TLC chromatogram of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in n-hexane phase A. = *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. extract, Z. = *Zingiber cassumunar* Roxb. extract

Table 2 The same positions R_f Value of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in n-hexane phase

R_f Value	<i>A. sinensis</i>			<i>Z. cassumunar</i>		
	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄
0.09						
0.1	✓			✓		
0.41	✓			✓		
0.64			✓			✓
0.79		✓			✓	

**Figure 5** TLC chromatogram of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in ethyl acetate phase A. = *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. extract, Z. = *Zingiber cassumunar* Roxb. extract**Table 3** The same positions R_f Value of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in ethyl acetate phase

R_f Value	<i>A. sinensis</i>			<i>Z. cassumunar</i>		
	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄
0.4	✓			✓		
0.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓

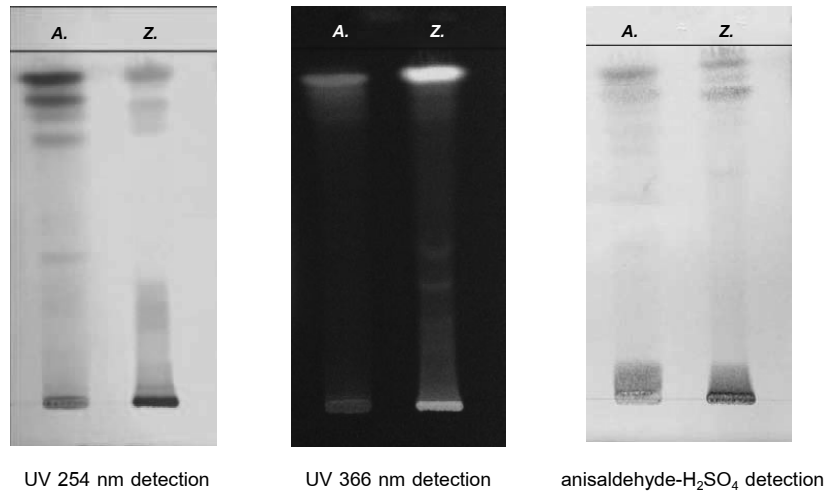


Figure 6 TLC chromatogram of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in methanol phase A. = *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. extract, Z. = *Zingiber cassumunar* Roxb. extract

Table 4 The same positions R_f Value of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels. and *Zingiber cassumunar* Roxb. extracts in methanol phase

R_f Value	<i>A. sinensis</i>			<i>Z. cassumunar</i>		
	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄	UV 254	UV 366	anisaldehyde-H ₂ SO ₄
0.8		✓			✓	
0.86			✓			✓
0.88		✓	✓		✓	✓
0.94			✓			✓

วิจารณ์และสรุปผล

การทดสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดจากพืช โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี ในกลุ่มสารสำคัญ 8 กลุ่ม ได้แก่ alkaloids, flavonoids, tannins, terpenoids, anthraquinones, saponin, coumarin และ cardiac glycoside พบว่า โขชะชู๋เชียงและไพลมีสารกลุ่ม alkaloids และ terpenoids เช่นเดียวกัน ซึ่ง alkaloids เป็นสารกลุ่มที่ถูกนำมาใช้ในการบรรเทาอาการปวด ซึ่งสรรพคุณนี้เป็นสรรพคุณที่มีเหมือนกันของโขชะชู๋เชียงและไพลโดยเฉพาะเรื่องของการลดอาการปวดท้องประจำเดือน

การทดสอบทางเคมีเบื้องต้นของสารสกัดโขชะชู๋เชียง พบแอลคาลอยด์ และเทอร์ปีนอยด์เป็นองค์ประกอบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Zhan และคณะ¹⁹ ซึ่งศึกษาโดยการทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีที่พบในโขชะชู๋เชียงย้อนหลัง 10 ปีที่ผ่านมา พบสารองค์ประกอบทั้งหมด 165 ตัว และมีองค์ประกอบของแอลคาลอยด์ และเทอร์ปีนอยด์เช่นเดียวกัน และสารสกัดไพลพบแอลคาลอยด์ และเทอร์ปีนอยด์เป็นองค์ประกอบมีความสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของไพลจากการศึกษาของ ภาคภูมิ พานิชยุปการนันท์ และลิขิต ลาเต๊ะ²⁰

ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นโดยวิธีทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC) ของไพล ใน n-hexane phase ใช้ mobile phase เป็น n-hexane : ethyl acetate (13 : 7) เมื่อตรวจสอบด้วย UV 254 นาโนเมตร พบแถบสาร 11 แถบ เมื่อตรวจสอบด้วย anisaldehyde-H₂SO₄ ปรากฏแถบสาร 7 แถบ ซึ่งบางแถบสารปรากฏตรงกับ การศึกษาของ สมศักดิ์ นวลแก้ว ที่ทำการทดลองโดยสกัดไพลด้วย n-hexane และใช้ mobile phase เป็น n-hexane : ethyl acetate (7 : 3) ตรวจสอบด้วย UV 254 นาโนเมตร พบแถบสาร 11 แถบ ตรวจสอบด้วย anisaldehyde-H₂SO₄ พบแถบสาร 12 แถบ¹²

ในการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมีโดยวิธีทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟี (TLC) ของโขชะชู๋เชียง ใน ethyl acetate phase เมื่อตรวจสอบด้วย UV 254 นาโนเมตร, UV 366 นาโนเมตร และ anisaldehyde-H₂SO₄ ปรากฏแถบสาร 7, 5 และ 5 แถบ ตามลำดับ โดยที่ค่า R_f ที่ตำแหน่ง 0.5 โขชะชู๋เชียงปรากฏแถบสารตรงกับไพล ทั้ง 3 การตรวจสอบ ซึ่ง ญัฐพงษ์ วิชัย ได้ทำการศึกษาโดยวิธีทีนเลเยอร์โครมาโทกราฟีเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ทางเคมีของโขชะชู๋เชียงที่สกัดด้วย dichloromethane เมื่อตรวจ

สอบด้วย UV 254 นาโนเมตร, UV 366 นาโนเมตร และ anisaldehyde-H₂SO₄ พบแถบสารจำนวน 9, 8 และ 12 แถบตามลำดับ และพบแถบสารที่ตรงกับ สารมาตรฐาน ferulic acid ทั้ง 3 การตรวจสอบ จึงอาจเป็นไปได้ว่าแถบสารที่ค่า R_f 0.5 นั้นเป็นสาร ferulic acid ซึ่งต้องมีการตรวจสอบกับสารมาตรฐานต่อไป²¹

ในการตรวจเอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นของโกษฐ์เชียงและโพลด้วยเทคนิคThin Layer Chromatography (TLC) ในสารสกัดชั้น n-hexane, ethyl acetate และ methanol เมื่อพิจารณาจำนวนแถบสารที่ตำแหน่งตรงกันในสารสกัดแต่ละชั้นคิดเป็นร้อยละ 11.90, 8.70 และ 16 ตามลำดับ

จากการวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำสมุนไพรมาใช้แทนกันตามองค์ความรู้ทางการแพทย์แผนไทย โดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ด้วยการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นมาช่วยเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจใช้สมุนไพรแทนกัน จากผลการศึกษาในเรื่องสรรพคุณทางยาไทย การทดสอบทางเคมีเบื้องต้น รวมถึงการวิเคราะห์เอกลักษณ์ทางเคมีเบื้องต้นโดยวิธีThin Layer Chromatography (TLC) ได้ผลไปในทิศทางเดียวกัน จึงมีความเป็นไปได้ในการนำสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด มาใช้แทนกันได้ โดยสรรพคุณที่น่าสนใจ คือ การรักษาโรคสตรี เช่น ปวดท้องประจำเดือน ขับระดู แก่ระดูไม่ปกติ ขับน้ำคาวปลา เป็นต้น แต่จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของสมุนไพรทั้ง 2 ชนิด โดยละเอียด เช่น การใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) หรือแก๊สโครมาโทกราฟี (GC) เป็นต้น และศึกษาฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับความสนับสนุนด้านทุนวิจัย และเครื่องมืออุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยจากคณะแพทยศาสตร์ และหน่วยวิจัยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม หน่วยวิจัยการแพทย์แผนเดิม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข. ตำรายาอ้างอิงยาสมุนไพรไทย เล่ม ๑ Monographs of selected Thai Materia Medica Volume 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรินทร์; 2552.
2. ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงศ์. คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม ๕ คณาเภสัช. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรินทร์; 2556.
3. คณะกรรมการพัฒนาระบบยาแห่งชาติ. บัญชียาหลักแห่ง

ชาติ. 2556 [cited 20 มิถุนายน 2559]; Available from: http://www.thaihof.org/sites/default/files/herbal_book_56_0.pdf.

4. อรสา ดิสถาพร. การพัฒนาการปลูกและการใช้พืชสมุนไพรจีนในประเทศไทย. เอกสารวิชาการ. สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร; 2551
5. สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. รายชื่อสมุนไพรที่มีการขึ้นทะเบียนยาแผนโบราณไว้ 100 อันดับแรก. (สำเนา) 2549.
6. ชยันต์ พิเชียรสุนทร, แมนมัท ชวลิต และวิเชียร จีรวงศ์. คำอธิบายตำราพระโอสถพระนารายณ์. กรุงเทพฯ: อมรินทร์, 2544.
7. ชยันต์ พิเชียรสุนทร และวิเชียร จีรวงศ์. คู่มือเภสัชกรรมแผนไทย เล่ม ๒ เครื่องยาพฤกษวัตถุ. พิมพ์ครั้งที่ ๓. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อมรินทร์; 2556.
8. นันทวัน บุญยะประภัสร์, บรรณาธิการ. สมุนไพรไม้พุ่มบ้าน (3). กรุงเทพฯ: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2539.
9. วุฒิ วุฒิธรรมเวช. คัมภีร์เภสัชรัตนโกสินทร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: วุฒิธรรมเวช, 2550.
10. คณะอนุกรรมการจัดทำตำรายาอ้างอิงยาสมุนไพรไทย. ตำรายาอ้างอิงสมุนไพรไทย : โพล (PHLAI). วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก 2555; มกราคม-เมษายน 10(1): 52-6.
11. สมศักดิ์ นวลแก้ว. การควบคุมคุณภาพตำรับยาแผนไทย (ประสะโพล) โดยวิธี Thin - layer Chromatography (TLC). รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาสารคาม: คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2548.
12. นพมาศ สุนทรเจริญนนท์ และนงลักษณ์ เรืองวิเศษ. วิเคราะห์ วิจัยคุณภาพเครื่องยาไทย. กรุงเทพฯ: คอนเซ็ปท์ เมดิคัล, 2551.
13. Katgleen H ND. Monograph Angelica sinensis (Dong quai). Altern Med Rev. 2004; 9(4): 429-33.
14. ชัชวิน เพชรเลิศ. ดังกุญ. บทความวิชาการ 2548 [cited 20 มิถุนายน 2559]; Available from: http://www.uniserv.buu.ac.th/forum2/topic.asp?TOPIC_ID=1207
15. Sriyakul K, Kietinun S, Pattaraarchachai J, Ruan-grungsi N. A Comparative Double-Blinded Randomized Study: The Efficacy of Prasaplay Herbal Extract Versus Mefenamic Acid in Relieving Pain Among Primary Dysmenorrhea Patients TOALTMEDJ 2012; 4: 16-21.

16. Tangyuenyongwatana P, Gritsanapan W. Prasaplai: An essential Thai traditional formulation for primary dysmenorrhea treatment TANG J Humanitas Med 2014; 4(2).
17. Chen XP, Li W, Xiao XF, Zhang LL, Liu CX. Phytochemical and pharmacological studies on Radix *Angelica sinensis* Chin J Nat Med. 2013; 11(6): 577-587.
18. มุลนิธิฟื้นฟูส่งเสริมการแพทย์แผนไทยเดิมฯ. ตำราเภสัชกรรมไทย. กรุงเทพฯ: พิมพ์ศ พรินท์ติ้ง เซ็นเตอร์, 2548.
19. Zhan JY, Zhang WL, Zheng KY, Zhu KY, Chen J, Chan P, Dong TT, Choi RC, Lam H, Tsim KW, Lau DT. Chemical changes of *Angelicae Sinensis* Radix and Chuanxiong Rhizoma by wine treatment: chemical profiling and marker selection by gas chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry Chin. Med. J. 2013; 8: 12.
20. ภาคภูมิ พาณิชยุปการนันท์, ลิขิต ลาเต๊ะ. ไพล: องค์ประกอบทางเคมีฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา พิษวิทยา และการควบคุมคุณภาพ วารสารการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก 2556; 11(2): 123-37.
21. ญัฐพงษ์ วิชัย. ข้อกำหนดคุณภาพของสมุนไพรในพิกัดเบญจโกษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญา เภสัชศาสตรมหาบัณฑิต ขอนแก่น: มหาวิทยาลัย ขอนแก่น, 2553.

การเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้ไผ่รวกเพื่อนำไปสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง Strength improvement for Ruak bamboo to build pre-stress reinforced concrete slab

ไตร คระนันท์¹, สมชาย แยมใส่²

Tri Kharanan, Somchai Yamsai

Received: 25 April 2016 ; Accepted: 26 August 2016

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาออกแบบและทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยการเสริมไม้ไผ่รวกที่ร้อนโดยไม้ไผ่ที่นำมาทำการวิจัยนี้เป็นไม้ไผ่รวกผ่านกระบวนการรีดร้อนด้วยลูกกลิ้งจากนั้นจึงนำมาพันเป็นเกลียวและสร้างแรงดึงขึ้นต้นด้วยการบิดและดึงพร้อมเททับด้วยคอนกรีตเพื่อให้ไม้ไผ่รวกเป็นตัวถ่ายแรงอัดให้กับคอนกรีตจากนั้นจึงบ่มคอนกรีตให้ได้มาตรฐานที่ 28 วันขึ้นไปจึงนำไปทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า ไม้ไผ่รวกที่ผ่านกระบวนการรีดร้อนนำมาบิดเกลียวและนำไปทำแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงขนาด กว้าง 30 cm. ลึก 10 cm. และยาว 150 cm. เมื่อนำมาทดสอบหาแรงกดที่คอนกรีตเริ่มแตกร้าว พบว่าสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดเฉลี่ยร้อยละ 12.38 เมื่อเทียบกับไม้ไผ่สานเป็นตารางและร้อยละ 18.02 เมื่อเทียบกับคานคอนกรีตเปลารวมทั้งสามารถรับแรงกดที่จุดขาดของไม้ไผ่เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 8.54

คำสำคัญ: ไม้ไผ่ รีดร้อน คอนกรีต แรงกดประลัย คอนกรีตอัดแรง

Abstract

This research focused on the design and test of concrete slabs. The slabs were constructed using bamboo and then reinforced with the hot roll process. The bamboo used in this research was ruak bamboo hot rolled by rollers and then wrapped into a spiral which created traction with twist and pull during the concrete pouring process. The bamboo was then stressed to concrete and cured for the standard 28 days before it is tested. The results showed that bamboo from the hot roll process, when twisted and poured, made concrete slabs 30cm wide, 10cm deep and 150cm long. The concrete test slabs started to crack at these dimensions. At these dimensions, the slabs load ability increased an average of 12.38% compared with reinforced concrete and 18.03% compared to normal bamboo. The break point of the bamboo was forecast to increase by about 8.54%.

Keywords: Bamboo, Hot roll, Ultimate load, Concrete, Pre-stress concrete.

