



Volume 36 Number 4 July - August 2017
ISSN : 1686-9664

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

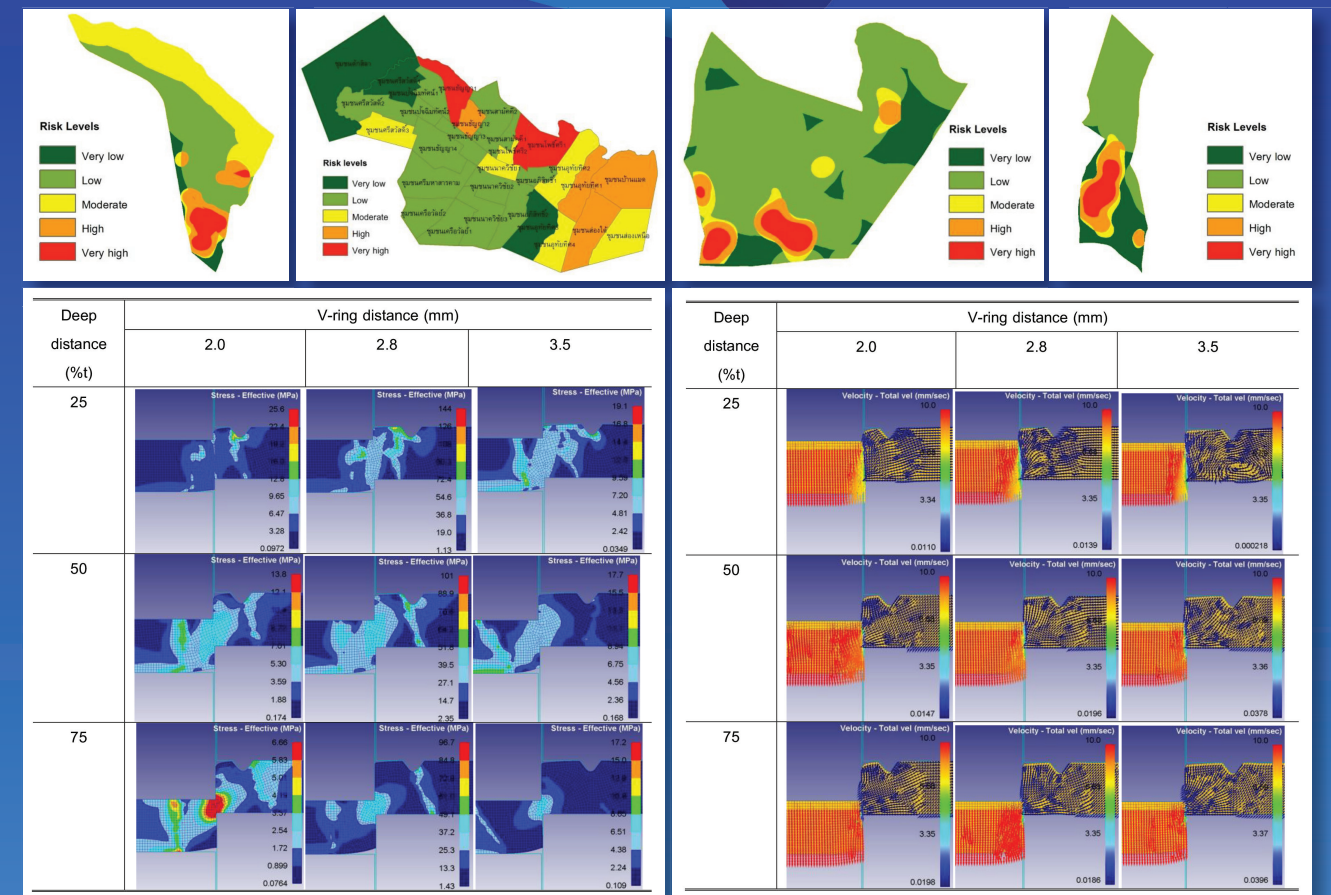
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2560



ปีที่ 36 ฉบับที่ 4 กรกฎาคม - สิงหาคม 2560
ISSN : 1686-9664

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

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 36 Number 4 July - August 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 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ นพ.ดร.เวื่อน สมณะ ราชบัณฑิต
ศาสตราจารย์ ดร.วิสิทธิ์ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

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

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิณี พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานประรอง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์พรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมฆากล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวลิทธิพงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
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 วังศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.อดุลพร รุ่งสีหิรัชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.วัชจันดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพักรวีไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสีฤทธิ์