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาและเป็นประเทศที่มีอัตราการก่อสร้างที่อยู่อาศัย และถนนหนทางต่อปีค่อนข้างสูง ดังนั้นในแต่ละปีจำเป็นต้องใช้วัสดุในการก่อสร้างจำนวนมาก โดยส่วนใหญ่การก่อสร้างอาคารบ้านเรือนทั่วไปจะใช้วัสดุหลักอยู่สองส่วนประกอบคือ ส่วนที่เป็นคอนกรีตและ

ส่วนที่เป็นเหล็กโครงสร้างสำหรับวัตถุประสงค์ที่ผลิตขึ้นเป็นส่วนประกอบคอนกรีตนั้น ประเทศไทยสามารถผลิตใช้ได้เองจากแหล่งต่างๆ เช่นแถบจังหวัด สระบุรีและลพบุรี ส่วนเหล็กโครงสร้างนั้นวัสดุเหล็กต้นทาง (Metal billet) จะส่งนำเข้ามาจากต่างประเทศ เพื่อนำมาแปรรูปเป็นเหล็กรูปพรรณต่างๆ เช่นเหล็กโครงสร้าง เหล็กข้ออ้อยก่อสร้าง และเหล็กอื่นๆ

^{1,2}อาจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

^{1,2} Lecturer, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, T. Srisakabue, A.Ongkarak, Nakon Nayok 26120

* Corresponding author: Tri Kharanan, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University, T. Srisakabue, A.Ongkarak, Nakon Nayok 26120, Thailand E-mail: samruay@g.swu.ac.th, Tel: 062-665-5522

ในสภาวะที่ประเทศไทย มีการบริโภคเหล็กอย่างต่อเนื่องทำให้ต้องนำเข้าเหล็กจากต่างประเทศต่อปีเป็นจำนวนมากมีผลทำให้ขาดดุลการค้ากับต่างประเทศค่อนข้างสูง¹⁰ จากการศึกษาข้อมูลในอดีต ประเทศไทยมีการนำวัสดุท้องถิ่นในธรรมชาติมาใช้ทดแทนเหล็กโครงสร้างที่ใช้ยึดคอนกรีตนั้นคือ ไม้ไผ่ เช่น ไผ่ตง ไผ่บง ไผ่รวก จำนวนและชนิดของการใช้ขึ้นอยู่กับจำนวนและความยากง่ายของท้องถิ่นนั้นๆ การใช้งานยังไม่แพร่หลายมากนักเนื่องจากยังขาดการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง⁹ และได้ถูกวัสดุสมัยใหม่เข้ามาแทนที่เนื่องด้วยมีความสะดวกและมีมาตรฐานในการผลิตจนลืมนำวัสดุท้องถิ่นที่เป็นภูมิปัญญาของไทยไปจนหลงเหลือ¹

ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นคุณประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติในประเทศไทย โดยเฉพาะไม้ไผ่ ซึ่งเป็นไม้ที่มีศักยภาพสูงมีความแข็งแรง เมื่อเทียบต่อน้ำหนักแล้วไม้ไผ่สามารถรับแรงได้ค่อนข้างดีและสามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ¹⁵ ในการศึกษาข้อมูลพบว่าไม้ไผ่ในประเทศไทยเทียบสัดส่วนต่อป่าโดยรวมจะมีจำนวนมากที่สุดในภาคกลางที่ร้อยละ 13.5 โดยเฉพาะในเขตภาคกลางตอนบน¹ และจะปลูกตามริมคลองธรรมชาติเพราะไม้ไผ่จะสามารถเจริญเติบโตได้เองโดยไม่ต้องการดูแลมากนัก

ในการวิจัยนี้ต้องการที่จะพัฒนาการก่อสร้างด้วยไม้ไผ่ ให้เข้ากับเทคโนโลยีการก่อสร้างสมัยใหม่ ให้เป็นที่ยอมรับ โดยระบบการก่อสร้างด้วยวัสดุท้องถิ่นนั้นการจะยกมาตรฐานของวัสดุจะต้องคำนึงถึงหลักการที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีการก่อสร้าง เช่น ความยั่งยืน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความทนทานและปลอดภัย ความง่ายในการผลิตเพื่อให้ชุมชนท้องถิ่นสามารถผลิตใช้ได้เอง รวมทั้งสามารถสร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นนั้นๆ⁷

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Nipon Thiensiriphat, 2527 ศึกษาความแข็งแรงทางกลและทางกายภาพของไม้ไผ่สามชนิดคือ ไผ่รวก ไผ่ตง และไผ่บ้านโดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการที่จะทำให้ไม้ไผ่สามารถรับแรงได้เมื่อนำไปทำการสร้างแผ่นพื้นโดยที่ไผ่รวกมีความต้านแรงดึงมากที่สุดและได้ทำการทดสอบสร้างแผ่นพื้นขึ้นมาโดยการนำไม้ไผ่ไป ควัน ทาฟลินโค้ท และชุบน้ำพบว่าการทำทับด้วยฟลินโค้ทสามารถรับแรงเฉือนขนานเส้นได้ดีกว่ารูปแบบอื่น

ฐิติกุล ภาคคีรี, 2540 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตงพบว่าค่าเฉลี่ยโมดูลัสของการแตกหักเท่ากับ 135 MPa โมดูลัสการยืดหยุ่น 13.115 GPa ค่าเฉลี่ยการต้านแรงดึงเท่ากับ 314 MPa โดยการทดสอบนี้เปรียบเทียบกับ

ไม้ไผ่ตั้งแต่อายุตั้งแต่หนึ่งถึงห้าปีและตลอดความยาวพบว่าไม้ไผ่ที่อายุ สองปีครึ่งขึ้นไปและบริเวณโคนต้นมีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน

วิมล สุทธินวน, ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร์ จินดาใส, บัญญัติ เจ็ดจิม, นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกียวของ, 2548 จากการศึกษาวิจัยระดับมหภาคพบว่าความเค้นอันเกิดจากแรงลมในไม้ไผ่ที่มีลักษณะเป็นทอกลวงและมีเส้นผ่าศูนย์กลางของลำไผ่เล็กลงจากโคนลำสู่ปลายลำมีค่าสม่ำเสมอตามความสูงของลำไม้ไผ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกลางลำ นอกจากนี้โครงสร้างระดับมหภาคดังกล่าวมีค่าความแกร่งต่อความเค้นบิดคิดเป็นเนื้อไม้ที่เท่ากัน

ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์, 2545 ได้ทำการหาวิธีการทำให้ไม้ไผ่แห้งและป้องกันมอด แมลงด้วยวิธีการต้มและอัดน้ำยาเข้าไปในไม้ไผ่ เพื่อนำไปสร้างอาคารพบว่าใช้งานได้ดี

ชนิษฐา มาคุ้ม, 2549 ได้ทำการศึกษาเพื่อทำการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างผิวไม้ไผ่กับคอนกรีตโดยใช้วิธีการทาทับไม้ไผ่ด้วยอีพ็อกซี แล็กเกอร์ และสีย้อมไม้ พบว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ให้ผลสูงสุดคือ อีพ็อกซี แล็กเกอร์และสีย้อมไม้ตามลำดับ

ทรงเกียรติ เทียทิทรัพย์, 2550 ทำการวิจัยเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อก่อสร้างที่พิกอาศัยในเขตพื้นที่หมู่บ้านสาขลา ตำบลนาเกลือ อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการพบว่าไม้ไผ่มีความเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่ใช้ในเขตพื้นที่เพราะสามารถถ่ายทอดความรู้ได้รวมทั้งผู้อยู่อาศัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้วยตนเอง

รุ่งคุณ ราศีนวน, 2550 ศึกษาความสามารถของไม้ไผ่ในการนำไปทำวัสดุหลังคาและผนังซึ่งพบว่าสามารถใช้ได้ในเกณฑ์ดี

ไทร กระจันนท์, 2555 ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางกลของไม้ไผ่รวกที่มีอายุตั้งแต่หนึ่งปีจนถึงอายุห้าปี พบว่าไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่ หนึ่งถึงสองปี มีคุณสมบัติทางกลที่ค่อนข้างแตกต่างกันตั้งแต่โคนลำต้นจนถึงปลายลำต้น และไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่ สองปีกว่าถึงห้าปี พบว่าตั้งแต่บริเวณโคนลำต้นจนถึงระยะประมาณสามส่วนสี่ของลำต้น มีคุณสมบัติทางกลไม่แตกต่างกันและได้ผลสรุปว่า ควรใช้ไม้ไผ่ที่มีอายุตั้งแต่สองปีขึ้นไปเพื่อควบคุมคุณสมบัติทางกลให้ใกล้เคียงกัน

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมวัสดุดิบ

วัสดุดิบที่นำมาทดสอบเป็นไม้ไผ่ที่ตัดในฤดูแล้ง (ตัดในฤดูเดียวกัน) และมีอายุมากกว่าสองปีขึ้นไปโดยส่วนที่นำมา

ใช้งานเป็นบริเวณโคนลำต้นทั้งหมดเพื่อควบคุมให้ไม้ไฟให้มีคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกัน^{3,6}

การออกแบบการทดสอบ

การออกแบบการทดสอบเป็นการออกแบบเพื่อทดสอบ คุณสมบัติของไม้ไฟรวกและคอนกรีต เพื่อหาขีดความสามารถในการรับแรงเมื่อไม้ไฟ ต้องถูกใช้เป็นวัสดุเสริมคอนกรีตแทนเหล็ก โดยการทดสอบนี้ จะเป็นการทดสอบพื้นฐาน และนำข้อมูลพื้นฐานที่ได้ไปทำการทดสอบประยุกต์ เพื่อสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไฟ

ช่วงที่ 1 การทดสอบพื้นฐาน

ทดสอบค่าการต้านแรงดึงและค่าความยืดหยุ่นการทดสอบทำโดยการ นำวัสดุไม้ไฟ ที่ผ่านการบ่มและทำให้แห้งมาทำการตัดออกเป็นปล้องไม่รวมข้อโดยเลือกชิ้นไม้ไฟสามชิ้นต่อการทดสอบหนึ่งค่า (หนึ่งปล้อง) โยรวมทดสอบสามารถรอบจำนวนเก้าชิ้นงานโดยตำแหน่งของปล้องที่ตัดได้มาตั้งแต่โคนถึงสามส่วนสี่ของของลำต้น

การทดสอบการรับแรงดึงของไม้ไฟ

การทดสอบแรงดึงจะทำการตัดชิ้นไม้ไฟให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และบริเวณตรงกลางให้มีลักษณะเว้าเข้าไปคล้ายกับกระดูกหมา (Dog Bone)¹⁶ จากนั้นนำไป ทดสอบแรงดึงบนเครื่องทดสอบ UTM Lloyd รุ่น LS100 Plus (ASTM D638)¹⁶

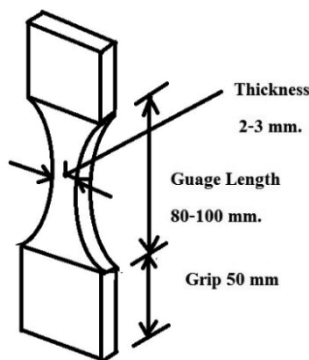


Figure 1 Test specimens

การทดสอบกำลังต้านทานของคอนกรีต

การทดสอบหาลำไส้การต้านทานของคอนกรีต จะใช้วิธีมาตรฐานการทดสอบของ มอก.¹³ กำลังการต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุคอนกรีต และวิธีการทำคอนกรีต เช่น การผสม การเท และการบ่มคอนกรีตตลอดจนอายุของคอนกรีต

โดยปกติกำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีต ถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วันหลังจากหล่อแล้วเป็นเกณฑ์ แต่ในบางครั้งอาจใช้ที่ 3 หรือ 7 วันก็ได้²⁴

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (f'_c) ในที่นี้จะเลือกใช้ปูนประเภทที่หนึ่ง ซึ่งเป็นปูนปอร์ตแลนด์ธรรมดา มีส่วนผสม ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน และปริมาณน้ำไม่เกินร้อยละ 45 ของปูนเพื่อควบคุมให้คอนกรีตมีกำลังอัดไม้ต่ำกว่า 300kg./cm.² และบ่มด้วยน้ำที่ประมาณ 28 วันจึงนำไปทดสอบ

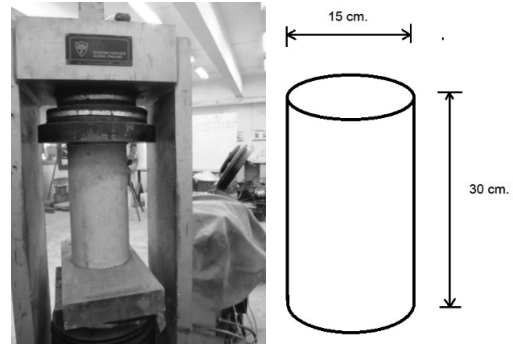


Figure 2 Concrete specimen

ช่วงที่ 2 การทดสอบประยุกต์

การทดสอบการรีดร้อน

การทดสอบการรีดร้อน ทำการทดสอบโดย เลือกตัดไม้ไฟที่มีความยาว 2m. โดยตัดให้ผิวด้านนอกของไม้ไฟติดมาด้วย จากนั้นนำมาปรับขนาดความกว้าง ไม่เกิน 4mm. หนา 3mm. โดยการเหลาผิวด้านล่างออกเล็กน้อย การทดสอบการรีดนี้จะทำการทดสอบโดยการนำไม้ไฟผ่านเข้าไปในเตาอบความร้อนที่สามารถปรับตั้งความร้อนได้ตั้งแต่ 0-150°C การรีดไม้ไฟจะทำการทดสอบรีดที่อุณหภูมิต่ำจนถึงอุณหภูมิสูง โดยที่ไม่ทำให้ไม้ไฟเกิดการไหม้ และหาค่าความหนาต่ำสุด โดยที่ไม่ไฟไม่แตก

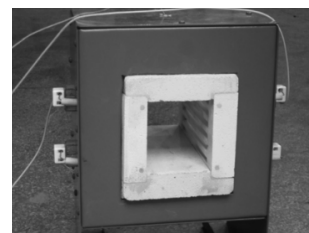


Figure 3 Oven



Figure 4 Bamboo rolling machine

การออกแบบทดสอบแผ่นพื้น

การออกแบบทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีต ทั้งหมดจะทำการทดสอบสามรอบโดยในแต่ละรอบจะมีแผ่นพื้นคอนกรีตสามแบบคือแผ่นพื้นคอนกรีตเปล่า แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานตารางและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนบิดเกลียว (Pre-stress) แบบละ 3 ชั้น รวมทั้งหมด 27 ชั้น (บ่มไว้ 28 วัน) การทดสอบแผ่นพื้นของคอนกรีต จะทำการทดสอบหาโมเมนต์ประลัย (M_u) เพื่อหาค่าความสามารถสูงสุดของแรงที่สามารถรับได้ บททฤษฎีของโมเมนต์ประลัย⁸

เครื่องทดสอบแรงกดในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบแบบกำหนดจุดกดสามจุด¹⁴ ที่กึ่งกลางคานรองรับแบบลูกกลิ้ง

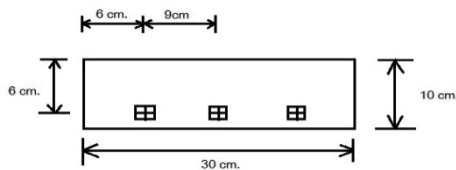


Figure 5 Cross section of concrete slab reinforced grid and twisted bamboo

การออกแบบการวางไม้ไผ่เสริม

การวางไม้ไผ่เสริมจะวางไว้สองชุดชุดแรกเป็นไม้ไผ่เสริมปกติส่วนชุดที่สองเป็นไม้ไผ่เสริมรีดร้อนบิดเกลียว ไม้ไผ่ที่วางมีพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยเท่ากันที่ 1 cm² จำนวนชุดละ 3 เส้นวางที่ตำแหน่งเหมือนกันสำหรับคานคอนกรีตล้วนมีมิติเหมือนกับคานทั้งสองแบบ

การออกแบบเครื่องสร้างแรงดึงและแบบหล่อ

การออกแบบเครื่องให้แรงดึงชั้นต้นจะใช้เหล็กรูปพรรณตัว H ที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้สามารถรับแรงได้ตามที่ออกแบบไว้โดยด้านที่สร้างแรงดึงจะติดตั้งตัว Turnbuckle และตัววัดแรง (Digital gauges) เพื่อวัดแรงดึงชั้นต้นของไม้ไผ่ตามค่าที่ออกแบบไว้

หลังจากสร้างแรงดึงบนไม้ไผ่ทั้งสามเส้นแล้วจะย้ายชุดปรับแรงดึงและวัดแรง ไปติดตั้งยังชุดถัดไปซึ่งแบบหล่อที่สร้างขึ้นมานั้นสร้างไว้สามชั้นต่อเครื่องหนึ่งชุดเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของคอนกรีตให้มีความแข็งแรงใกล้เคียงกันมากที่สุด



Figure 6 Machine frame

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบแรงดึงของไม้ไผ่



Figure 7 Test specimen

ผลการทดสอบแรงดึง

จากผลการทดสอบแรงดึงเพื่อทำการหาความเค้นดึงสูงสุดจำนวนเก้าชุด (ใช้ค่าเฉลี่ย) พบว่าค่าความต้านแรงดึงเฉลี่ยอยู่ที่ 2153.65kg./cm.² และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเฉลี่ย 321,376.5kg./cm.²

ผลการทดสอบหาค่าแรงอัดประลัยในคอนกรีตแท่ง จาก⁴ หาโมดูลัสความยืดหยุ่น (E_c) จากแรงอัดประลัย (f'_c)

$$E_c = 15,200\sqrt{f'_c} \tag{1}$$

และโมดูลัสที่จุดแตกหัก (rupture)

$$f'_r = 1.99\sqrt{f'_c} \tag{2}$$

ผลการทดสอบแรงอัดประลัย¹³

จากการทดสอบแรงอัดประลัยทั้งสามชั้นทดสอบ ผลการทดสอบที่ออกมา มีค่าสูงสุด 325kg./cm.² ต่ำสุดมีค่าเป็น 312kg./cm.² มีค่าเฉลี่ยความเค้นอัดประลัย 319kg./cm.² และจากค่าความเค้นอัดประลัยที่ได้นี้ นำไปคำนวณเพื่อหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต ได้ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย 2.7×10^5 kg./cm.² และค่า Modulus of rupture เฉลี่ยมีค่าเป็น 35.54kg./cm.²

ผลการทดสอบรับแรงดึงประลัยของไม้ไผ่รีดร้อน บิดเกลียว (Ultimate or Breaking Strength)



Figure 8 Sample of tensile strength test of hot rolled bamboo twisted

ผลการทดสอบแรงดึงประลัยของไม้ไผ่รีดร้อน บิดเกลียวและผลการทดสอบการรีดไม้ไผ่

ผลการทดสอบรีดร้อนไม้ไผ่พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ที่ไม่เกิน 120 °C และกดด้วยความหนาต่ำสุด 3 mm. จากผลการทดสอบไม้ไผ่จำนวน 15 เส้น ที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน และนำมามัดรวมให้มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm.² และนำไปทำการบิดพร้อมดิ่งเพื่อหาแรงดึงสูงสุดพบว่า ค่าสูงสุดที่ไม้ไผ่รับได้เท่ากับ 2,558 kg. ต่ำสุด 2,357 kg. เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ 2,449 kg.