กำหนดออกและตีพิมพ์เผยแพร่

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

Aim and Scope:

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

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

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

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirarat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

สวัสดีครับท่านผู้อ่าน วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่าน สำหรับวารสารฯ ของเรานี้มีเนื้อหาครอบคลุมในศาสตร์สาขาทางด้านวิทยาศาสตร์การภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพและวิทยาศาสตร์สุขภาพ ที่มีคุณค่าทางวิชาการและนำเสนอความรู้ใหม่ในแต่ละด้าน ซึ่งผู้อ่านจะได้รับความรู้และสาระอันเป็นประโยชน์ในการพัฒนาความรู้และนำไปประยุกต์ใช้ในศาสตร์สาขาที่ท่านสนใจต่อไป

อึ่งทางกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ใคร่ขอแจ้งแก่อาจารย์ นักวิจัย นิสิตนักศึกษาและผู้สนใจว่า ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ.2561 ต้นไป ผู้ที่ส่งผลงานวิจัยหรือบทความทางวิชาการ มาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเราจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ (publication fee) เรื่องละ 4,000 บาท ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับค่าใช้จ่ายจริงในขั้นตอนการพิจารณาบทความและการจัดพิมพ์วารสารในแต่ละเล่ม ซึ่งแต่เดิมนั้นทางวารสารฯ ไม่ได้เก็บค่าตีพิมพ์จากผู้ส่งผลงานมาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเราแต่อย่างใด นอกจากนี้ทางวารสารฯ ยังได้กำหนดรูปแบบและขั้นตอนการพิจารณาบทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการเพื่อให้การบริหารจัดการ การพิจารณาและตีพิมพ์บทความวิจัยหรือบทความทางวิชาการให้ชัดเจนและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งทางกองบรรณาธิการพิจารณาแล้วว่าการปรับเปลี่ยนดังกล่าวข้างต้นจะทำให้การบริหารจัดการการตีพิมพ์วารสารฯ มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและเป็นไปตามมาตรฐานสากล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งผู้อ่านและผู้สนใจจะส่งผลงานมาพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารของเราต่อไป

รศ.น.สพ.ดร.วรพล เองวานิช

ผู้ช่วยบรรณาธิการ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คำอธิบายภาพปก : การประเมินเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก ในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม, ระยะห่างแหวนจิกที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการphineแบลงค์กึ่ง

ภาพปก : เมรินทร์ วรรณพงษ์ และคณะ. 2560, 409-417.,
นัฐราช แสนมีมา และ บพิช บุปผโชติ. 2560, 459-464.

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

- การคัดสรร Hash Algorithm โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความเร็ว ในการย่อยข้อมูลระหว่าง
SHA-1, SHA-256, SHA-512 และ RIPEMD-160 เพื่อใช้พัฒนา Cloud Application 399
Hash algorithm selection using execution speed comparison measurement
เด่นเดช สวรรคทัต
Dendej Sawarnkatat
- การประเมินเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก ในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม 409
Spatial Risk Assessment of Dengue Hemorrhagic Fever Occurrence in Maha Sarakham Municipality
เมรินทร์ วรรณพงษ์, อุทัยวรรณ สิงาม, จิระเดช มาจันแดง
Merin Wanapong, Uthaiwan Seengam, Jiradech Majandang
- ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค และพฤติกรรมการดูแลตนเอง
ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น 418
**Self-care The Relationships between Severity of Disease, Self-care behaviors,
and Quality of Life among Patients with Upper Gastrointestinal Hemorrhage**
ขนิษฐา รักษาเคน, สุพัตรา บัวที
Khanittha Raksaken, Supatra Buatee
- เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล 427
Recommended Technology for Biomass Power Plant
ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร
Chudchawal Juntarawijit
- การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล 437
Quantifying Above Ground Carbon Sequestration Using Remote Sensing Technology
ญาณวุฒิ อุทาร์ักษ์, ธนัทเดช โรจนกุศล, ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ
Yannawut Uttaruk, Tanutdech Rotjanakusol, Teerawong Laosuwan
- การกักเก็บน้ำในพืชและดินของป่าชุมชนบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ 444
**Water Storages in Plants and Soils of Community Forest around Upland Rice Planting Areas,
Mae Wang District, Chiang Mai Province**
ฐปรัญจ์ สีลอยุ่นแก้ว, โอภาส วรราช
Taparat Seeloy-ounkaew, Opas Worawat