ผลการทดสอบโมเมนต์ประลัยของแผ่นพื้น (M_y)

การทดสอบคอนกรีตทำสามรอบในแต่ละแบบของคอนกรีต ในชุดแรกเป็นคอนกรีตเปล่านั้นผ่านการบ่มมาเป็นเวลาเกิน 28 วันทดสอบด้วยเครื่อง UTM¹⁴ โดยการปรับตั้งให้แกนไฮดรอลิกส์กดลงมาครั้งละ 0.01 mm. จนกระทั่งคอนกรีตเริ่มมีรอยแตก (Crack) ชุดที่สองเป็นคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่

รอกสานเป็นตาราง กดจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแตก (Crack) สุดท้ายไม้ไผ่ขาดออกจากกัน (Ultimate or Break) และชุดสุดท้ายเป็นคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่ผ่านการรีดร้อนบิดเกลียว (Pre-stress) ให้แรงดึงเบื้องต้นที่ร้อยละ 85 ของแรงดึงประลัย ตัดออกมาจากฐานสร้างแรงดึงที่เวลา 84 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิห้องด้วยการพันด้วยพลาสติกไม่ให้เกิดคอนกรีตสูญเสียความชื้นเร็วเกินไปที่เวลา 28 วันจึงนำไปทดสอบ



Figure 9 Finished Reinforcement in Form



Figure 10 Test specimen pre-test



Figure 11 Test specimen bending machine

Table 1 Results of bending test when begin cracked concrete and bamboo begin broken (Ultimate)^{8,15}

ลักษณะชิ้นทดสอบ	ชั้นที่	ผลการทดสอบเมื่อคอนกรีตเริ่ม Crack				แรงกดประลัย		Pu/Po	ลักษณะการพัง Failure Mode
		แรงกด		การโก่งที่จุดกึ่งกลาง		Ultimate Load Pu(kg.)			
		ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	ทฤษฎี (mm.)	ผลทดสอบ (mm.)	ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)		
คอนกรีตเปล่านั้น									
รอบที่ 1	1	456	512	0.384	1.6	456	512	0.95	1
	2	456	578	0.384	1.8	456	578	1.08	1
	3	456	540	0.384	1.7	456	540	1.01	1
รอบที่ 2	4	456	548	0.384	1.6	456	548	1.02	1
	5	456	526	0.384	1.6	456	526	0.98	1
	6	456	ไม่สมบูรณ์	0.384	ไม่สมบูรณ์	456	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์

Table 1 (const.) results of bending test when begin cracked concrete and bamboo begin broken (Ultimate)^{8,15}

ลักษณะชั้นทดสอบ	ชั้นที่	ผลการทดสอบเมื่อคอนกรีตเริ่ม Crack				แรงกดประลัย		Pu/Po	ลักษณะการพัง Failure Mode
		แรงกด		การโก่งที่จุดกึ่งกลาง		Ultimate Load Pu(kg)			
		ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)	ทฤษฎี (mm.)	ผลทดสอบ (mm.)	ทฤษฎี (kg.)	ผลทดสอบ (kg.)		
คอนกรีตเปล้า									
รอบที่ 3	7	456	520	0.384	1.8	456	520	0.97	1
	8	456	ไม่สมบูรณ์	0.384	ไม่สมบูรณ์	456	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	9	456	535	0.384	1.7	456	535	1.00	1
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ธรรมดา									
รอบที่ 1	1	457.041	549	0.385	2.2	983	1019	1.90	2
	2	457.041	587	0.385	2.4	983	1085	2.02	2
	3	457.041	607	0.385	2.6	983	1108	2.06	2
รอบที่ 2	4	457.041	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	983	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	5	457.041	550	0.385	2.5	983	1078	2.01	2
	6	457.041	579	0.385	2.3	983	1045	1.95	2
รอบที่ 3	7	457.041	584	0.385	2.4	983	1032	1.92	2
	8	457.041	561	0.385	2.5	983	1095	2.04	2
	9	457.041	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	983	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อน									
รอบที่ 1	1	850	610	0.385	1.3	1067	1144	2.13	2
	2	850	695	0.385	1.4	1067	1143	2.13	2
	3	850	654	0.385	1.2	1067	1187	2.21	2
รอบที่ 2	4	850	628	0.385	1.1	1067	1178	2.19	2
	5	850	669	0.385	1.4	1067	1159	2.16	2
	6	850	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	1067	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
รอบที่ 3	7	850	ไม่สมบูรณ์	0.385	ไม่สมบูรณ์	1067	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์	ไม่สมบูรณ์
	8	850	659	0.385	1.3	1067	1168	2.18	2
	9	850	670	0.385	1.2	1067	1180	2.20	2

เมื่อ Po คือแรงกดประลัยเฉลี่ยของชั้นทดสอบคอนกรีตเปล้า

การหาขนาดแรงกดของคอนกรีตทั้งสามแบบ^๑
คอนกรีตเปล้า

$$M = \frac{PL}{4} + \frac{WL^2}{8} \tag{3}$$

เมื่อ P = แรงกดที่จุดกึ่งกลาง, L = ระยะห่างของจุดรองรับ (140 ซม.), W = น้ำหนักของคอนกรีตต่อหน่วยความยาว (kg./cm.)

จากทฤษฎีโมเมนต์ดัดสูงสุด

$$M = f_r b h^2 / 6 \tag{4}$$

เมื่อ fr = Rupture Modules ของคอนกรีต (35.5 kg./cm²)

b = ความกว้างของแผ่นพื้น (Slab width = 30cm.)

h = ความหนาของคอนกรีต (Slab thickness = 10 cm.)

คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ตาราง

ใช้วิธี Balance Reinforcement Ratio

$$P_b = \frac{0.85 \times k_1 \times 0.003}{\frac{f'_b}{E_b} + 0.003} \times \frac{f'_c}{f'_b} \tag{5}$$

เมื่อ f'_c คือแรงกดประลัยในคอนกรีต, f'_b คือ แรงดึงประลัยในไม้ไผ่, E_b คือโมดูลัสความยืดหยุ่นของไม้ไผ่ k₁ มีค่า = 0.85 เมื่อ f'_c ≤ 300 kg./cm.², k₁ มีค่า = 0.85 - 0.0008(f'_c - 300) ≥ 0.65 เมื่อ f'_c > 300 kg./cm.² ได้ค่า k₁ = 0.825 และค่าสูงสุดของโมเมนต์

$$M = A_b f'_b d \left(1 - \frac{\beta_1 f'_b}{0.85 k_1 f'_c} P \right) \tag{6}$$

เมื่อ A_b คือพื้นที่หน้าตัดรวมของไม้ไผ่, d คือความลึกจากผิวบนคอนกรีตถึงไม้ไผ่, β_1 คือ $\frac{k_1}{2}$, P คือ reinforcement ratio

คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อน⁸

การออกแบบคอนกรีตอัดแรงด้วยไม้ไผ่ออกแบบแรงอัดของคอนกรีตไว้ที่ร้อยละ 50 และหาจำนวนชั่วโมงที่ต้องตัดคอนกรีตออกจากแบบ

$$f'_c(t) = \frac{t}{\alpha + \beta t} f'_c(28) \tag{7}$$

เมื่อ $f'_c(t)$ คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ t วัน $f'_c(28)$ คือ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน α, β คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์และวิธีการบ่ม

การหาหน่วยแรงดึงวิบัติ⁸

$$f'_{pb} = f'_{but} \left\{ 1 - \frac{r_p}{\beta_1} \left[p \frac{f'_{but}}{f'_c} + \frac{d}{d_p} (\omega - \omega') \right] \right\} \tag{8}$$

เมื่อ f'_{but} คือ หน่วยแรงดึงประลัยในไม้ไผ่รีดร้อน $kg./cm.^2$

ω คือ ดัชนีไม้ไผ่เสริมธรรมดารับแรงดึง

ω' คือ ดัชนีไม้ไผ่เสริมรับแรงอัด

p คือ อัตราส่วนของไม้ไผ่เสริมอัดแรง $= \frac{A_b}{bd_p}$,

d คือ ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของไม้ไผ่เสริมธรรมดารับแรงดึง

d_p คือ ระยะจากผิวที่เกิดหน่วยแรงอัดมากที่สุด ถึงจุดศูนย์กลางของไม้ไผ่เสริมอัดแรง

β_1 คือ ตัวคูณการกระจายของหน่วยอัดแรงในคอนกรีตเทียบเท่าเป็นรูปสี่เหลี่ยม

r_p คือ ตัวคูณที่คำนึงถึงระดับกำลังครากของไม้ไผ่อัดแรงมีค่าดังนี้

0.40 เมื่อ $0.85 \leq \frac{f_{by}}{f_{but}} \leq 0.90$, 0.28 เมื่อ

$\frac{f_{by}}{f_{but}} \geq 0.90$ (9)

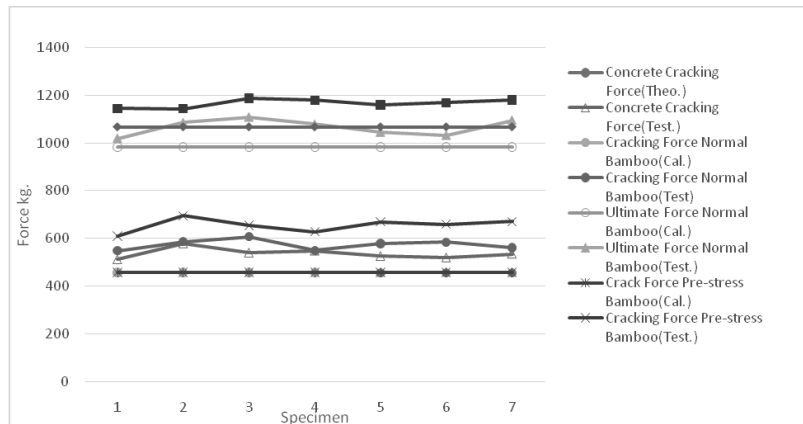


Figure 12 Compression strength Vs. Reinforcement for different compositions of composites

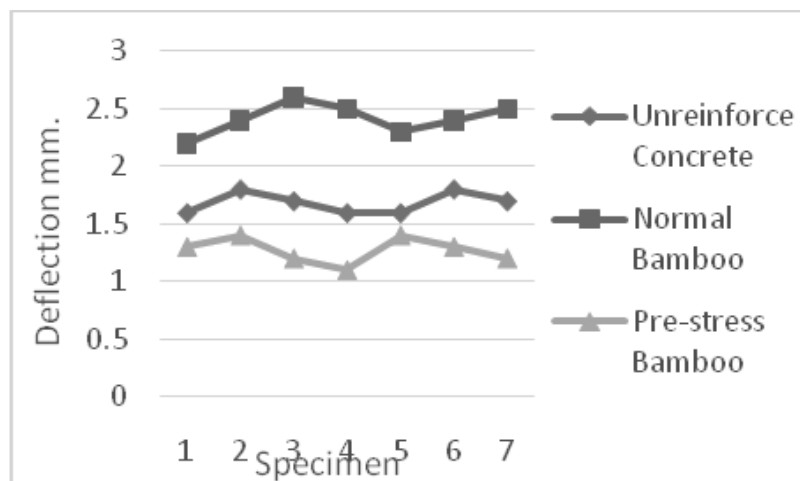


Figure 13 Deflection behavior of beam reinforced with bamboo

สรุปผล

สรุปผลเปรียบเทียบการโก่งของแผ่นพื้นทั้งสามแบบ ผลการทดสอบพบว่าจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าวคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตาราง มีค่าการโก่งสูงสุด คอนกรีตเปล่านั้นมีค่ารองลงมา และคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียวมีค่าต่ำสุด เมื่อเทียบผลของการโก่งที่ไม้ไผ่ขาดออกจากกันพบว่าไม้ไผ่สานเป็นตารางจะมีค่าสูงกว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียว

ผลการทดสอบแรงกดที่จุดกึ่งกลาง ค่าเฉลี่ยของคอนกรีตเปล่านั้นรับแรงกดสูงสุด (Crack) 537kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่เป็นตาราง 574kg. และคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ปิดเกลียว 655kg. เปรียบเทียบความแตกต่างพบว่าคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงกดให้กับคอนกรีต (Crack) ได้มากกว่าคอนกรีตเปล่านั้นร้อยละ 18.02 และเทียบคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตารางธรรมดาสามารถรับได้มากกว่าร้อยละ 12.38

ผลการทดสอบแรงกดประลัยที่จุดสุดท้ายเมื่อไม้ไผ่ขาดออกจากกันพบว่า ค่าเฉลี่ยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่สานเป็นตารางสามารถรับแรงกดได้ 1,066kg. คอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวรับได้ 1,165kg. ตัวไม้ไผ่รับแรงได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.54

วิจารณ์ผล

จากผลการทดสอบที่ได้เริ่มตั้งแต่การทดสอบชิ้นงานดิบของไม้ไผ่ นำมาทดสอบบนเครื่องทดสอบแรงดึงให้ผลออกมาเป็นไปตามค่าที่ใกล้เคียงกับเอกสารอ้างอิง³ เมื่อนำไม้ไผ่ไปทำการรีดร้อนและนำมาปิดเป็นเกลียวพบว่าไม้ไผ่สามารถรับแรงดึงที่จุดแตกหักได้เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.59 และไม่สามารถเพิ่มได้มากกว่านี้เนื่องด้วยชิ้นงานขาดก่อนประมาณร้อยละ 50-60 ก่อนถึงจุดคำนวณแตกหักเกือบทั้งหมดของไม้ไผ่ที่ขาดจะขาดจากบริเวณข้อซึ่งเป็นบริเวณที่ไม้ไผ่รับแรงดึงได้น้อยสุด ฉะนั้นการที่นำไม้ไผ่รวมไปทำการรีดร้อนจึงส่งผลต่อการต้านแรงดึงของไม้ไผ่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ผลการทดสอบที่น่าสนใจคือจุดที่คอนกรีตเริ่มร้าวเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตเปล่านั้นกับคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวพบว่าการอัดแรงก่อนด้วยการปิดเกลียวนั้นสามารถทำให้คอนกรีตรับแรงกดได้เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 18.02 เป็นผลมาจากที่คอนกรีตถูกถ่ายแรงอัดด้วยไม้ไผ่ที่ปิดเกลียวทำให้ความสามารถรับแรงดึงคอนกรีตสูงขึ้น แต่สำหรับจุดสุดท้ายที่ไม้ไผ่เริ่มขาดออกจากกัน (Ultimate) เปรียบเทียบระหว่างไม้ไผ่ธรรมดากับไม้ไผ่รีดร้อน พบว่าแตกต่างกันเพียงแค่อ้อยละ 8.54 ทำให้สามารถสรุปผลชัดเจนขึ้นว่าการนำไม้ไผ่ไปทำการรีดร้อนสามารถเพิ่มการต้านแรงดึง (Ultimate Strength)

ของตัวไม้ไผ่เองได้เพียงเล็กน้อยแต่ที่คอนกรีตรับแรงได้เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการอัดแรงของไม้ไผ่ที่ปิดเกลียวช่วยเพิ่มการต้านแรงดึงของคอนกรีต⁸

จากผลการทดสอบอีกประการหนึ่งคือผลการทดสอบความสามารถในการรับแรงกดของคอนกรีตเสริมไม้ไผ่รีดร้อนปิดเกลียวที่ทดสอบได้เมื่อคอนกรีตเริ่มร้าวสามารถรับแรงได้น้อยกว่าผลการคำนวณอันเนื่องมาจากเมื่อไม้ไผ่โดนน้ำจะเกิดการคลายตัว(Stress release)และจะมีการพองตัวเมื่อไม้ไผ่เริ่มแห้งน้ำจะหายไปจากตัวไม้ไผ่ ทำให้ไม้ไผ่เกิดการหดตัว²แรงดึงถดถอยที่ประมาณการไว้จึงมีค่ามากกว่าความเป็นจริงทำให้ไม้ไผ่ไม่สามารถส่งถ่ายแรงอัดไปให้คอนกรีตได้ตามที่ต้องการ

ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบในครั้งต่อไปหลังจากที่มีการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อแล้วควรมีการอัดแรงซ้ำ เพราะเมื่อไม้ไผ่โดนน้ำจะมีการคลายตัวทำให้แรงดึงที่ไว้ไว้เบื้องต้นมีค่าลดลง จนทำให้ไม้ไผ่ส่งถ่ายแรงอัดไปยังคอนกรีตไม่ได้ตามต้องการ
2. ควรมีการเคลือบไม้ไผ่ด้วยวัสดุต่างๆ เช่น อีพอกซีเวเทอร์โคท² เพื่อให้ไม้ไผ่มีคุณภาพผิวที่ดีสามารถยึดเกาะกับคอนกรีตได้ดีเมื่อเวลาผ่านไปเกิน 84 ชั่วโมง
3. ก่อนกระบวนการปิดเกลียวไม้ไผ่ควรใช้ลวดเหล็กมัดเกลียวไม้ไผ่เป็นช่วงๆ เพื่อป้องกันเส้นไม้ไผ่ย่อยหลุดหรือแยกกลุ่มกันทำให้มีหน้าตัดไม่สม่ำเสมอทำให้ไม้ไผ่ขาดก่อนที่จะถึงแรงดึงออกแบบ
4. การประมาณค่าของแรงดึงถดถอยในไม้ไผ่ ปิดเกลียวควรมีการทดสอบก่อน โดยการปิดเกลียวให้ไม้ไผ่มีแรงดึงขั้นต้นที่ต้องการและเทน้ำลงไปเพื่อดูว่าไม้ไผ่ปิดเกลียวสูญเสียแรงดึงขั้นต้นมากขนาดไหนเพื่อนำผลที่ได้ไปทำการอัดแรงซ้ำก่อนเททับด้วยคอนกรีต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบนอย่างยิ่งที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัย รวมทั้งนิสิตช่วยวิจัยทุกคนภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กานต์ คำแก้ว. "ไม้ไผ่กับสถาปัตยกรรมที่เลื่อนหาย: การออกแบบศาลาประชาคม." วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