สารบัญ

การเพิ่มประสิทธิภาพซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา The Improvement of Support Vector Regression to Forecast Time Series ธีร์ธวัช แก้ววิจิตร, นิตยา เกิดประสพ, กิตติศักดิ์ เกิดประสพ Teetawat Kaewwijit, Nittaya Kerdprasop, Kittisak Kerdprasop	452
ระยะห่างแหวนจิกที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนค์กิ้ง V-ring Distance on Workpiece Quality in the Fine Blanking Process นัฐราช แสนมีมา, บพิท บุปผโชติ Nattarat Sanmeema, Bopit Bubphachot	459
แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละออง ขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในพื้นที่ต้นแบบ จังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมา Spatial Model to Analyze Concentration Dispersion of Particle Matter with a Diameter of Less Than 10 Micron in Loei, KhonKaen and Nakhon Ratchasima Province ปฏิวดี ฤทธิเดช Patiwat Littidej	465
การใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน The usage of rice straw in Interlocking block ปิยะพล สีหาบุตร, เพ็ญชาย เวียงใต้, ภาคพล ช่างยันต์ และ เจษฎ์ศิริ เกื้อนมูลละ Piyaphol Srihabutra, Penchai Weingtai, Pakapol Changyant and Jetsiri Thuanmunla	478
การเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาไนในกระชังระบบผลักดันมวลน้ำและเติมอากาศกับกระชังทั่วไป Comparison of Moving Water in an Aeration Fish Cage with a Standard Fish Cage for Nile Tilapia (Oreochromis niloticus) Culture วรพงษ์ นลินานนท์, สายชล เลิศสุวรรณ, ธนากร เหมะสกล Warrapong Nalinanon, Saichon Lerdsuwan, Tanakorn Heamasaton	486
การจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติ น้ำตกตาดโตน ตำบลนาผาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ Forest Fire Risk Identification and Classification by using Object-oriented Approach, Case Study: Tad Tone National Park, Na Fai sub-district, Mueang District, Chaiyaphum Province ศราวุธ ลักษวุธ, โสภณวิชญ์ คำพิลัง Sarawut Luksawut, Sopholwit Khamphilung	492

สารบัญ

- ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการทำน้ำหมักชีวภาพ 503
A Possibility of Electricity Production from Bio-Fermented Juice Manufacturing
สุธิดา บุญภาค, วาสนา หวานอารมณ์, เพชร เฟ็งชัย
Sutida Boonnak, Wassana Wan-A-Rom, Petch Pengchai
- ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบริเวณทำงานและสภาวะสุขภาพของพนักงาน
ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง : กรณีศึกษา เทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 509
**The amount of volatile organic compounds (VOCs) in the working area and health conditions
of workers in fuel stations: a case study in City Municipality Ubon Ratchathani province**
สุภาณี จันทร์ศิริ, สมเจตน์ ทองดำ, วิสวะ มาลาकरण, พรไพลิน บุณณะ
Supanee Junsiri, Somjet Thongdam, Wissawa malakan, Pornpilin Bunna
- การวิเคราะห์ผลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทีลีน ชัดซิเนต
เมื่อเติมสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุล 517
**Characterization of Polymer Composites between Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate)
with Chain Extender**
อรปรียา เวียงอินทร์, ยศฐา ศรีเทพ
Onpreeya Veang-in, Yottha Srithep
- การประยุกต์ใช้เมนูผักพื้นบ้านตามภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน 527
The applications of vegetables menu with the local wisdom for diabetic patients
อุดมศักดิ์ มหาวีรวัฒน์, ธิดารัตน์ สมดี, กัลยา คำผา, ธีรดา ภูนางดาว, รจเรจ นามสวัสดิ์, สุณีรัตน์ ยั่งยืน
Udomsak Mahaweerawat, Thidarat Somdee, Kallaya Kampha, Theeralda Phunangdao,
Rojaraje Namsawat, Suneerat Yangyuen
- การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นงอที่ติดตั้งวาล์วกันกลับชนิดมีครีป
โดยใช้เงินนาโนเป็นสารทำงาน 534
Heat Transfer of Closed-loop Oscillating Heat Pipe with CV on fin by using Silver-nanofluid
พัฒนพล มีนา, ไพรัตน์ ธรรมแสง, ชัยภัทร พลายบัว
Pattanapol Meena, Pairat Thammasaeng, Chaiphath Plybour

การคัดเลือก Hash Algorithm โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านความเร็ว ในการย่อข้อมูลระหว่าง SHA-1, SHA-256, SHA-512 และ RIPEMD-160 เพื่อใช้พัฒนา Cloud Application

Hash Algorithm Selection using Throughput Measurement Comparison

เด่นเดช สวรรคทัต¹

Dendej Sawarnkatat¹

Received: 14 June 2016 ; Accepted: 31 October 2016

บทคัดย่อ

ในการพัฒนาระบบโปรแกรมประยุกต์ที่ต้องมีการบริหารจัดการด้านความมั่นคงปลอดภัยทั้งต่อผู้ใช้และ ปกป้องข้อมูลสำคัญขององค์กรนั้นส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบริการเหล่านี้ ต้องอาศัยการใช้งานฟังก์ชัน ทางเดียว (one-way function) ด้วย Hash Algorithm ซึ่งการทำงานของฟังก์ชันเหล่านี้ จะต้องถูก เรียกใช้บ่อยครั้งมาก ยิ่งถ้าหากเป็นการใช้งานระบบงานบนกลุ่มเมฆ (Cloud Application Service) ที่รองรับการใช้งานที่มีจำนวนผู้ใช้พร้อมกันในระดับล้านคนต่อวินาทีขึ้นไปถ้าหากเลือก algorithm ที่ไม่เหมาะสมก็จะยิ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเวลาในการประมวลผล (Processing Time) เพราะวาระบบเหล่านี้มีการคำนวณอัตราค่าใช้จ่ายตามการใช้งาน หน่วยประมวลผลกลาง (CPU Time Usage Metering) ดังนั้นหากผู้พัฒนาระบบซอฟต์แวร์ดังกล่าวทราบถึง ประสิทธิภาพอย่างแน่ชัดของ Hash Algorithm ชนิดต่างๆ ย่อมสามารถเลือกใช้ได้อย่างเหมาะสมซึ่งใน เอกสารนี้ผู้วิจัยได้นำเอาเครื่องมือที่ช่วยวัดประสิทธิภาพของ Hash Algorithm ที่เป็นที่ยอมรับมาแนะนำเสนอ พร้อมผลการทดลองที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทันที

คำสำคัญ: การเข้ารหัสทางเดียว ความมั่นคงปลอดภัย

Abstract

Recently, business enterprises and large organizations worldwide have been migrating their core IT business operations, which once running on premise, to host on cloud platforms in order to reduce cost of ownership and increase return on investment. However, running application on cloud with optimum cost is not as simple as ones' thought because of several factors. One major factor which is the focus of this paper is how to selecting and implementing the efficient algorithms especially the frequently used such as hash algorithms which are part of user registration and authentication functionalities. For this reason, the author has setup the experiment on comparing various hash algorithms in term of execution speed. As a result of this experiment, any developers would readily adopt it as part of development process in no time.

Keywords: cloud application, hash algorithm, SHA-1, SHA-256, SHA-512, RIPEMD-160

บทนำ

สำหรับผู้บริหารด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของ องค์กรธุรกิจ หรือหน่วยงานขนาดใหญ่หลายๆ แห่งนั้นปัญหาที่มักเกิดขึ้นเป็นประจำคือการตอบข้อสงสัยเกี่ยวกับความคุ้มค่าในการลงทุนทางด้าน เทคโนโลยีสารสนเทศอันประกอบด้วยระบบ

ฮาร์ดแวร์พื้นฐาน (Hardware Infrastructure) ระบบซอฟต์แวร์ ที่นำมาใช้จนถึงสถานที่ติดตั้งซึ่ง การจัดหาแต่ละครั้งเป็นการลงทุนที่มหาศาล ด้วยเหตุนี้การนำเอา cloud computing เข้ามาใช้แทนการลงทุนซื้อหาและติดตั้งระบบ ทั้งหมดนั้นย่อมช่วยให้องค์กรหรือหน่วยงาน เหล่านี้เข้าถึงระบบที่มีประสิทธิภาพ

¹ อาจารย์ นักวิชาการอิสระ และ นักศึกษาปริญญาเอก คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹ Independence Scholar and Doctoral Student at Faculty of Information Technology King Mongkut's University of Technology North Bangkok email: dendej@gmail.com