2. ชณิษฐา มาคุ้ม, การศึกษาสมรรถนะในการรับโมเมนต์ดัดของคานคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ ที่มีการปรับปรุงแรงยึดเหนี่ยว, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2549
3. วิฑิตกุล ภาคคีรี, สมบัติทางกายภาพและเชิงกลของไม้ไผ่ตง, วิทยานิพนธ์ วนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2540
4. ณรงค์ กุหลาบ., การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก, กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, 2543.
5. ไตร กระจันนท์., การเพิ่มสมรรถนะคอนกรีตอัดแรงเสริมไม้ไผ่ตงและไม้ไผ่รวกด้วยกระบวนการรีดเย็น, รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2555
6. ทรงเกียรติ เทียทิพย์, เทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไผ่, วิทยานิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2545
7. ทรงเกียรติ เทียทิพย์ ,เทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารพักอาศัยที่เหมาะสม สำหรับพื้นที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยา, ดุษฎีนิพนธ์ สถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2550
8. นเรศ พันธราช., การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Design of pre-stressed concrete ., กรุงเทพฯ, 2543
9. รุ่งคุณ ราศีนวน, การพัฒนาวัสดุหลังคาและผนังจากไม้ไผ่ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง, วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550
10. วิวัฒน์ เตมีย์พันธ์ ,”เรือนพักอาศัย: รูปแบบสำคัญของสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น”อาษา(มกราคม 2541):หน้า 61-63
11. สุวัฒน์ สุทธิ์นวน, ศิริพงษ์ ศรีสุวรรณ, พัชรินทร์ จินดาใส, บัญญัติ เฉ็ดฉิม, นิรันดร มาแทน, บุญนำ เกี่ยวข้อง, โครงสร้างลาดชันระดับมหภาคและระดับจุลภาคของลำไม้ไผ่, p 81-79, J Sci & Tech Walailak 2005
12. อภิวิวัฒน์ ยอดเยี่ยม, นคร วีระโพธิ์ประสิทธิ์, การศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีต เสริมไม้ไผ่รับแรงดัดในแนวแกน, ปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 2550
13. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 409-2525).วิธีการทดสอบความต้านทานของแท่งคอนกรีต.กรุงเทพฯ.กระทรวงอุตสาหกรรม
14. มาตรฐานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มทข.(ท) 105.2-2545) มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดัดของคอนกรีต
15. Nipon ThienSiripipat, Bamboo-reinforced-concrete spillway slabs, Faculty of engineering Khon Kaen Uni., 1984
16. Standard Test Method for Tensile Properties, (ASTM D638 – 14)

พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น Self-care Behavior Patients with Upper Gastrointestinal Hemorrhage

ชนิษฐา รักษาเคน,¹ สุพัตรา บัวที²

Khanittha Raksaken,¹ Supatra Buatee²

Received: 12 May 2016 ; Accepted: 9 September 2016

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น รูปแบบการวิจัย: การวิจัยเชิงพรรณนา วิธีดำเนินการวิจัย: กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษา ณ โรงพยาบาลมหาสารคาม เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล และแบบสัมภาษณ์พฤติกรรมดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย: ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นส่วนใหญ่เพศชาย ร้อยละ 65 มีอายุมากกว่า 60 ปี ร้อยละ 52.50 โดยภาพรวมพฤติกรรมดูแลตนเองอยู่ในระดับปานกลาง (\bar{x} = 113.12, SD = 10.43) สรุปผลการวิจัย: ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นมีพฤติกรรมดูแลตนเองระดับปานกลางในด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ และด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นหลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ซึ่งผลการศึกษาจะเป็นประโยชน์ในการวางแผนการพยาบาลและการรักษา เพื่อส่งเสริมพฤติกรรมดูแลตนเอง

คำสำคัญ: เลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น พฤติกรรมดูแลตนเอง

Abstract

Purpose: To explore the Self-care behavior among patients with upper gastrointestinal hemorrhage. **Methods:** Patients with upper gastrointestinal hemorrhage (UGIH) who were admitted to Mahasarakham hospital. The research instruments were Personal and health status data and patient self-care behaviors of Patient with UGIH. The data were analyzed using descriptive statistics. **Main findings:** Most patients with UGIH were male (65%) aged over 60 years (52.50%). The mean score of total self-care behaviors of the subjects was at a moderate level (\bar{x} = 113.12, SD = 10.43). **Conclusion:** Self-care behaviors in patients with upper gastrointestinal hemorrhage were at a moderate level at development of self-care and UGIH self-care. Therefore healthcare providers can help the patients to improve self-care behaviors.

Keywords: Upper gastrointestinal hemorrhage, Self-care behavior

บทนำ

ภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นเป็นภาวะที่เกิดจากการมีเลือดออกตั้งแต่หลอดอาหารไปจนถึงส่วนที่เหนือลำไส้เล็กส่วนต้นบริเวณลิแกเมนต์ ออฟ ไทรซ์ (Ligament of trietz) มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากโรคแผลในกระเพาะอาหาร เกิดการอักเสบ การแตกของหลอดเลือดที่โป่งพองในหลอดอาหารหรือกระเพาะอาหาร¹ การฉีกขาดของเยื่อหลอดอาหาร ก้อนเนื้อที่ทำให้เกิดการอักเสบ² ผู้ที่ได้รับบาดเจ็บสาหัสหรือเสียชีวิต

และแผลที่เกิดจากความเครียด เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของทั่วโลก และเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสียชีวิต ปัจจุบันพบอุบัติการณ์การเกิดภาวะนี้ประมาณ 100 คนต่อประชากร 100,000 คน โดยพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิง ประมาณ 2 เท่า ส่วนใหญ่มักพบในผู้สูงอายุ ร้อยละ 50-70 โดยมีอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยอยู่ที่ร้อยละ 10³ สำหรับข้อมูลในประเทศไทยนั้น พบว่ามีอัตราการตายสูงถึงร้อยละ 10 - 20 โดยมักเสียชีวิตในช่วงแรกที่มาโรงพยาบาล อัตราการป่วยพบ

¹ อาจารย์, สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่, คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Lecturer , Nursing science Program in Adult Nursing, Mahasarakham University, Thailand.

171,596 ราย ในปีพ.ศ. 2555 ในโรงพยาบาลมหาสารคามพบจำนวนผู้ป่วย 260 คน ในปี 2556 และพบอัตราการตายจากสาเหตุเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นในปี 2554, 2555 และ 2556 คิดเป็นร้อยละ 8.9, 15.3 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความเพิ่มขึ้น⁴ นอกจากนั้นโรงพยาบาลยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องการใช้จ่ายที่ไม่เหมาะสมเป็นจำนวนมากกว่า 6,000,000 บาท/ปี⁴ และยังพบผู้ป่วยกลับมารักษาซ้ำถึงร้อยละ 9 สำหรับสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเลือดออกของระบบทางเดินอาหารส่วนต้นนั้นส่วนใหญ่มีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมสุขภาพ จากการทบทวนวรรณกรรม พบได้ว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดได้แก่ 1) พฤติกรรมการรับประทานอาหาร ชอบรับประทานอาหารหมักดอง อาหารรสจัด เมื่อมีปัญหาสุขภาพมักไปซื้อยามารับประทานเอง ไม่มีการออกกำลังกาย และพบก่อนการเจ็บป่วยมักดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทุกวัน สูบบุหรี่ทุกวัน และรับประทานยาแก้ปวดที่ไม่ใช่ยาพาราเซตามอล มีความเครียดและความวิตกกังวลสูง⁵ 2) การใช้จ่ายเตี้ยรอยด การให้ยาลดไขมันเลือด³ 3) ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งเสริมให้เกิดภาวะเลือดออกได้แก่ เพศ ปัญหาสุขภาพ โรคประจำตัวอื่น อายุ การศึกษา อาชีพ สถานภาพสมรส รายได้ของครอบครัวเฉลี่ยต่อเดือน สิทธิการรักษาที่ได้รับ⁶ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากความเสื่อมของหลอดเลือด จากปัญหาโรคอื่น ๆ เช่น การเป็นโรคตับแข็ง (Cirrhosis) ปัญหาการติดเชื้อ² พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ที่มีเลือดออกทางเดินอาหารเป็นส่วนสำคัญที่ส่งเสริมให้การดำเนินของโรครุนแรงขึ้น จากการปฏิบัติตัวที่ผสมผสานไปในพฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นโดยทั่วไปและพฤติกรรมการดูแลตนเองตามระยะพัฒนาการ เช่น การรับประทานอาหารให้ตรงเวลาและครบทุกมื้อ ชนิดของอาหาร เป็นต้น ซึ่งพฤติกรรมการดูแลตนเองบุคคลจะต้องมีความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูแลตนเอง และความต้องการการดูแลตนเองทั้งหมด ประกอบด้วย อายุ เพศ ระยะพัฒนาการ สังคมและชนบทธรรมเนียม ประเพณี สภาพที่อยู่อาศัย ระบบครอบครัวแบบแผนการดำเนินชีวิต สิ่งที่ปฏิบัติเป็นประจำ ภาวะสุขภาพ ปัจจัยทางระบบบริการสุขภาพ แหล่งทุนประโยชน์ และประสบการณ์ที่สำคัญในชีวิต ดังการศึกษาของสมถวิล จินดา⁷ ที่ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น พบว่า พฤติกรรมการดูแลตนเองโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนใหญ่สูบบุหรี่ ดื่มสุรา คิดเป็นร้อยละ 73.90 และ 68.20

จากปัญหาและความสำคัญของการมีพฤติกรรมการดูแลตนเองกับการป้องกันภาวะเลือดออกดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือด

ออกทางเดินอาหารส่วนต้น ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อพยาบาลและทีมสุขภาพในการพัฒนาแนวทางในการให้การพยาบาลผู้ป่วยกลุ่มนี้ต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

วิธีการดำเนินการศึกษา

เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่แผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม จำนวน 80 ราย ซึ่งได้จากการคำนวณ

$$n = 10k + 50$$

(n = จำนวนกลุ่มตัวอย่าง, k = จำนวนตัวแปรที่ศึกษา ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีจำนวนตัวแปรทั้งหมด 3 ตัว)

$$n = 10(3) + 50 = 80$$

ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 80 รายกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีการคำนวณ ขนาดกลุ่มตัวอย่างของทรอนได⁸ โดยกำหนดคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีระดับความรู้สึกตัวดี สามารถสื่อสารตอบคำถามได้ และเข้าใจภาษาไทยได้ดี
2. ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น
3. มีความยินดีเข้าร่วมการศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้

เครื่องมือในการวิจัย

เครื่องมือในการวิจัยมี 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลประกอบด้วย อายุ เพศ สถานภาพสมรส การศึกษา อาชีพ รายได้ โรคประจำตัว และการรักษาที่ได้รับ

ส่วนที่ 2 แบบ สัมภาษณ์พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ที่สร้างโดย สมถวิล จินดา ตามแนวคิดทฤษฎีของโอเร็ม⁹ ผ่านการหาค่าความเชื่อมั่นโดยผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหา 3 ท่าน และหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ 0.98 แบบสัมภาษณ์ประกอบด้วยข้อคำถาม 41 ข้อ ได้แก่ พฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นโดยทั่วไป จำนวน 15 ข้อ พฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ จำนวน 5 ข้อ และพฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นหลังเกิดภาวะเลือดออกใน

ทางเดินอาหารส่วนต้น จำนวน 21 ข้อ แต่ละข้อ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 4 ระดับ¹⁰ ดังนี้

1 คะแนน หมายถึง ท่านไม่มีพฤติกรรมหรือไม่ปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เลย

2 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เป็นส่วนน้อย หรือบางวันหรือนาน ๆ ครั้งหรือหลาย ๆ วัน กระทำครั้งหนึ่ง

3 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เป็นส่วนใหญ่หรือบ่อยครั้งแต่ไม่ทุกวันหรือไม่ทุกครั้ง

4 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ สม่าเสมอ หรือทุกวัน หรือทุกครั้ง

การแปลความหมายของคะแนนพฤติกรรมการดูแลตนเอง จะพิจารณาตามเกณฑ์ที่กำหนดจากการแบ่งคะแนนเป็น 3 ระดับ ใช้วิธีคำนวณหาอันตรายภาคชั้นโดยใช้ค่าพิสัยคำนวณจากการเอาคะแนนสูงสุดลบด้วยคะแนนต่ำสุด แล้วเอาผลลัพธ์ที่ได้มาแบ่งเป็น 3 ช่วงเท่า ๆ กัน

ผู้วิจัยได้หาความเชื่อมั่นของเครื่องมือโดย นำไปประเมินพฤติกรรมการดูแลตนเองในผู้ป่วยเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น จำนวน 15 ราย ที่มารับการรักษา ณ โรงพยาบาลมหาสารคาม นำมาคำนวณค่า Cronbach's alpha = 0.90

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเองโดยการสัมภาษณ์ผู้ป่วยที่มารับการรักษาแผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม ในช่วง เดือนพฤศจิกายน 2558 – เดือนกุมภาพันธ์ 2559 ดังนี้

1. เริ่มจากการขออนุญาตเก็บข้อมูลจากคณะกรรมการจริยธรรมคณะพยาบาลศาสตร์และโรงพยาบาลมหาสารคาม

2. แนะนำตัวกับหัวหน้าหอผู้ป่วยแผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม

3. ในการเก็บข้อมูล ผู้วิจัยเข้าพบผู้ป่วยที่แผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม เมื่อพบผู้ป่วยแนะนำตัวกับผู้ป่วยขอความร่วมมือในการวิจัย ผู้ป่วยที่ยินดีเข้าร่วมการวิจัย ลงนามชื่อในใบยินยอมอาสาสมัคร เพื่อตอบรับเป็นกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยเริ่มสัมภาษณ์โดยสนทนา เรื่องทั่ว ๆ ไปก่อน

4. บันทึกข้อมูลส่วนบุคคลแล้วจึงประเมินพฤติกรรมดูแลตนเอง ใช้เวลาในการสัมภาษณ์ร้อยละ ประมาณ 5-10 นาที

ระหว่างการสัมภาษณ์ผู้วิจัยไม่เร่งรัดคำตอบจากกลุ่มตัวอย่าง แสดงมารยาทและอัธยาศัยไมตรีที่ดี ยิ้มแย้มแจ่มใส เป็นกันเอง เป็นผู้ฟังที่ดีด้วยแสดงความสนใจและตั้งใจฟังกลุ่มตัวอย่าง ในกรณีที่คำบอกเล่าไม่ชัดเจน ผู้วิจัยจะสอบถามเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ไม่ถามคำถามนำเพื่อชี้คำตอบ เมื่อสิ้นสุดการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล และถามซ้ำในข้อที่ยังไม่ครบถ้วนหลังสิ้นสุดการตอบสัมภาษณ์ กล่าวขอบคุณกลุ่มตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยจนสิ้นสุดการสัมภาษณ์

5. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เสนอเอกสารชี้แจงการวิจัย เอกสารยินยอมต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์คณะพยาบาลศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อพิจารณารับรองพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง และเสนอต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยมนุษย์ โรงพยาบาลมหาสารคาม ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิผู้ป่วยทุกรายโดยการชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และอธิบายถึงขั้นตอนการเข้าร่วมวิจัย โดยข้อมูลที่ได้จะวิเคราะห์เป็นภาพรวม ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสิทธิ์ที่จะปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ โดยไม่มีผลต่อการรักษา หากกลุ่มตัวอย่างตกลงเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยให้ลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัยไว้

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

โดยการคำนวณค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา

ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น 80 ราย ที่มารับการรักษาที่แผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม ผลการศึกษาพบว่า

1. กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 65 มีอายุมากกว่า 60 ปี ร้อยละ 52.50 ($\bar{x} = 59.96$, $SD = 1.29$) สถานภาพสมรสคู่ ร้อยละ 68.80 มีวุฒิการศึกษาระดับประถมศึกษา ร้อยละ 77.50 มีรายได้ของครอบครัวต่อเดือน 5,001 – 10,000 บาท ร้อยละ 78.80 ($\bar{x} \pm SD = 9,925 \pm 1.05$) ดัง Table 1

Table 1 Demographic Characteristics of patients with upper gastrointestinal hemorrhage.

Characteristics	Number (n =80)	Percent
Age (years)		
< 60	38	47.50
> 60	42	52.50
$(\bar{x} \pm SD= 59.96 \pm 1.29)$		
Sex		
Male	52	65.00
Female	28	35.00
Status		
Single	12	15.00
Married	55	68.80
Widowed/Divorced	13	16.20
Education		
Primary school level	62	77.50
Secondary school level	5	6.30
High school level	6	7.50
Diploma	5	6.30
Bachelor degree	2	2.50
Revenue (baht)		
< 5,000	4	5.00
5,000-10,000	63	78.80
10,001-20,000	10	12.50
> 20,000	3	3.70
$(\bar{x} \pm SD= 9,925 \pm 1.05)$		
Occupation		
House keper	5	6.30
Farmer	47	58.80
Civil servant	3	3.70
Merchant	10	12.50
Wege worker	11	13.70
Unemployed	4	5.00
Uderlying disease		
No	22	31.00
Cirrhosis	15	18.80
Gout	9	11.30
Hypertension	5	6.30
Diaberes mellitus	16	20.00

Table 1 Demographic Characteristics of patients with upper gastrointestinal hemorrhage. (cont.)