สูงโดยใช้ เงินลงทุนเริ่มต้นที่ต่ำและที่สำคัญสามารถตอบคำถามที่เกี่ยวกับความคุ้มค่าการลงทุนได้โดยง่าย เพราะเป็นการจ่ายตามจริงของการใช้งาน (Pay per use) โดยปราศจากต้นทุนการบำรุงรักษา (maintenance cost) ผลที่ได้คือ หน่วยงานหรือองค์กรสามารถใส่ใจในงานสำคัญ (core business functionality) เป็นหลักคือการพัฒนาาระบบสารสนเทศที่มี ประสิทธิภาพพร้อมความสามารถด้านความมั่นคง ปลอดภัย เช่น การจัดการรหัสผ่านสำหรับยืนยันตัวตน (Authentication Password Management) การกำหนดรหัสเฉพาะสำหรับ โปรแกรมประยุกต์บนเว็บ (Web Application Session ID) และการสร้างรหัสการตรวจสอบ ความถูกต้องของข้อมูล (Data Integrity Verification) เป็นต้นซึ่งสิ่งเหล่านี้ล้วน อาศัยเทคโนโลยีการเข้ารหัสทางเดียว (one-way function) ด้วย Hash Algorithm สนับสนุนการดำเนินการทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม Hash algorithm นั้นมีมากมายหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีคุณสมบัติ และประสิทธิภาพที่แตกต่างกันทำให้การเลือก Hash algorithm ไปพัฒนาใช้งานร่วมกันระบบ cloud computing ถือว่ามีนัยยะสำคัญเพราะ ปริมาณการใช้งานทรัพยากรชนิดต่างๆ บน cloud เช่น หน่วยประมวลผลกลาง (CPU Usage) หน่วยความจำ (Memory) ขนาดข้อมูลในเครือข่าย (Network Traffic Volume) ล้วนมีการ คิดค่าใช้จ่ายตามจริงทั้งสิ้น การเลือก Hash Algorithm ที่มีความเร็วสูง ย่อมสิ้นเปลือง ทรัพยากรเหล่านี้ย่อม แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบัน Hash Algorithm ที่มีความเร็วสูงหลายชนิด สามารถถูกโจมตีได้ ดังนั้นการเลือกโดยใช้ปัจจัย ด้านความเร็วเพียงอย่างเดียวคงไม่เพียงพอ จึงควรที่จะเลือก Hash Algorithm ที่คุณสมบัติด้านความเร็วและความปลอดภัยสมดุลที่สุดมากกว่า

การเข้ารหัสแบบทิศทางเดียว (One-way Hashing Algorithm)

หมายถึงการใช้งานฟังก์ชันที่มีการประมวลผลข้อมูลเข้าซึ่งโดยปกติไม่จำกัดขนาดแล้วให้ข้อมูลผลลัพธ์ที่มีขนาดคงที่เสมอ (fixed size message) โดยจะเรียกว่าฟังก์ชันชนิดนี้ว่า Hash function หรือ Hash algorithm ซึ่งหากนำมาใช้งานด้านความมั่นคงปลอดภัย Hash algorithm ที่เลือกใช้ จะต้อง มีลักษณะ สำคัญดังนี้

คุณสมบัติพื้นฐานของ Hash Function

- Pre-image attack resistance หมายถึงถ้ามีข้อความใดๆ ที่เป็นผลลัพธ์ จากฟังก์ชันชนิดนี้ จะต้องเป็นการยากที่จะ คำนวณย้อนกลับไปสู่ข้อมูลเข้า (pre-image input) ที่นำมาใช้
- Second pre-image attack resistance เนื่องจาก

ขอบเขตข้อมูลเข้า (input domain) มีขนาดใหญ่กว่าขอบเขตของผลลัพธ์ (output range) ย่อมเป็นไปได้ที่มีข้อมูลเข้าอย่างน้อย สองชุดที่ไม่เหมือนกัน แต่ให้ผลลัพธ์ของ ฟังก์ชันเหมือนกันสำหรับกรณีนี้หมายถึง หากมีข้อมูลเข้าชุดหนึ่งจะต้องเป็นการยาก มากที่จะหาข้อมูลชุดอื่นๆ ที่ไม่เหมือนกันแต่ให้ผลลัพธ์การทำงานของฟังก์ชันที่ เหมือนกัน

- Collision resistance หมายถึงคุณสมบัติของ hash algorithm ที่มีความยากในการหา ข้อมูลเข้ามากกว่าหนึ่งชุดที่ให้ผลลัพธ์ เหมือนกัน