Characteristics	Number (n =80)	Percent
Asthma	2	2.50
Chronic kidney disease	3	3.80
Tuberculosis	3	3.80
Rheumatoid	2	2.50
Number of admission		
1-2	70	87.40
3-4	5	6.30
5-6	5	6.30
Cause of upper gastrointestinal hemorrhage		
Steroid abuse	3	3.80
Alcohol consumption	37	46.20
Esophageal varices	8	10.00
Taking spicy food	16	20.00
Irregular meal	6	7.50
Gastritis ad Duodenitis	10	12.50
Duration of alcohol drinking (years)		
< 10	41	51.30
11-30	29	36.20
31-50	14	17.50
50	10	12.50

2. พฤติกรรมการดูแลตนเองเท่ากับ 113.12 (\bar{x} = 113.12, SD = 10.43) ซึ่งมีพฤติกรรมการดูแลตนเอง ในระดับปานกลาง มีคะแนนในระดับปานกลางในด้านการดูแลตนเอง ที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ และด้านการดูแลตนเองที่จำเป็น หลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ดัง Table 2

Table 2 Self-care behaviors of patients with upper gastrointestinal hemorrhage

Domains	\bar{x}	SD	Self-care behavior Level
1. Universal of self-care behavior	50.30	7.82	High
2. Development of self-care behavior	15.40	2.65	Moderate
3. Upper gastrointestinal hemorrhage of self-care behavior	17.38	7.49	Moderate
Overall Self-care behavior	113.12	10.43	Moderate

อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้พบว่า ลักษณะของกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 65 และมีอายุมากกว่า 60 ปี ร้อยละ 52.50 ทั้งนี้สามารถอภิปรายได้จากการทบทวนวรรณกรรมที่พบว่าเพศชาย และผู้สูงอายุที่มีความเสี่ยงต่อการมีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น เนื่องจากผู้สูงอายุส่วนใหญ่มีการเจ็บป่วยเรื้อรัง บางรายได้รับยาละลายลิ่มเลือด ยาสเตียรอยด์³ ส่วนเพศชายมีพฤติกรรมเสี่ยง เช่น พฤติกรรมการรับประทานอาหาร ดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทุกวัน สูบบุหรี่ทุกวัน และรับประทานยาแก้ปวดที่ไม่ใช่ยาพาราเซตามอล นอกจากนี้ยังมีความเครียดและความวิตกกังวลสูง⁵

สำหรับพฤติกรรมการดูแลตนเอง โดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณารายด้านนั้น พบอยู่ในระดับปานกลาง ในด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการสามารถอภิปรายได้ว่าผู้ที่มีปัญหาเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นนั้น ยังไม่สามารถจัดการความเครียดและความวิตกกังวลได้ เนื่องจากภาวะการมีเลือดออกเป็นภาวะวิกฤตของชีวิต และระดับปานกลางในด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นหลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น นั้นพบปัญหาพฤติกรรมการรับประทานอาหาร ขอบรับประทานอาหารหมักดอง อาหารรสจัด เมื่อมีปัญหาสุขภาพจะไปซื้อยามารับประทานเอง ไม่มีการออกกำลังกาย มักดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวล้วนส่งผลต่อการมีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

สรุปผล

การศึกษาครั้งนี้สรุปว่า ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น พบว่าพฤติกรรมการดูแลตนเองระดับปานกลางในด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ และด้านการดูแลตนเองที่จำเป็นหลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น และพบพฤติกรรมการดูแลตนเองระดับสูงในด้านสังคมและเศรษฐกิจ และด้านครอบครัว ซึ่งผลของการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการวางแผนทางรักษา และส่งเสริมพฤติกรรมการดูแลตนเอง อย่างไรก็ตามควรมีการติดตามพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นในระยะต่างๆ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่สนับสนุนทุนวิจัย และเจ้าหน้าที่แผนกผู้ป่วยศัลยกรรม โรงพยาบาลมหาสารคามที่คอยอำนวยความสะดวก และผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นทุกท่านที่ให้ความร่วมมือตอบแบบสอบถามเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Velle, F.H., Junior, F.P., Bergolo, L.C., Wainstein, R.V., & Wainstein, M.V. Gastrointestinal Bleeding due to Angiodysplasia in a Patient with Severe Aortic Stenosis: Heyde's Syndrome. *Brasileira Cardiol Invassiva*, 2013. 21(3), 288-290.
2. Zhang, C., Ciu, M., Xing, J., Shi, Y., & Su, X. Massive gastrointestinal bleeding caused by a giant gastric inflammatory fibroid polyp: A case report. *International Journal of Surgery Case Report*, 2014.571-573.
3. Valkhoff, V.E., & Sturkenboom, M.C. Risk factors for gastrointestinal bleeding associated with low-dose aspirin. *Best Practice and Research Clinical Gastroenterology*, 2012. 25(3), 125-140.
4. เวชระเบียนโรงพยาบาลมหาสารคาม. 2557 <http://dtc.mhkdc.com/>.
5. อุลัย จำปาอะดี, อภิญา วงศ์พิริโยธา, นภาพร พรหมคำ ขาว. นงค์เยาว์ มีเทียน. เพชรรุ่ง อัจฉริตร, และนิตยา สุทธ ยากร. ปัจจัยพื้นฐานและพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น. *วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 2546 .21(2), 51-60.
6. เขมณัญญ์ ยุทธิวิสุทธิ. พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลรามาริบัติ. *ปริญญาวิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. สาขาสุขภาพศึกษา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*. 2554.
7. สมถวิล จินดา. พฤติกรรมการดูแลตนเองและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลอุตรดิตถ์. *วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่. คณะพยาบาลศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 2551.
8. บุญใจ ศรีสถิตนรากร. ระเบียบวิธีการวิจัยทางพยาบาลศาสตร์. กรุงเทพฯ: ยูแอนด์ไอ อินเทอร์เน็ต. 2550.
9. พร้อมจิตร ห่อนบุญเหิม. ทฤษฎีการพยาบาลของโอเรียม แนวคิดและการประยุกต์. *มหาสารคาม : อภิชาติการพิมพ์*. 2553.
10. Viviane, A., & Alan, B. N. Estimates of costs of hospital stay for varies and nonvaricealupper gastrointestinal bleeding in the United States. *International Society for Pharmacoeconomics and Outcome Research*, 2008.11(1), 1-3.

ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมทางกายกับมะเร็งเต้านมในสตรีไทยอายุน้อยกว่า 45 ปี

Association between physical activities and breast cancer among Thai women under 45 years old

วิศิษฐ์ ฉวีพจน์กำจร^{1*}, ณัฐจาพร พิชัยณรงค์², รังษิณพดล โถทอง³, ประรณนา สติติภาวี⁴, ศุภชัย ปิตikulตัง⁵
 Wisit Chaveepojnkamjorn¹, Natchaporn Pichainarong², Rungsinoppadol Thotong³,
 Pratana Satitvipawee⁴, Supachai Pitikulatang⁵

Received: 16 May 2016 ; Accepted: 30 September 2016

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านกิจกรรมทางกายกับมะเร็งเต้านมในกลุ่มสตรีอายุน้อยกว่า 45 ปี ประชากรที่ศึกษา คือ สตรีที่เข้ารับบริการที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ แบ่งออกเป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านม และผู้ที่ไม่ได้เป็นมะเร็งเต้านม จำนวนกลุ่มละ 260 ราย เก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบสอบถาม ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ส่วนที่ 2 แบบสอบถามด้านกิจกรรมทางกาย และส่วนที่ 3 ข้อมูลพฤติกรรมสุขภาพและอนามัยเจริญพันธุ์ โดยทำการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา และสถิติเชิงวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูป ผลการศึกษา พบว่า มะเร็งเต้านมส่วนมากเป็นชนิด invasive ductal carcinoma (ร้อยละ 91.1) การวิเคราะห์ปัจจัยด้านกิจกรรมทางกาย กับมะเร็งเต้านมพบว่า กลุ่มที่มีกิจกรรมทางกายน้อย เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมสูงเกือบ 3 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีกิจกรรมทางกายระดับปานกลาง (OR = 2.82 , 95%CI = 1.73-4.59) ฉะนั้นการเฝ้าระวังกิจกรรมทางกายในกลุ่มสตรี และดำเนินการรณรงค์ส่งเสริมการออกกำลังกายในกลุ่มเสี่ยง การให้ความรู้ถึงประโยชน์ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และกิจกรรมทางกาย และวิธีการเบื้องต้นในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ (healthy lifestyle) จะช่วยป้องกันและลดอุบัติการณ์ของโรคมะเร็งเต้านมลงได้ในระดับหนึ่ง

คำสำคัญ : กิจกรรมทางกาย มะเร็งเต้านม สตรีไทยอายุน้อยกว่า 45 ปี

Abstract

The objective of this research was to determine the association between physical activity and breast cancer among Thai women younger than 45 years of age. The samples were 260 breast cancer patients (cases) and 260 healthy women (controls) from the National Cancer Institute, Bangkok. Data were collected by using a questionnaire that comprised 3 parts: part 1 general characteristics, part 2 global physical activities, and part 3 health behaviors and reproductive health factors. The obtained data were analyzed using descriptive statistics and analytic statistics with

¹ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาระบาดวิทยา คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

² รองศาสตราจารย์, คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

³ นักวิชาการ, กลุ่มงานวิจัย สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร 10400

⁴ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาชีวสถิติ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

⁵ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาอนามัยครอบครัว คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400

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

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

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

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

⁵ Assist. Prof., Department of Family Health, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

* Correspondence to: Wisit Chaveepojnkamjorn, Faculty of Public Health, Mahidol University, Bangkok, Thailand, 10400.

E-mail: wisitchar@yahoo.com;

computerized statistical package. The results revealed that the major type of breast cancer was the invasive ductile carcinoma (91.1%). The group of low physical activity, when compared to group of moderate activity, had nearly 3 times the risk of having breast cancer (OR=2.82, 95%CI = 1.73-4.59). Therefore, a surveillance system of physical activity should be conducted and accompanied by an exercise promoting campaign among risk groups. The campaign should provide information and counseling of physical exercise and physical activities and basic adjustment of healthy lifestyle in order to reduce and prevent this problem.

Keywords : physical activities, breast cancer, Thai women under 45 years old

บทนำ

โรคมะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ของคนทั่วโลก เมื่อพิจารณาในรายละเอียด จะพบว่า มะเร็งเต้านม จัดเป็นมะเร็งที่พบมากเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด โดยในปี พ.ศ. 2551 องค์การอนามัยโลกได้รายงานผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่ มีจำนวนถึง 12.7 ล้านคน ในจำนวนนี้เป็นมะเร็งเต้านมราว 1.38 ล้านคน (ร้อยละ 10.9) และมีผู้เสียชีวิตจากโรคมะเร็งโดยรวม 7.6 ล้านคน หรือคิดเป็นร้อยละ 13 ของสาเหตุการเสียชีวิตของคนทั่วโลก ซึ่งมากกว่าการเสียชีวิตจากโรคเอดส์ วัณโรค และมาลาเรียรวมกัน โดยในจำนวนนี้เป็น การเสียชีวิตจากมะเร็งเต้านมราว 458,000 คน และคาดการณ์ว่าในปี พ.ศ. 2573 จะมีผู้ป่วยมะเร็งรายใหม่เพิ่มขึ้นเป็น 21.4 ล้านคน และจะมีผู้เสียชีวิตจากมะเร็งราว 13 ล้านคน¹ สำหรับประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 มะเร็งโดยรวม (ทุกประเภท) จัดเป็นสาเหตุการตายอันดับหนึ่งของคนไทย รองลงมาคือ อุบัติเหตุ และโรคหัวใจ เมื่อพิจารณาถึงมะเร็งเต้านม พบมากเป็นอันดับหนึ่งในสตรีไทย โดยมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2548 มีรายงานอัตราผู้ป่วยมะเร็งเต้านม 25.6 ต่อประชากรแสนคน และเพิ่มขึ้นเป็น 30.7 ต่อประชากรแสนคนในปี พ.ศ. 2551^{1,2} การปฏิบัติตนเพื่อป้องกันความเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม สิ่งหนึ่งที่ได้มีการศึกษา ได้แก่ ปัจจัยด้านกิจกรรมทางกาย ซึ่งมีความหมายมากกว่าการออกกำลังกาย ประกอบด้วยกิจกรรมในการทำงาน การเดินทาง และกิจกรรมนันทนาการ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความสุขในการดำรงชีวิต โดยมีหลายงานวิจัยที่บ่งชี้ถึงการลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็ง³⁻¹³ งานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว มักศึกษาในกลุ่มสตรีสูงวัย ในทางตรงข้ามกลุ่มสตรีที่อายุน้อยกว่า 45 ปี ซึ่งเป็นกลุ่มสตรีวัยเจริญพันธุ์ ยังมีการศึกษาในด้านนี้ค่อนข้างน้อย

จากปัญหาและความสำคัญดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาโรคมะเร็งเต้านม และกิจกรรมทางกาย ในกลุ่มสตรีไทยที่มีอายุน้อยกว่า 45 ปี

วิธีการศึกษา

รูปแบบการวิจัยใช้รูปแบบการศึกษาแบบเคสคอนโทรล (case-control) แบบ 1 ต่อ 1 โดยควบคุมปัจจัยด้านอายุ (± 5 ปี) ภูมิภาค และระยะเวลาที่ได้รับการตรวจวินิจฉัย ระหว่าง cases และ controls ให้เหมือนกัน

ประชากร ขนาดตัวอย่างและการสุ่มตัวอย่าง
ประชากรที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผู้ป่วยสตรีมะเร็งเต้านมที่อายุน้อยกว่า 45 ปี (cases) และได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านม โดยมีผลตรวจทางพยาธิวิทยายืนยันว่าเป็นมะเร็งเต้านม กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีที่มาตรวจสุขภาพประจำปีที่อายุน้อยกว่า 45 ปี ไม่ได้ป่วยเป็นมะเร็งทุกชนิด และได้รับการตรวจเต้านมยืนยันจากแพทย์เฉพาะทาง การคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการศึกษาแบบเคสคอนโทรล โดยใช้สูตร¹⁴

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

โดยกำหนดให้ $Z_{\alpha/2} = 1.96$ ที่ $\alpha = 0.05$ $Z_{\beta} = 0.84$ ที่ $\beta = 0.20$ $P_0 =$ สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มควบคุม $= 0.32^{15}$; $P_1 =$ สัดส่วนของปัจจัยในกลุ่มผู้ป่วย $= 0.68^{15}$ จากการคำนวณขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตรดังกล่าว จะได้ขนาดตัวอย่างอย่างน้อยกลุ่มละ 256 ราย รวมเป็น 502 ราย ในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างทั้งสิ้น จำนวน 520 ราย

สถานที่ทำการวิจัย

พื้นที่ดำเนินการวิจัย คือสถาบันมะเร็งแห่งชาติ เป็นผู้เข้ามารักษามะเร็งเต้านม และมาตรวจสุขภาพประจำปี ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557

เกณฑ์การคัดเลือกผู้ยินยอมตนให้ทำวิจัยเข้าร่วมโครงการ (Inclusion criteria)

1. ยินดีให้ความร่วมมือ และให้ข้อเท็จจริงเกี่ยวกับตนเอง และครอบครัว ภายหลังได้รับการอธิบายเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยแล้ว สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย และลงนามใน

ไบนินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

2. สามารถสื่อสารโดยไม่มี ความพิการทางสมอง หรือความบกพร่องทางการพูด หรือการได้ยิน

3. กลุ่มผู้ป่วย (cases) เป็นสตรีไทยที่ป่วยเป็น มะเร็งเต้านม มีอายุน้อยกว่า 45 ปี และได้รับการวินิจฉัยยืนยัน ว่าเป็นมะเร็งเต้านม

4. กลุ่มควบคุม (controls) เป็นสตรีไทยที่มาตรวจ สุขภาพประจำปี และได้รับการวินิจฉัยยืนยันว่าไม่เป็นมะเร็ง ประเภทใดๆ และไม่เคยเป็นมะเร็งประเภทใดเลย

เกณฑ์การคัดผู้ยินยอมตนให้ทำการวิจัยออกจากโครงการ (Exclusion criteria)

1. กลุ่มตัวอย่างให้ข้อมูลในแบบสอบถามไม่ครบถ้วน
2. กลุ่มผู้ป่วยเป็นมะเร็งประเภทต่างๆก่อนที่จะเป็น มะเร็งเต้านม

วิธีดำเนินการศึกษา

โครงการวิจัย ผ่านการพิจารณาเห็นชอบโดย สอดคล้องกับคำประกาศเฮลซิงกิ และได้รับอนุมัติให้ทำการ วิจัย และเก็บข้อมูล จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการ วิจัยในมนุษย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (MUPH 2014-090)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษา ประกอบด้วย

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ด้านประชากรและสังคม
ส่วนที่ 2 แบบสอบถามวัดกิจกรรมทางกาย (Global Physical Activity Questionnaire) ฉบับภาษาไทย เป็น แบบสอบถามประเภทให้ผู้ตอบด้วยตนเอง (self-report) ซึ่งพัฒนาโดยองค์การอนามัยโลก¹⁶ เพื่อการเฝ้าระวังด้าน กิจกรรมทางกายของประชากรในประเทศต่างๆ ประกอบด้วย ข้อความ จำนวน 16 ข้อ ประกอบด้วย 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรมในการทำงาน (activity at work) จำนวน 6 ข้อ การ เดินทางไปและกลับในที่ต่างๆ (travel to and from places) จำนวน 3 ข้อ และกิจกรรมนันทนาการ (recreational activities) จำนวน 6 ข้อ และพฤติกรรมนั่งๆนอนๆ (sedentary behaviors) ทั้งที่บ้าน และที่ทำงาน ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการนั่งในที่ทำงาน นั่งคุยกับเพื่อน นั่งอยู่ในรถยนต์ รถประจำทาง รถไฟ นั่งอ่าน หนังสือ และนั่งดูโทรทัศน์ เป็นต้น โดยไม่รวมเวลานอนหลับ จำนวน 1 ข้อ

ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัย เจริญพันธุ์ (health behaviors and reproductive health factors)

การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล

การสร้างเครื่องมือเก็บข้อมูล มีขั้นตอนดำเนินงาน ดังนี้

1. ศึกษาเนื้อหา แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. กำหนดขอบเขต และโครงสร้างของแบบสอบถาม ที่จะใช้ในงานวิจัย
3. พัฒนาเครื่องมือวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามข้อมูล ด้านประชากร แบบสอบถามข้อมูลด้านสุขภาพ อนามัยเจริญพันธุ์ และกิจกรรมทางกาย
4. ตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถาม ได้แก่ ความตรงเชิงเนื้อหา การใช้ภาษา และความชัดเจนของภาษา และผู้วิจัยได้นำไปปรับปรุงแก้ไขก่อนนำเครื่องมือไปใช้
5. ทดสอบคุณภาพของแบบสอบถาม

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยดำเนินการตามขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. เตรียมเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ แบบสอบถาม
2. ทำหนังสือถึงผู้อำนวยการสถาบันมะเร็งแห่งชาติ ที่จะทำการวิจัย เพื่ออธิบายวัตถุประสงค์ ซึ่งแจ้งรายละเอียดในการเก็บข้อมูล
3. หลังจากผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการ พิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ให้ผู้วิจัยทำการวิจัยได้ ผู้วิจัย จะดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเอง พร้อมผู้ช่วยวิจัย
4. ผู้วิจัยและผู้ช่วยวิจัยแนะนำตนเองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ในการวิจัย สิทธิในการตัดสินใจเข้าร่วม หรือออกเลิกในการตอบแบบสอบถาม การรักษาความลับของกลุ่มตัวอย่าง และขอความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม
5. เมื่อกลุ่มตัวอย่างให้ความร่วมมือ ผู้วิจัยจะแจก แบบสอบถามให้กลุ่มตัวอย่างกรอรายละเอียดด้วยตนเอง อธิบายถึงการตอบแบบสอบถามให้เข้าใจอย่างละเอียด ใช้เวลา ประมาณ 30 นาที
6. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ในเดือนพฤศจิกายน 2556 - ธันวาคม 2557

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาตรวจสอบความเรียบร้อย ความ สมบูรณ์ ความครบถ้วนของข้อมูล และประมวลผล วิเคราะห์ ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา บรรยาย ลักษณะของประชากรที่ศึกษา และกิจกรรมทางกาย ด้วย ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นต้น

สถิติเชิงวิเคราะห์ ได้แก่ สถิติทดสอบไคสแควร์ (Yates' corrected chi-square test, Fisher's exact chi-square test) สถิติวิเคราะห์ถดถอยพหุแบบลอจิสติก (Multivariable logistic regression) เพื่อหาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้านสุขภาพ อนามัย เจริญพันธุ์ และกิจกรรมทางกาย กับการเกิดมะเร็งเต้านม

ผลการศึกษา

ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ศึกษา จำนวน 520 ราย แบ่งออกเป็น ผู้ป่วยมะเร็งเต้านม (cases) จำนวน 260 ราย และกลุ่มควบคุม

ที่ไม่ป่วยด้วยมะเร็งเต้านมจำนวน 260 ราย ส่วนใหญ่มีอายุ ระหว่าง 40-44 ปี (ร้อยละ 60 และ 61.5) สถานภาพสมรส (ร้อยละ 61.9 และ 60.8) ส่วนใหญ่จบศึกษาสูงกว่าระดับ มัธยมศึกษา (ร้อยละ 40 และ 51.5) นับถือพุทธ (ร้อยละ 96.2) ส่วนมากอยู่ภาคกลาง (ร้อยละ 68.2) รองลงมาคือ ภาคตะวันตก (ร้อยละ 18.8) อาชีพลูกจ้าง (ร้อยละ 36.2 และ 33.8) และ รายได้ครอบครัวต่อเดือนอยู่ระหว่าง 15,000-30,000 บาท (ร้อยละ 53.9 และ 48.1) เมื่อเปรียบเทียบปัจจัยดังกล่าว ระหว่าง cases และ controls พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดัง (Table 1)

Table 1 General characteristics of cases and controls.