ประเภทการใช้งาน

- การใช้งาน Hash algorithm มีเป้าหมายหลักเพื่อใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อความ (Value checking) ซึ่งการตรวจสอบสามารถ จำแนกออกเป็น 2 ลักษณะคือ
 - การตรวจสอบการแก้ไขของข้อความด้วยรหัส (Modification Detection Code) เป็นการนำเอา ข้อความเป้าหมายผ่าน ฟังก์ชันแบบ Hash ซึ่งจะได้รหัสผลลัพธ์ โดยอาจส่งไปยังปลายทางพร้อมกับข้อความ เพื่อที่ผู้รับจะได้ทำการพิสูจน์ความถูกต้องโดยการนำเอาข้อความที่ได้รับไปผ่านฟังก์ชันแบบ Hash ซึ่งหากผลลัพธ์ที่ได้ตรงกันก็เป็นเครื่องยืนยันว่าข้อความดังกล่าวมาจากต้นทางจริงและไม่ได้ถูกดัดแปลงแก้ไขใดๆ
 - การสร้างรหัสพิสูจน์ข้อความ (Message Authentication Code) มีลำดับการทำงาน ใกล้เคียงกับ MDC แต่นำเอาผลลัพธ์ (Hash Result) ไปผ่านการเข้ารหัสแบบอสมมาตร (Asymmetric encryption) ด้วยกุญแจส่วนตัว (private key) ของผู้ส่ง เพื่อสร้างเป็นลายมือชื่ออิเล็กทรอนิกส์ (Digital Signature) และเมื่อผู้รับปลายทาง ได้รับข้อความก็นำข้อความนั้นไปผ่าน ฟังก์ชันแบบ Hash เพื่อให้ได้รหัสผลลัพธ์ จากนั้นทำการถอดรหัสลายมือชื่อ อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยกุญแจสาธารณะ (public key) ของผู้ส่งแล้วนำไปเปรียบเทียบกับรหัส ผลลัพธ์หากเหมือนกันก็แสดงว่าข้อความดังกล่าวมาจากผู้ส่งจริงเพราะปราศจากการแก้ไขดัดแปลง

SHA-1

เป็นอัลกอริทึมที่มีการทำงานแบบฟังก์ชันทิศทางเดียวที่สามารถรับข้อมูลเข้าที่มีขนาดต่างๆ กัน เพื่อทำการบีบอัดข้อมูล (compression) ซึ่งผล ลัพธ์ของการทำงานจะเป็นข้อความที่ย่อยแล้ว (digested message) ที่มีขนาดคงที่ 160 บิต (20 ไบท์) มีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมการ (pre-processing) และการคำนวณ ค่า hash (hash computation) ดังนี้ (จาก SHA-2 Standard^๑)

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมการโดยแบ่งข้อมูลเข้าออกเป็นชุดๆ ละ (block) ขนาด 512 บิต โดยข้อมูลชุดสุดท้ายจะมีการเติมเต็มต่อท้าย ซึ่งการเติมจะใส่บิตแรกเป็น 1 เพียงบิตเดียวเท่านั้นและตามด้วยบิตที่เป็น 0 ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีขนาดเท่ากับ 448 บิต จากนั้น เพิ่มข้อมูลขนาด 64 บิตต่อท้ายในข้อมูลชุดสุดท้าย ซึ่งเป็นความยาวของข้อมูลเข้า (ถ้าข้อมูลเข้ามีขนาดมากกว่า 2^{64} ก็จะใช้ค่าเศษของผลหาร ขนาดข้อมูลด้วย 2^{64}) จนทำให้ข้อมูลชุดสุดท้าย มีขนาด 512 บิต (448+64) เหมือนกันชุดอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนการคำนวณค่าhashเริ่มจากข้อมูลชุดแรก จนถึงชุดสุดท้ายเป็นลำดับโดยเมื่อประมวลผลข้อมูลแต่ละชุด เช่นชุดที่ B^i จะต้องคำนวณหาค่า hash H^i ซึ่งได้มาจากการคำนวณฟังก์ชันตรรกะ $f_i(b,c,d)$ ร่วมกับค่า W_t (message schedule) โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

1) กำหนดเงื่อนไขของ W_t (t คือลำดับของรอบที่ทำในขั้นที่ 3)

$$W_t = B^i, \quad 0 \leq t \leq 15$$

$$W_t = ROTL^2(W_{t-2} \oplus W_{t-3} \oplus W_{t-4} \oplus W_{t-5}),$$

$$16 \leq t \leq 79$$

หมายเหตุ: $ROTL^y(x)$ คือการหมุนบิต (rotate) ของ x ไปทางซ้ายจำนวน y บิต

2) เตรียมข้อมูลและฟังก์ชันที่จำเป็น โดยกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณจำนวน 5 ค่า (a,b,c,d,e) โดยใช้ค่า hash จากรอบก่อนหน้า H_{i-1}^j จนถึง H_{i-1}^5 ($a = H_{i-1}^1, \dots, e = H_{i-1}^5$) ยกเว้นรอบแรกจะ กำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้คือ