Characteristics	Cases		Controls		p-value ^a
	No.	%	No.	%	
Age gr. (yrs)					0.971
≤ 29	10	3.9	11	4.2	
30-34	30	11.5	28	10.8	
35-39	64	24.6	61	23.5	
40-44	156	60.0	160	61.5	
Mean (SD)	39.23 (4.38)		39.34 (4.40)		
Min-Max	25-44		25-44		
Marital status					0.105
Single	69	26.6	84	32.3	
Married	161	61.9	158	60.8	
Widowed/Divorced	30	11.5	18	6.9	
Education					0.070
No formal education	10	3.8	8	3.1	
Primary school	67	25.8	52	20.0	
Secondary school	79	30.4	66	25.4	
Higher education	104	40.0	134	51.5	
Religion					1
Buddhism	250	96.2	250	96.2	
Islam	7	2.7	7	2.7	
Christianity	3	1.2	3	1.2	
Region					1
North	1	0.4	1	0.4	
Northeast	11	4.2	11	4.2	
Central	177	68.2	177	68.2	
East	17	6.5	17	6.5	
West	49	18.8	49	18.8	

Table 1 General characteristics of cases and controls (cont.)

Characteristics	Cases		Controls		p-value ^a
	No.	%	No.	%	
South	5	1.9	5	1.9	
Occupation					0.632
Office employee	94	36.2	88	33.8	
Entrepreneur	77	29.5	86	33.1	
Government officer	74	28.5	76	29.2	
Agriculture	15	5.8	10	3.9	
Monthly family income (baht)					0.055
< 10,000	38	14.6	34	13.1	
10,000-15,000	52	20.0	48	18.5	
15,001-30,000	140	53.9	125	48.1	
>30,000	30	11.5	53	20.3	
Mean(SD)	22,964.08 (9,440.43)		23,403.08 (13,649.86)		
Min-Max	7,600-70,000		7,800-64,000		

^aChi-square test

ปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ กิจกรรมทางกาย กับ มะเร็งเต้านม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างหยาบระหว่างปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ อนามัยเจริญพันธุ์ และกิจกรรมทางกาย กับมะเร็งเต้านม พบว่า ประวัติการตั้งครรภ์เป็นมะเร็งเต้านม ประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม ดัชนีมวลกาย อายุ < 14 ปีที่มีประจำเดือน การมีบุตร (parity) เคยแท้งบุตร ใช้ยาคุมกำเนิด บุหรี่มือสอง การใช้วิตามินรวม และกิจกรรมทางกาย มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับมะเร็งเต้านม ($p < 0.05$) ดัง (Table 2) และเมื่อทำการวิเคราะห์ถดถอยโลจิสติก

แบบหลายตัวแปร (Multivariable logistic regression analysis) โดยควบคุมปัจจัยด้านประวัติการตั้งครรภ์เป็นมะเร็งเต้านม ประวัติการเป็นเนื้องอกที่เต้านม ดัชนีมวลกาย อายุ < 14 ปีที่มีประจำเดือน การมีบุตร (parity) เคยแท้งบุตร ใช้ยาคุมกำเนิด บุหรี่มือสอง และการใช้วิตามินรวม พบว่า ปัจจัยด้านกิจกรรมทางกาย ยังคงมีความสัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม โดยกลุ่มที่มีกิจกรรมทางกายระดับต่ำ เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมเป็น 2.82 เท่าเมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีกิจกรรมทางระดับปานกลาง และเมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมหนึ่งๆนั้นๆ พบว่า กลุ่มผู้ป่วยมีค่าเฉลี่ยเวลาที่ใช้มากกว่ากลุ่มปกติ ($p < 0.001$) ดัง (Table 3) และ (Table 4)

Table 2 Crude analysis of characteristics associated with breast cancer.

Characteristics	Cases		Controls		OR _c	95%CI	p-value ^a
	No.	%	No.	%			
Family history of breast cancer							
No	214	82.3	252	96.9	1		
Yes	46	17.7	8	3.1	6.77	3.13-14.66	< 0.001*
History of benign breast tumor							
No	211	81.2	238	96.9	1		
Yes	49	18.8	22	8.5	2.51	1.47-4.29	0.001*

Table 2 Crude analysis of characteristics associated with breast cancer (cont.)

Characteristics	Cases		Controls		OR _c	95%CI		p-value ^a
	No.	%	No.	%				
Body mass index (kg/m ²)								
18.5-22.9	136	52.4	178	68.5	1			
≥23	114	43.8	52	20.0	2.87	1.93-4.27	<	0.001*
<18.5	10	3.8	30	11.5	0.44	0.21-0.92		0.030*
Age at menarche (yrs)								
≥14	175	67.3	119	45.8	1			
<14	85	32.7	141	54.2	2.44	1.71-3.48	<	0.001*
Menopausal								
No	253	97.3	252	96.9	1			
Yes	7	2.7	8	3.1	0.87	0.31-2.44		0.793
Parity								
No	64	24.6	86	33.1	1			
Yes	196	75.4	174	66.9	1.51	1.03-2.22		0.034*
Miscarriage								
No	189	72.7	217	83.5	1			
Yes	71	27.3	43	16.5	1.89	1.24-2.90		0.003*
Breastfeeding								
No	113	43.5	122	46.9	1			
Yes	147	56.5	138	53.1	1.15	0.81-1.62		0.428
Contraceptive use								
No	90	34.6	165	63.5	1			
Yes	170	65.4	95	36.5	3.28	2.29-4.69	<	0.001*
Use of menopausal hormone therapy								
No	257	98.8	258	99.2	1			
Yes	3	1.2	2	0.8	1.50	0.25-9.08		1.000
Active smoking								
No	250	96.2	254	97.7	1			
Yes	10	3.8	6	2.3	1.04	0.59-1.82		0.428
Passive smoking								
No	155	63.1	200	76.9	1			
Yes	105	36.9	60	23.1	2.45	1.33-2.86		0.001*
Multivitamin use								
No	228	88.4	160	64.8	1			
Yes	30	11.6	87	35.2	0.25	0.15-0.39	<	0.001*

Table 2 Crude analysis of characteristics associated with breast cancer (cont.)

Characteristics	Cases		Controls		OR _c	95%CI	p-value ^a
	No.	%	No.	%			
Alcohol consumption							
No	254	97.7	255	98.1	1		
Yes	6	2.3	5	1.9	1.20	0.36-3.99	0.761
Physical activity							
Moderate	116	44.6	132	50.8	1		
Vigorous	21	8.1	57	21.9	0.42	0.24-0.73	0.002*
Mild	123	47.3	71	27.3	1.97	1.34-2.89	0.001*

^aChi-square test, OR_c = crude odds ratio, CI= confidence interval

*Significant at p-value < 0.05

Table 3 Multivariable logistic regression analysis of physical activities associated with breast cancer patients.

Variables	OR _c	95%CI	OR _{adj}	95%CI	p-value
Physical activities					
Moderate	1		1		
Vigorous	0.42	0.24 – 0.73	0.61	0.32 – 1.18	0.145
Mild	1.97	1.34 – 2.89	2.82	1.73 – 4.59	< 0.001

OR_c = crude OR

OR_{adj} = Adjusted OR for history of breast cancer, history of benign breast tumor, BMI, age at menarche, parity, miscarriage, contraceptive use, passive smoking, and multivitamin use

Table 4 Minutes spent in activities on average per day

Variables	Cases		Controls		p-value ^a
	Mean	SD	Mean	SD	
Sedentary activities	213.6	92.4	159.6	86.4	<0.001

^a independent samples t-test

ข้อมูลผู้ป่วยมะเร็งเต้านม

Cases เป็นผู้ป่วยมะเร็งเต้านมที่ได้รับการตรวจวินิจฉัยยืนยันทางห้องปฏิบัติการ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2556 – ธันวาคม 2557 ส่วนมากพบก้อนมะเร็งทั้งสองด้าน

(ร้อยละ 51.9) ชนิดของมะเร็งเต้านมที่พบมากที่สุดได้แก่ invasive ductal carcinoma (ร้อยละ 91.1) และระยะดำเนินโรคส่วนใหญ่ที่พบ อยู่ที่ระดับ 2 (ร้อยละ 45.4) ดัง (Table 5)

Table 5 Morbidity data of cases.

Variables	Cases	
	No.	%
Location		
Left	61	23.5
Right	64	24.6
Both	135	51.9
Types		
Ductal carcinoma	4	1.5
Invasive ductal carcinoma	237	91.1
others	19	7.4
Stage		
1	28	10.8
2	118	45.4
3	96	36.9
4	18	6.9

วิจารณ์และสรุปผล

ประชากรที่ศึกษา เป็นสตรีไทยที่มารับบริการที่สถาบันมะเร็งแห่งชาติ ส่วนใหญ่มีอายุ 40-44 ปี หรือราวร้อยละ 60 เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านประชากร พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายคลึงกัน เมื่อควบคุมปัจจัยด้านพฤติกรรมสุขภาพ และอนามัยเจริญพันธุ์ที่สัมพันธ์กับมะเร็งเต้านม พบว่า กลุ่มที่มีกิจกรรมทางกายระดับต่ำ เสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมถึง 2.82 เท่า เมื่อเทียบกับกลุ่มที่มีกิจกรรมทางกายในระดับปานกลาง มีหลายงานวิจัยที่สนับสนุนผลการศึกษานี้^{3-13,17-23} โดยมีเหตุผลว่า กิจกรรมทางกายในระดับที่เหมาะสมจะช่วยส่งเสริมการทำงานของหัวใจและระบบทางเดินหายใจ (cardiorespiratory function and improve vigor and vitality)^{24,25} และประโยชน์ของการออกกำลังกาย จะส่งผลให้ร่างกายแข็งแรง (physical function) มีความยืดหยุ่น และส่งเสริมในด้านคุณภาพชีวิต^{11,26} องค์การอนามัยโลก แนะนำให้ผู้ใหญ่ อายุ 18-64 ปี ควรมีกิจกรรมทางกายในระดับปานกลาง อย่างน้อย 150 นาที/สัปดาห์ และถ้าเป็นระดับสูง (vigorous intensity) อย่างน้อย 75 นาที/สัปดาห์¹⁶

ฉะนั้นควรมีมาตรการในการเฝ้าระวังปัจจัยดังกล่าว และดำเนินการได้แก่ การรณรงค์ส่งเสริมการออกกำลังกายในกลุ่มเสี่ยง การให้ความรู้ถึงประโยชน์ และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการออกกำลังกาย และกิจกรรมทางกาย และวิธีการเบื้องต้นในการปรับเปลี่ยนวิถีชีวิตที่ช่วยส่งเสริมสุขภาพ (healthy lifestyle)¹ จะช่วยป้องกันและลดการเกิดมะเร็งเต้านมลงได้ในระดับหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณผู้ที่เข้าร่วมในการวิจัยทุกท่านที่สละเวลา และให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. คณะกรรมการจัดทำแผนการป้องกันและควบคุมโรคมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข. แผนการป้องกันและควบคุมโรคมะเร็งแห่งชาติ พ.ศ. 2556-2560. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2556.
2. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข. การสาธารณสุขไทย 2551-2553. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก, 2554.
3. Bernstein L, Henderson BE, Hanisch R, Sullivan-Halley J, Ross RK. Physical exercise and reduced risk of breast cancer in young women. *J Natl Cancer Inst* 1994; 86: 1403–1408.
4. Carpenter CL, Ross RK, Paganini-Hill A, Bernstein L. Lifetime exercise activity and breast cancer risk among post-menopausal women. *Br J Cancer* 1999; 80: 1852–1858.
5. Gilliland FD, LiYF, Baumgartner K, CrumleyD, Samet JM. Physical activity and breast cancer risk in hispanic and non-hispanic white women. *Am J Epidemiol* 2001; 154: 442–450.
6. IARC. Weight control and physical activity. Lyon: IARC Press, 2002.
7. McTiernan A, Kooperberg C, White E, et al. Recreational physical activity and the risk of breast cancer in postmenopausal women: the Women's Health Initiative Cohort Study. *JAMA* 2003; 290: 1331–1336.
8. Yang D, Bernstein L, Wu AH. Physical activity and breast cancer risk among Asian-American women in Los Angeles: a case-control study. *Cancer* 2003; 97: 2565–2575.
9. Holmes MD, Chen WY, Feskanich D, Kroenke CH, Colditz GA. Physical activity and survival after breast cancer diagnosis. *JAMA* 2005; 293: 2479–2486.
10. Patel A, Bernstein L. Physical activity and cancer incidence: breast cancer. In: *Cancer prevention and*

- management through exercise and weight control. Boca Raton: CRC Press, 2006.
11. American Cancer Society. Physical Activity and the Cancer Patient. Retrieved December 27, 2007, Available from http://www.cancer.org/docroot/MIT/content/MIT_2_3x_physical_activity_and_the_cancer_patient.asp?sitearea=MIT.
 12. Lahmann P, Friedenreich C, Schuit A, et al. Physical activity and breast cancer risk: the European prospective investigation into cancer and nutrition. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2007; 16: 36–42.
 13. Slattery ML, Edwards S, Murtaugh MA, et al. Physical activity and breast cancer risk among women in the southwestern United States. *Ann Epidemiol* 2007; 17: 342–353.
 14. Levy PS, Lemeshow S. Sampling for Health Professionals: Lifetime Learning Publications; 1980.
 15. Umpan W. Relation between oral contraceptive use and breast cancer in women [Thesis]. Bangkok: Mahidol University; 2004.
 16. World Health Organization. Global physical activity questionnaire (GPAQ): analysis guide. Geneva: WHO. Available from <http://www.who.int/chp/steps/GPAQ/en/>.
 17. Awatef M, Olfa G, Rim C, Asma K, Kacem M, Makram H, et al. Physical activity reduces breast cancer risk: a case-control study in Tunisia. *Cancer Epidemiol* 2011; 35: 540-4.
 18. Kang SJ. The association of physical activity and colorectal and breast cancer: The Fifth Korea National Health and Nutrition Examination Survey (2008-2011). *J Exerc Rehabil* 2015; 11: 155-160.
 19. Si S, Boyle T, Heyworth J, Glass DC, Saunders C, Fritschi L. Lifetime physical activity and risk of breast cancer in pre-and post-menopausal women. *Breast Cancer Res Tr* 2015; 152: 449-462.
 20. Vardar-Yagli N, Sener G, Saglam M, Calik-Kutukcu E, Arikan H, Inal-Ince D, et al. Associations among physical activity, comorbidity, functional capacity, peripheral muscle strength and depression in breast cancer survivors. *Asian Pac. J. Cancer Prev* 2015; 16: 585-589.
 21. Wu Y, Zhang D, Kang S. Physical activity and risk of breast cancer: a meta-analysis of prospective studies. *Breast Cancer Res Tr* 2013; 137: 869-882.
 22. Zhong S, Jiang T, Ma T, Zhang X, Tang J, Chen W, et al. Association between physical activity and mortality in breast cancer: a meta-analysis of cohort studies. *Eur J Epidemiol* 2014; 29: 391-404.
 23. Nelson SH, Marinac CR, Patterson RE, Nechuta SJ, Flatt SW, Caan BJ, et al. Impact of very low physical activity, BMI, and comorbidities on mortality among breast cancer survivors. *Breast Cancer Res Tr* 2016; 155: 551-557.
 24. Schmitz KH, Holtzman J et al. Controlled physical activity trials in cancer survivors: a systematic review and meta-analysis. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2005; 14: 1588–1595.
 25. Voege P, Bower JE, Stanton AL, Ganz PA. Motivations associated with physical activity in young breast cancer survivors. *Psychol Health Med* 2015; 20: 393-399.
 26. Kolden GG, Strauman TJ et al. A pilot study of group exercise training (GET) for women with primary breast cancer: feasibility and health benefits. *Psychooncology* 2002; 11: 447–456.

ฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยอบเชยต่อเชื้อรา *Penicillium citrinum* และ *Aspergillus flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่นในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี

Antifungal Activity of Cinnamon Essential Oils on *Penicillium citrinum* and *Aspergillus flavus* Isolated from Rubber Sheets in Ubon Ratchathani

ธัญญ์วาริน ชูวัฒน์วรกุล¹ พิชญ์ภรณ์ สุวรรณภูมิ² สมจินตนา ทวีพานิชย์³ สายสมร ลำลอง⁴
 Thanwarin Chuwatworakoon¹ Pitchayaporn Suwanakood² Somjintana Taveepanich³
 Saisamorn Lumlong⁴

Received: 15 August 2016 ; Accepted: 23 December 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงชนิดของเชื้อราที่มีการปนเปื้อนบนยางแผ่นในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอเขื่องใน อำเภอตระการพืชผล และอำเภอน้ำยืน และศึกษาถึงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยอบเชยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากยางแผ่นเปรียบเทียบกับสารเคมีแคปแทนที่ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อรา พบว่า เชื้อราส่วนใหญ่ที่พบได้บนยางแผ่นมี 5 ลักษณะ โดยพบเชื้อรา *Aspergillus flavus* มากที่สุด รองลงมาได้แก่ *Penicillium citrinum* และ *A. tamarii* เมื่อนำน้ำมันหอมระเหยอบเชยมาทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่น ด้วยวิธี paper disc diffusion พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ได้ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด คือ 25,000 พีพีเอ็ม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญที่ 48 ชั่วโมงเท่ากับ 14.47 และ 9.62 มิลลิเมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ น้ำมันหอมระเหยอบเชยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิดได้ดีกว่าสารเคมีแคปแทน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ : ยางแผ่น เชื้อรา น้ำมันหอมระเหย อบเชย

Abstract

The aim of this research was to identify the fungal species contaminated on rubber sheets in Ubon Ratchathani including Mueang, Khueang Nai, Trakan Phuet Phon and Nam Yuen Districts. The efficiency of cinnamon essential oil used for inhibiting the growth of fungi isolated from the rubber sheets was also investigated and compared with captan. The results showed that 5 species were the most fungi found on the rubber sheets. *Aspergillus flavus* was the most, followed by *Penicillium citrinum* and *A. tamarii*, respectively. Paper disc diffusion was used to determine the effect of cinnamon oil to inhibit the growth of *P. citrinum* and *A. flavus*. The results showed that cinnamon oil could inhibit the growth of *P. citrinum* and *A. flavus* at the minimum concentration of 25,000 ppm with the inhibition zone of 14.47 and 9.62 mm, respectively. Moreover, it was found that cinnamon oil was an effective compound in inhibiting the growth of two fungal species better than captan. The difference was statistically significant at the 95% confidence level.

Keywords : rubber sheet, fungi, essential oils, cinnamon

¹ นิสิตปริญญาเอก, ภาควิชาเคมี, ²อาจารย์, ภาควิชาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ, ^{3,4}อาจารย์, ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34190

¹ Ph.D. student, Department of Chemistry, ²Lecturer, Department of Biological Science, ^{3,4}Lecturer, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand.

* Corresponding Author; Saisamorn Lumlong, Department of Chemistry, Faculty of Science, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani 34190, Thailand. g3936619@hotmail.com

บทนำ

ยางพาราจัดเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญอย่างหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในปี พ.ศ. 2557 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีเนื้อที่ปลูกยางพารา 4,742,643 ไร่ โดยเฉพาะจังหวัดอุบลราชธานีมีพื้นที่ในการปลูกยางพารา 442,367 ไร่ เนื้อที่กรีดยางได้ 292,919 ไร่ ได้ผลผลิต 62,925 ตัน และมีผลผลิต 215 กิโลกรัมต่อไร่¹ ซึ่งเกษตรกรชาวสวนยางส่วนใหญ่จะกรีดยางและขายผลผลิตยางพาราในลักษณะของยางก้อนถ้วยและยางแผ่นดิบ² โดยในขั้นตอนการผลิตยางและการจัดเก็บยางอาจจะมีการปนเปื้อนของเชื้อราขึ้น ส่งผลทำให้ได้ยางแผ่นที่มีคุณภาพและราคาตลาดต่ำลง^{3,4} นอกจากนี้ยางแผ่นที่มีการปนเปื้อนของเชื้อรายังอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของเกษตรกรและคนงานในโรงงานยางแผ่นรมควัน⁵ โดยมีรายงานการวิจัยถึงชนิดของเชื้อราที่มีการปนเปื้อนบนยางแผ่นในพื้นที่ภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งพบว่าเชื้อราส่วนใหญ่ที่พบคือ เชื้อรา *Aspergillus* spp. และ *Penicillium* spp.^{6,7} ในขณะที่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชนิดของเชื้อราที่มีการปนเปื้อนบนยางแผ่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือยังไม่ค่อยมีผู้สนใจทำการศึกษามากนัก โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานีที่มีการปลูกยางเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาถึงชนิดของเชื้อราที่มีการปนเปื้อนบนยางแผ่นโดยการสุ่มเก็บตัวอย่างจากแหล่งรับซื้อยางแผ่นจำนวน 4 แหล่ง ในจังหวัดอุบลราชธานี ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอเขื่องใน อำเภอตระการพืชผล และอำเภอน้ำยืน จากนั้นจึงได้มีการนำเอาน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่มีรายงานการวิจัยก่อนหน้าว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้หลายชนิด เช่น *A. flavus*, *A. niger*, *Alternaria alternata*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium* sp., *Rhizopus stolonifer*, *A. fumigatus*, *A. terreus*, *A. oryzae*, *Fusarium moniliforme*, *F. solani*, *Rhizomucor* sp. เป็นต้น⁸⁻¹³ มาใช้ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากยางแผ่นเปรียบเทียบกับสารเคมีแคปแทนที่ใช้เป็นสารยับยั้งเชื้อราเพื่อเป็นแนวทางในการนำพืชสมุนไพรมาใช้ป้องกันเชื้อราบนยางแผ่น

วิธีการศึกษา

1. การแยกเชื้อราจากยางแผ่น

เก็บตัวอย่างยางแผ่นที่มีเชื้อราจากแหล่งรับซื้อยางแผ่นจำนวน 4 แหล่งในจังหวัดอุบลราชธานี ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอเขื่องใน อำเภอตระการพืชผล และอำเภอน้ำยืน นำมาตัดและซังให้ได้น้ำหนักประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น

ปลอดเชื้อปริมาตร 90 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที นำสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรามาทำการเจือจางแบบสิบเท่า (ten-fold serial dilution) ปิเปตสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อราที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อ Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ผสมคลอแรมเฟนิคอลความเข้มข้น 50 มิลลิกรัม/ลิตร ทำการกระจายเชื้อด้วยเทคนิค spread plate ป่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ดัดแปลงจากงานวิจัยของ สุพรรณษา¹⁴ จากนั้นทำการแยกเชื้อราให้บริสุทธิ์ นำเชื้อราบริสุทธิ์ที่แยกได้ไปทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา และคัดเลือกเชื้อราที่พบมากที่สุด 3 อันดับแรกบนยางแผ่นส่งไปจำแนกชนิดในห้องปฏิบัติการราวิทยา ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ ด้วยวิธี Molecular technique โดยการเพิ่มปริมาณ DNA ด้วยเทคนิค Polymerase Chain Reaction (PCR) ในตำแหน่งบางส่วนของยีน beta-tubulin ทำการตรวจหา DNA ผลผลิตด้วยเทคนิค Agarose gel electrophoresis โดยใช้ 1% agarose gel ย้อมด้วย ethidium bromide จากนั้นตรวจหา DNA ภายใต้แสง ultraviolet ทำการตรวจหาลำดับเบสนิวคลีโอไทด์ด้วยเครื่องหาลำดับเบสอัตโนมัติ และวิเคราะห์เปรียบเทียบลำดับเบสนิวคลีโอไทด์ที่ได้กับลำดับเบสของเชื้อราที่ใกล้เคียงกันในฐานะข้อมูล

2. การเตรียมน้ำมันหอมระเหย

นำผองอบเชยมาทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่น ในอัตราส่วนสมุนไพรต่อน้ำกลั่น 1 : 10 เป็นเวลา 12 ชั่วโมง สกัดน้ำมันหอมระเหยออกจากชั้นน้ำโดยใช้ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน จากนั้นนำไปกำจัดน้ำที่เหลืออยู่ด้วยการเติมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส นำไปกรองและระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน จากนั้นนำไปซังหาน้ำหนักและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ (%yield) ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Li และคณะ¹⁵ และ Kasim และคณะ¹⁶

3. การทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากยางแผ่นโดยวิธี paper disc diffusion

3.1 วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design)

ชุดการทดลอง
ชุดที่ 1 ชุดควบคุมแบบบวก (positive control) คือ สารเคมีแคปแทนที่ระดับความเข้มข้น 3,125 พีพีเอ็ม
ชุดที่ 2 ชุดควบคุมแบบลบ (negative control) คือ ตัวทำละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (dimethyl sulfoxide)

และน้ำกลั่น

ชุดที่ 3 ชุดทดลอง คือ น้ำมันหอมระเหย อบเชย ที่ความเข้มข้น 50,000 25,000 12,500 6,250 และ 3,125 พีพีเอ็ม

ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ บันทึกผลโดยสังเกตลักษณะของบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่เกิดขึ้น และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโต (inhibition zone) ของเชื้อรา ที่เวลา 48 ชั่วโมง หลังการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.2 นำน้ำมันหอมระเหยอบเชยมาทำการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา โดยเลือกเชื้อราที่นำมาทดสอบ คือ *P. citrinum* และ *A. flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่น โดยการนำเชื้อราทดสอบมาเลี้ยงบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นเตรียมสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อราแต่ละชนิด ให้มีความเข้มข้นของสปอร์ที่ 10^6 สปอร์/มิลลิลิตร ปิเปตสารแขวนลอยของสปอร์เชื้อรา ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดอาหาร Sabouraud's Dextrose Agar (SDA; 1% peptone, 4% dextrose, 1.3% agar) ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้ผสมกัน เททับลงบนอาหาร SDA (1% peptone, 4% dextrose, 1.5% agar) ที่แข็งตัวแล้วในจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทิ้งไว้ให้อาหารแข็ง นำ paper disc ที่หยดน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่เจือจางด้วยตัวทำละลายใดเมทิลซัลฟอกไซด์ปริมาตร 10 ไมโครลิตร มาวางบนผิวหน้าอาหาร บ่มเชื้อ และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา ดัดแปลงจากงานวิจัยของแสงระวี¹⁷, ปิยะวดี¹⁸ และ Pompimon และคณะ¹⁹

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P < 0.05$)

ผลการศึกษา

1. การแยกเชื้อราจากยางแผ่น

จากการแยกชนิดของเชื้อราจากตัวอย่างยางแผ่นจากแหล่งรับซื้อยางแผ่นจำนวน 4 แหล่งในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า เชื้อราส่วนใหญ่ที่สามารถพบได้บนยางแผ่นมี 5 ลักษณะ จำนวน 169 ไอโซเลต โดยพบเชื้อรา *Aspergillus* ลักษณะที่ 1 มากที่สุด จำนวน 54 ไอโซเลต รองลงมาได้แก่ *Penicillium* ลักษณะที่ 1 จำนวน 41 ไอโซเลต *Aspergillus* ลักษณะที่ 2

จำนวน 39 ไอโซเลต *Aspergillus* ลักษณะที่ 3 จำนวน 27 ไอโซเลต และ Unidentified genus จำนวน 8 ไอโซเลต ตามลำดับ จากนั้นคัดเลือกเชื้อราที่พบมากที่สุด 3 อันดับแรกบนยางแผ่น คือ เชื้อรา *Aspergillus* ลักษณะที่ 1 ได้แก่ ไอโซเลต T2 รหัส 23 *Penicillium* ลักษณะที่ 1 ได้แก่ ไอโซเลต NY1 รหัส 40 และ *Aspergillus* ลักษณะที่ 2 ได้แก่ ไอโซเลต K2 รหัส 27 ส่งไปจำแนกชนิด ณ ห้องปฏิบัติการราวิทยา ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ โดยจากข้อมูลการเปรียบเทียบความเหมือนของลำดับเบสนิวคลีโอไทด์ beta-tubulin ของ ไอโซเลต T2 รหัส 23 พบว่า มีเปอร์เซ็นต์ความเหมือนกับเชื้อรา *Aspergillus flavus* เท่ากับ 100% ส่วน ไอโซเลต NY1 รหัส 40 พบว่ามี เปอร์เซ็นต์ความเหมือนกับเชื้อรา *Penicillium citrinum* เท่ากับ 99% และ ไอโซเลต K2 รหัส 27 พบว่ามี เปอร์เซ็นต์ความเหมือนกับเชื้อรา *Aspergillus tamarii* เท่ากับ 99% (Table 1 และ Figure 1)

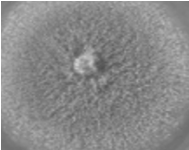
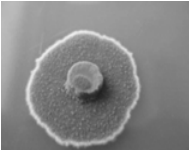
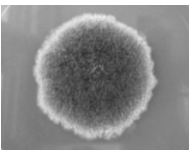

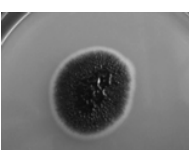
2. การสกัดน้ำมันหอมระเหยอบเชยด้วยวิธีการกลั่น

จากการนำผงอบเชยมาทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่น พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยมีสีเหลือง มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิต เท่ากับ 0.88%

3. การทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราที่แยกได้จากยางแผ่นโดยวิธี paper disc diffusion

จากการทดสอบประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่ระดับความเข้มข้น 50,000 25,000 12,500 6,250 และ 3,125 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่น พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ได้ที่ค่าความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด คือ 25,000 พีพีเอ็ม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณยับยั้งการเจริญที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 14.47 ± 0.64 และ 9.62 ± 0.85 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันหอมระเหยอบเชยกับสารเคมีแคปแทนที่ระดับความเข้มข้น 3,125 พีพีเอ็ม ซึ่งใช้เป็นสารเคมีควบคุม พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราทั้ง 2 ชนิด ได้ดีกว่าสารเคมีแคปแทน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนตัวทำละลายใดเมทิลซัลฟอกไซด์ และน้ำกลั่นที่ใช้เป็นสารควบคุมไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา (Table 2 และ Figure 2)

Table 1 Morphological characteristics of fungi isolated from rubber sheets

No.	Colony of fungi	Morphological characteristics				Identification	No. of isolates
		Surface	Reverse	Character of hyphae	Conidia		
1.		green	pale yellow	septate	globose	<i>Aspergillus flavus</i>	54
2.		dull green	pale yellow	septate	globose	<i>Penicillium citrinum</i>	41
3.		dark green	yellow	septate	globose	<i>Aspergillus tamarii</i>	39
4.		green	orange	septate	globose	<i>Aspergillus</i> sp.	27
5.		black	black	septate	oval	Unidentified genus	8

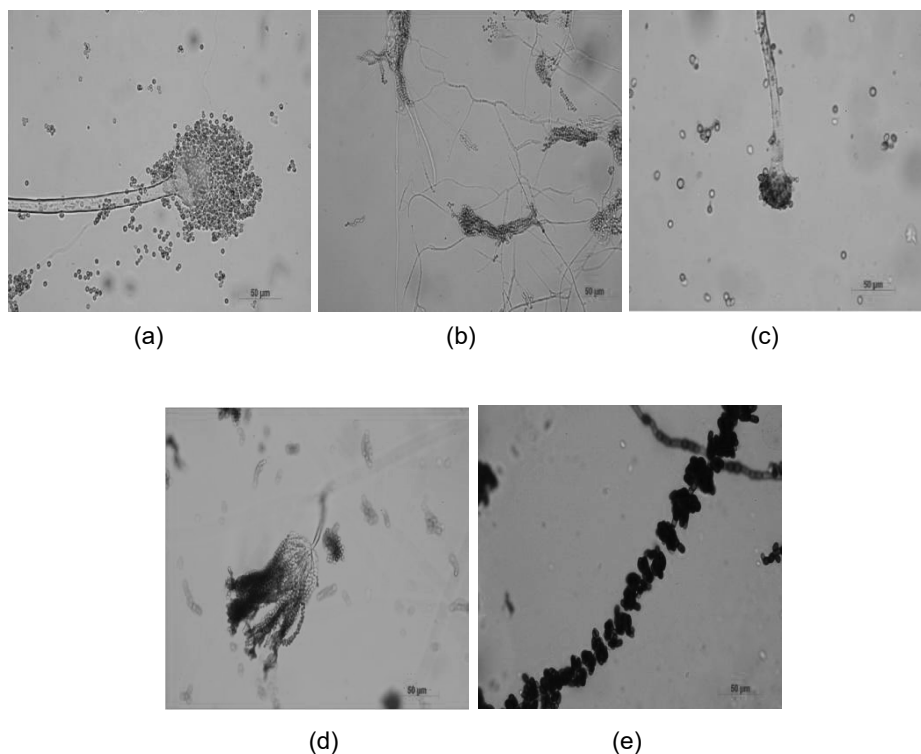


Figure 1 Microscopic morphology of fungi under compound light microscope (40X) (a) *Aspergillus flavus* (b) *Penicillium citrinum* (c) *Aspergillus tamarii* (d) *Aspergillus* sp. (e) Unidentified genus

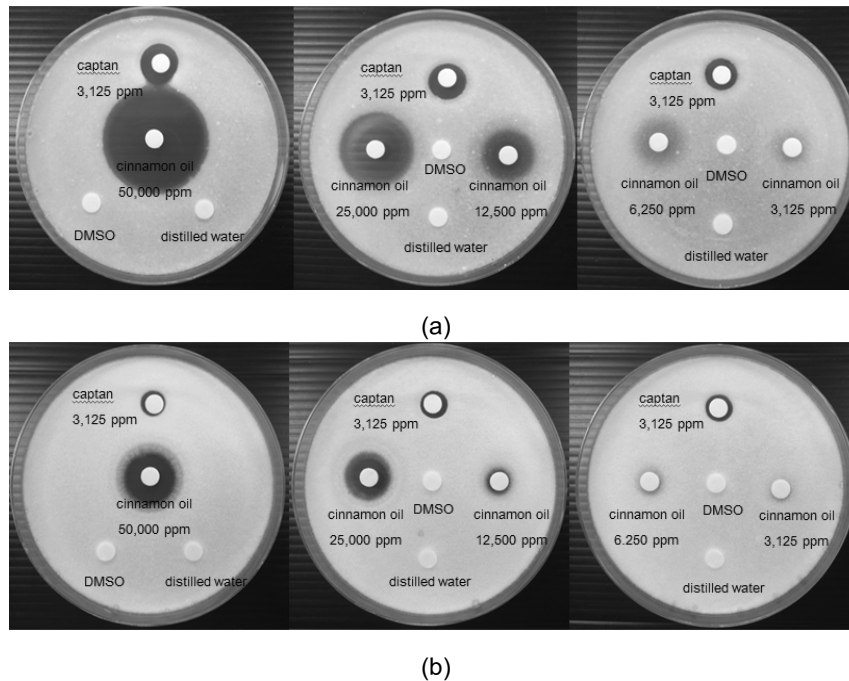


Figure 2 Inhibition zone of cinnamon oil in various concentrations (a) *P. citrinum* (b) *A. flavus*

Table 2 Efficiency of cinnamon oil for antifungal *P. citrinum* and *A. flavus* at 48 hr.