$$H_0^a = 67452301_{16}, H_0^b = EFCDAB89_{16}$$

$$H_0^c = 98BADCFE_{16}, H_0^d = 10325476_{16}$$

$$H_0^e = C3D2E1F0_{16}$$

ค่าคงที่ K_t ขนาด 32 บิต

$$K_t = 5A827999_{16} \text{ เมื่อ } 0 \leq t \leq 19,$$

$$K_t = 6ED9EBA1_{16} \text{ เมื่อ } 20 \leq t \leq 39,$$

$$K_t = 8F1BBCDC_{16} \text{ เมื่อ } 40 \leq t \leq 59, K_t = CA62C1D6_{16}$$

เมื่อ $60 \leq t \leq 79$

ฟังก์ชันตรรกะ $f_i(b,c,d)$ ดังนี้

$$f_i(b,c,d) = \begin{cases} (b \wedge c) \vee (b \wedge d), & 0 \leq t \leq 19 \\ (b \oplus c \oplus d), & 20 \leq t \leq 39 \\ (b \wedge c) \oplus (b \wedge d) \oplus (c \wedge d), & 40 \leq t \leq 59 \\ (b \oplus c \oplus d), & 60 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

3) ทำการคำนวณแบบวนซ้ำ 80 รอบ ($t \rightarrow [0..79]$)

$$T = ROTL^2(a) + f_i(b,c,d) + e + K_t + W_t,$$

$$e = d, d = c, c = ROTL^{32}(b), b = a, a = T$$

4) คำนวณค่าhashข้อมูลชุดปัจจุบัน H_0^i จนถึง H_7^i โดยการบวกแบบ modulo-32 ดังสมการ ต่อไปนี้

$$H_0^i = a + H_{i-1}^0, H_1^i = b + H_{i-1}^1, H_2^i = c + H_{i-1}^2,$$

$$H_3^i = d + H_{i-1}^3, H_4^i = e + H_{i-1}^4$$

ซึ่งเมื่อคำนวณค่าhash ของข้อมูลชุดสุดท้ายเสร็จ ก็จะได้ค่า H_0^i ถึง H_7^i จึงนำมาสร้างค่า hash ผลสำเร็จ (output) คือ $H = H_0^i \parallel H_1^i \parallel H_2^i \parallel H_3^i \parallel H_4^i$ โดย \parallel คือการนำค่ามาเรียง ต่อกัน

SHA-256 และ SHA-512

เป็นอัลกอริทึมแบบฟังก์ชัน ทิศทางเดียวที่ถูกคิด ค้น เพื่อมาใช้แทน SHA-1 ที่ปัจจุบันพบว่าไม่ปลอดภัยจากการโจมตีด้วย pre-image attack สำหรับการทำงานของ SHA-256 และ SHA-512 จะใช้การบีบอัดข้อมูล โดยให้ผลลัพธ์ของการทำงานเป็นข้อความที่ย่อยแล้วที่มีขนาดคงที่คือ 256 บิต (32 ไบท์) สำหรับ SHA-256 และ 512 บิต (64 ไบท์) สำหรับ SHA-512 ส่วนการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนเหมือนกับ SHA-1 คือ การเตรียมการและ การคำนวณค่าhash ดังนี้ (จาก S. Wang et al.⁷ และ SHA-2 Standard⁸)

ขั้นตอนที่ 1

แบ่งข้อมูลเข้าออกเป็นชุดซึ่ง SHA-256 แต่ละชุดจะมีขนาด 512 บิต ส่วน SHA-512 แต่ละชุดจะมีขนาด 1024 บิต โดยข้อมูลชุดสุดท้ายของทั้ง สองชนิดจะมีการเติมบิตต่อท้ายเพิ่ม ซึ่งการเติม จะเริ่มจากบิตแรกโดย มีค่าเป็น 1 เพียงบิตเดียว เท่านั้นและตามด้วยบิตที่เป็น 0 ไปเรื่อยๆ จนกว่า จะมีขนาดเท่ากับ 448 บิต (SHA-256) หรือ 896 บิต (SHA-512) จากนั้นเพิ่มข้อมูลขนาด 64 บิต (SHA-256) หรือ 128 บิต (SHA-512) ต่อท้าย ในข้อมูลชุดสุดท้าย ซึ่งเป็นความยาวของข้อมูล เข้า (ถ้าข้อมูลเข้ามีขนาดมากกว่า 2^{64} บิตในกรณี SHA-256 หรือ 2^{128} บิต สำหรับ SHA-512 ก็จะใช้ ค่าเศษของผลหาร ขนาดข้อมูลด้วย 2^{64} หรือ 2^{128} ตามลำดับ) จนทำให้ข้อมูลชุดสุดท้ายมีขนาด 512 บิต (448+64) สำหรับ SHA-256 หรือ 1024 บิต (896+128) สำหรับ SHA-512 เหมือนกันชุด อื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2