Concentration (ppm)	Inhibition zone of antifungal ±SD (mm)	
	<i>P. citrinum</i> ^{1/}	<i>A. flavus</i> ^{1/}
50,000	28.97±	14.06±
25,000	14.47±	9.62±
12,500	16.58*±	7.26*±
6,250	0 ^a	0 ^a
3,125	0 ^a	0 ^a
3,125 (captan)	10.81±	8.16±
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	0 ^a	0 ^a
Distilled water	0 ^a	0 ^a

^{1/} Means (n=3) within a column followed by the same letter are not significantly different at P < 0.05, ^{*} Inhibition zone has white thin mycelium.

วิจารณ์และสรุปผล

จากการแยกชนิดของเชื้อราจากตัวอย่างยางแผ่นจากแหล่งรับซื้อยางแผ่นจำนวน 4 แหล่งในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า เชื้อราส่วนใหญ่ที่พบได้บนยางแผ่นมี 5 ลักษณะ โดยพบเชื้อรา *A. flavus* มากที่สุด รองลงมาได้แก่ *P. citrinum* และ *A. tamarii* ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีรายงานเกี่ยวกับชนิดของเชื้อราที่พบได้บนยางแผ่น เช่น *P. citrinum*, *A. niger*, *A. ochraceus*, *A. flavus*, *A. fumigatus*, *Cladosporium cladosporioidis*, *Colletotrichum* sp. , *Aspergillus* spp.,

Fusarium spp., *Penicillium* spp., *Mucor* sp., *Trichoderma* sp. และ *Rhizopus* sp. เป็นต้น^{14,20,21}

เมื่อนำอบเชยมาทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่น พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยมีสีเหลือง มีเปอร์เซ็นต์ผลผลิต เท่ากับ 0.88% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Li และ คณะ¹⁵ ที่รายงานว่า เปอร์เซ็นต์ผลผลิตของน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่สกัดด้วยวิธีการกลั่นด้วยน้ำมีค่าอยู่ในช่วง 0.72-3.08% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งของอบเชยที่นำมาใช้ในการสกัด และจากการทดสอบ

ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่ระดับความเข้มข้น 50,000 25,000 12,500 6,250 และ 3,125 พีพีเอ็ม ตามลำดับ ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ที่แยกได้จากยางแผ่น พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *P. citrinum* ได้ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด คือ 12,500 พีพีเอ็ม โดยสามารถสังเกตเห็นบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างชัดเจนที่ 24 ชั่วโมง แต่เมื่อสังเกตผลการทดลองที่ 48 ชั่วโมงพบว่า มีเส้นใยบางๆจากบริเวณขอบของบริเวณยับยั้งการเจริญกลับเข้ามาในบริเวณที่ยับยั้งการเจริญ ในขณะที่ระดับความเข้มข้น 25,000 พีพีเอ็ม สามารถสังเกตเห็นบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างชัดเจนที่ 24 ชั่วโมง และเมื่อวัดผลการทดลองที่ 48 ชั่วโมง พบว่ายังสามารถมองเห็นบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างชัดเจนแต่มีขนาดของบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราลดลง สำหรับเชื้อรา *A. flavus* พบว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่ำที่สุด คือ 25,000 พีพีเอ็ม โดยสามารถสังเกตเห็นบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างชัดเจนที่ 24 ชั่วโมง และเมื่อวัดผลการทดลองที่ 48 ชั่วโมง พบว่ายังสามารถมองเห็นบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างชัดเจนแต่มีขนาดของบริเวณยับยั้งการเจริญของเชื้อราลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำมันหอมระเหยอบเชยมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยอบเชยที่ดีที่สุดคือ 25,000 พีพีเอ็ม สอดคล้องกับรายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ที่ระบุว่า น้ำมันหอมระเหยอบเชยมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา *P. citrinum* และ *A. flavus* ได้ เนื่องจากในน้ำมันหอมระเหยอบเชย มีสาร cinnamaldehyde เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารที่ออกฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา^{22,8,23,24} โดย cinnamaldehyde ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแบบถาวรของลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น การสูญเสียความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของผนังเซลล์ การสร้างพลาสมาเมมเบรนเกิดการหยุดชะงัก ไมโทคอนเดรียถูกทำลาย เกิดการพับกันของเซลล์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้เกิดจากการที่ cinnamaldehyde อาจจะไปรบกวนปฏิกิริยาของเอนไซม์ของการสังเคราะห์ผนังเซลล์จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาและการเจริญเติบโตของเชื้อรา²⁵ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bang และคณะ²⁶ ที่พบว่า cinnamaldehyde มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อรา โดยการควบคุมการสังเคราะห์ β -(1,3)-glucan และไคตินซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของเชื้อรา

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. ยางพารา. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2557. สืบค้นจาก URL: http://www.oae.go.th/download/download_journal/2558/yearbook57.pdf 25 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
2. สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. ผลของการศึกษายางพาราของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สถานการณ์ยางพาราและการปรับตัวของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. สืบค้นจาก URL: <http://eris.nesdb.go.th/pdf/รายงานยางพารา.pdf> 22 กรกฎาคม พ.ศ.2559.
3. ปรีดีเปรม ทศนกุล. เกณฑ์ในการรับซื้อยางจากเกษตรกรจตุรบรรณยางและเงื่อนไขการผลิตตามโครงการส่งเสริมการใช้ยางในหน่วยงานภาครัฐ. วารสารยางพารา ตุลาคม-ธันวาคม (23):2558 สืบค้นจาก URL: http://www.rubberthai.com/emag/files/Y_2566/ISSUE_4/FILE/f17022016-045339_23full.pdf 21 กรกฎาคม พ.ศ. 2559.
4. Esuruoso OF. Fungi that cause mouldiness of processed sheet rubber in western Nigeria. Mycopathol Mycol Appl 1970;42 (1-2):187-89.
5. ประภัสสร อักษรพันธ์, วีระพร ศุทธาภรณ์, วราภรณ์ เลิศพูนวิไลกุล. ปัจจัยคุกคามสุขภาพ จากการทำงานและภาวะสุขภาพตามความเสี่ยงของคนงานโรงงานยางแผ่นรมควัน. วารสารพยาบาลสาร 2555;39(3):26-37.
6. อริญ หันพงศ์กิตติกุล, เสาวลักษณ์ พงษ์ไพจิตร, จริยา สากโยธิน, สุพรรณษา ชาญด้วยกิจ, ไกรยศ แซ่ลิ้ม, ศิริสุข ตัวสุข. การหาสาเหตุและการป้องกันการเจริญของเชื้อราบนยางแผ่น. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. สืบค้นจาก URL: http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=RDG485006930 มิถุนายน พ.ศ. 2559.
7. กิตติกันต์ กุแก้ว. ความเป็นไปได้ในการใช้ สารเคมียับยั้งการเจริญของราบนยางแผ่นดิบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา). บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2554.
8. ชุติมณฑน์ พลอยประดับ, ดุชนิ ธนะบริพัฒน์, จำรูญ เล้าสินวัฒนา. ฤทธิ์การยับยั้งเชื้อราของน้ำมันหอมระเหยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อ *Aspergillus flavus* IMI 242684. ใน: เอกสารการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย

- ขอนแก่น. ขอนแก่น; 2557. หน้า 677-83.
9. อุดมลักษณ์ สุขอิตตะ, วิชัย หุทัยธนาสันต์, วลัยรัตน์ จันทรานนท์, อุไรวรรณ ดิลกคุณานันท์, ภาณุวัฒน์ สรรพกุล. การศึกษาประสิทธิภาพของน้ำมันกานพลู น้ำมันอบเชย และการเสริมฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคหลังการเก็บเกี่ยวขององุ่น. ใน: เรื่องเติมการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ; 2551. หน้า 497-504.
 10. ภัศนันท์ หิรัญ, อรพิน เกิดชูชื่น, ณีฎฐา เลหากุลจิตต์. อิทธิพลของน้ำมันหอมระเหยต่อการยับยั้งเชื้อรา *Rhizopus stolonifer*, *Cladosporium herbarum* และ *Penicillium* sp. Agricultural Sci J 2009;40(3)(Suppl.):29-32.
 11. ภัศนันท์ หิรัญ, อรพิน เกิดชูชื่น, ณีฎฐา เลหากุลจิตต์. การยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus* spp. โดยน้ำมันหอมระเหย กานพลูและอบเชย. Agricultural Sci J 2010;41(3/1)(Suppl.):21-4.
 12. Wahegaonkar NK, Shirurkar DD. Antifungal activity of selected plant derived oils and some fungicides against seed borne fungi of maize. Euro J Exp Bio 2012;2(5):1693-696.
 13. Gupta C, Garg AP, Uniyal RC, Kumari A. Comparative analysis of the antimicrobial activity of cinnamon oil and cinnamon extract on some food-borne microbes. Afr J Microbiol Res 2008;2(9):247-51.
 14. สุพรรณษา ชาญด้วยกิจ. การควบคุมการเจริญของเชื้อราบนยางพาราแผ่นโดยใช้สารเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 2551.
 15. Li YQ, Kong DX, Wu H. Analysis and evaluation of essential oil components of cinnamon barks using GC-MS and FTIR spectroscopy. Ind Crops Prod 2013;41:269- 78.
 16. Kasim NN, Ismail SNAS, Masdar ND, Hamid FA, Nawawi WI. Extraction and potential of cinnamon essential oil towards repellency and insecticidal activity. IJSRP 2014;4(7) :612-17.
 17. แสงระวี แก้วเมืองฝาง. การตรวจหาสารที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อราในพืชสมุนไพร 12 ชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เชียงใหม่;2543.
 18. ปิยะวดี เจริญวัฒนา. ประสิทธิภาพของสารสกัดพลูในการยับยั้งเชื้อรา *Aspergillus flavus*. Agricultural Sci J 2007;38(6)(Suppl.):50-3.
 19. Pompimon W, Jomduang J, Prawat U, Mankhetkorn S. Anti-*Phytophthora capsici* activities and potential use as antifungal in agriculture of *Alpinia galanga* Swartz, *Curcuma longa* Linn, *Boesenbergia pandurata* Schut and *Chromolaena odorata*: bioactivities guided isolation of active ingredients. Am J Agri & Biol Sci 2009;4(1):83-91.
 20. Dayaratne WC, Munasinghb HL. Mould contamination of rubber. Q JI Rubb Res Inst Ceylon 1971;48:136-46.
 21. Shamsi S, Chowdhury P. Mycoflora associated with rubber sheets and its management by common salt (sodium chloride). J Asiat Soc Bangladesh Sci 2014;40(1):79-87.
 22. Singh G, Maurya S, deLampasona MP, Catalan CAN. A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents. Food Chem Toxicol 2007;45:1650-661.
 23. Simic A, Sokovic MD, Ristic M, Jovanovic SG, Vukojevic J, Marin PD. The chemical composition of some Lauraceae essential oils and their antifungal activities. Phytother Res 2004;18:713-17.
 24. Vidyasagar GM, Tabassum N. Antifungal investigations on plant essential oils. a review. Int J Pharm Pharm Sci 2013;5(2):19-28.
 25. Xing F, Hua H, Selvaraj JN, Zhao Y, Zhou L, Liu Y et al. Growth inhibition and morphological alterations of *Fusarium verticillioides* by cinnamon oil and cinnamaldehyde. Food Control 2014;46:343-50.
 26. Bang KH, Lee DW, Park HM, Rhee YH. Inhibition of fungal cell wall synthesizing enzymes by *trans*-cinnamaldehyde. Biosci Biotechnol Biochem 2000;64(5): 1061-063.

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 เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิม หรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย 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 ".rtf" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ควรสั้น กระชับ และสื่อเป้าหมายหลังของงานวิจัย ไม่ใช้คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

ชื่อผู้พิมพ์ [Author(s)] และที่อยู่ ให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และระบุตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงาน หรือสถาบันที่สังกัด และ E-mail address ของผู้พิมพ์ไว้เป็นเชิงอรรถของหน้าแรก เพื่อกองบรรณาธิการสามารถติดต่อได้

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม ความยาวไม่เกิน 250 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรใช้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปีที่ทำทดลอง วัสดุ อุปกรณ์ สิ่งื่อนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวการสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่องโดยเรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายสั้น ๆ เป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 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

พิจารณ์ เจริญศรี. การปรับความพร้อมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารก่อนร่นเข้าสู่โลกกาวิวัฒน์ครั้งใหม่. นักบริหาร 2547;24(2): 31-6

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการสัมมนา เดือน (ย่อ 3 ตัว) วันที่; เมืองที่สัมมนา, ประเทศ. เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์. P.1561-5

ตัวอย่าง: Bengtsson S, solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security and security in medical infromatics. Ln: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Reinhoff O, editors. MEDINFO 92. Proceodings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switzerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศรินทร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

รูปแบบ: ชื่อพจนานุกรม. พิมพ์ครั้งที่. เมืองหรือสถานที่พิมพ์; ปีที่พิมพ์. หน้า.

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 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 ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสารอิเล็กทรอนิกส์ [หรือ serial online] ปีที่พิมพ์เอกสาร ถ้าจำเป็นระบุเดือนด้วย; Vol no (ฉบับที่): [จำนวนหน้าจากการสืบค้น]. ได้จาก: URL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> วันที่ เดือน ปีที่ทำการสืบค้น (เขียนเต็ม)

ตัวอย่าง: More SS. Factors in the emergence of infectious disease, Emerh Infect Dis [serial online] 1995 Jan-Mar; (1): [24 screene]. Available from: RL: <http://www.edc.gov/neidoc/EID/eid.htm> Accessed 25, 1999.

ธีรเกียรติ์ เกิดเจริญ. นาโนเทคโนโลยีความเป็นไปได้และทิศทางในอนาคต. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ตุลาคม-ธันวาคม (17): 2542 ได้จาก: <http://www.nanotech.sc.mahidol.ac.th/index.html> May 13 2005.

Instruction for Authors

Research manuscripts relevant to subject matters outlined in the objectives are accepted from all institutions and private parties provided they have not been preprinted elsewhere. The context of the papers may be revised as appropriate to the standard. Vol.1 (January-February) Vol.2 (March-April) Vol.3 (May-June) Vol.4 (July-August) Vol.5 (September-October) Vol.6 (November-December)

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.
2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.
3. Browallia font type is required with font size as follows:
 - Title the article: 18 pt. Bold
 - Name(s) of the authors: 16 pt.
 - Main Heading: 16 pt. Bold
 - Sub-heading: 14 pt. Bold
 - Body of the text: 14 pt
 - Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.
4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.
5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.
6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters. Name(s) of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important findings in the text. Authors should attempt to restrict the abstract to no more than 250 words.

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

Introduction: A summary of who is doing what, why where, and when?

Materials and Methods: A discussion of the materials used, and a description clearly detailing how the experiment was undertaken, e.g., experimental design, data collection and analysis, and interpretation.

Results: Present the output. If the information is complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant to the objectives or former findings, why? Finally state what recommendations could be drawn.

Tables, figures, diagrams, pictures: should be screened for those important to support the findings, and separated from the text. Captions should be placed above the tables but under the figures.

Acknowledgement: the name of the persons, organization, or funding agencies who helped support the research are acknowledged in this section.

References: listed and referred to in vancouver style.
(<http://www.library.uq.edu.au/training/citation/vancouv.html>)

7. Authors of review articles should follow the typical format style. This includes an introduction, the body of content, conclusion, and references.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.

2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments

3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

ที่อยู่ บ้านเลขที่..... หมู่ที่..... ถนน..... แขวง/ตำบล.....

อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

.....

.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์..... โทรศัพท์.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคารหรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ทำxonยาง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครระเศษฐัง กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 00033



Membership Application Form

Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Date.....

Name (Last).....(First).....

Mailing Address.....

.....

Sub-district..... District.....

Province (City/state)..... Country.....

Postal Code..... E-mail Address.....

Telephone No..... Fax No.....

One-Year membership (400 Baht)

Two Year Membership (800 Baht)

Please send your personal check or money order to the following address:

Mrs.Chaweewan Akkasesthang, Division of Research Supprt and Development, Boromarachakumaree
Building, Khamriang Sub-district, Kantharawichai District, Maha Sarakham Province 00033