การคำนวณค่า hash เริ่มจากข้อมูลชุดแรกจนถึง ชุดสุดท้ายเป็นลำดับ โดยเมื่อประมวลผลข้อมูลแต่ละชุด เช่นชุดที่ B^i จะต้องคำนวณหาค่า hash H^i ซึ่งได้มาจากการคำนวณฟังก์ชันพิเศษ α_0, α_1 ร่วมกับค่า W_t โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

1) กำหนดเงื่อนไขของ W_t (t คือลำดับของรอบที่ทำในขั้นที่ 3)

SHA-256:

$$W_t = B_t^i, \quad 0 \leq t \leq 15$$

$$W_t = \sigma_1^{256}(W_{t-2}) + W_{t-7} + \sigma_0^{256}(W_{t-15}) + W_{t-16},$$

$$16 \leq t \leq 63$$

โดย

$$\sigma_1^{256} =$$

$$ROTR^{17}(x) \oplus ROTR^{19}(x) \oplus SHR^{10}(x)$$

$$\sigma_0^{256} =$$

$$ROTR^7(x) \oplus ROTR^{18}(x) \oplus SHR^3(x)$$

SHA-512:

$$W_t = B_t^i, \quad 0 \leq t \leq 15$$

$$W_t = \sigma_1^{512}(W_{t-2}) + W_{t-7} + \sigma_0^{512}(W_{t-15}) + W_{t-16},$$

$$16 \leq t \leq 79$$

$$W_t = B_t^i, \quad 0 \leq t \leq 15$$

$$W_t = \sigma_1^{512}(W_{t-2}) + W_{t-7} + \sigma_0^{512}(W_{t-15}) + W_{t-16},$$

$$16 \leq t \leq 79$$

โดย

$$\sigma_1^{512} = ROTR^{27}(x) \oplus ROTR^{41}(x) \oplus SHR^4(x)$$

$$\sigma_0^{512} = ROTR^1(x) \oplus ROTR^6(x) \oplus SHR^7(x)$$

หมายเหตุ:

$ROTR^y(x)$ คือการหมุนบิต (rotate) ของ x ไปทางขวาจำนวน y บิต และ $SHR^y(x)$ คือการเลื่อนบิต (shift) ของ x ไปทางขวาจำนวน y บิต

2) เตรียมข้อมูลและฟังก์ชันที่จำเป็น โดยใช้ค่า เริ่มต้นในการคำนวณจำนวน 8 ค่า (a,b,c,d,e, f,g,h) ร่วมกับค่า hash จากรอบก่อนหน้า H_{t-1}^i จนถึง H_{t-7}^i ($a = H_{t-7}^i, \dots, g = H_{t-1}^i$) ยกเว้น รอบแรกจะกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้คือ

SHA-256:

$$H_0^i = 6a09e667_{16}, H_1^i = bb67ae85_{16}$$

$$H_2^i = 3c6ef372_{16}, H_3^i = a54fff53a_{16}$$

$$H_4^i = 510e527f_{16}, H_5^i = 9b05688c_{16}$$

$$H_6^i = 9b05688c_{16}, H_7^i = 5b0e0cd19_{16}$$

SHA-512:

$$H_0^i = cbbb9d5dc1059e8d_{16}$$

$$H_1^i = 629a292a367cd507_{16}$$

$$H_2^i = 9159015a3070dd17_{16}$$

$$H_3^i = 152fecd8f70e5939_{16}$$

$$H_4^i = 67332667fff00b31_{16}$$

$$H_5^i = 8eb44a8768581511_{16}$$

$$H_6^i = db0c2e0d64f98fa7_{16}$$

$$H_7^i = 47b5481dbefa4fa4_{16}$$

ค่าคงที่ H_t^{256} ขนาด 32 บิต จำนวน 64 ค่า กรณี SHA-256 (Figure 1)

ค่าคงที่ H_t^{512} ขนาด 64 บิต จำนวน 80 ค่า กรณี SHA-512 (Figure 2)

ฟังก์ชันตรรกะ

$$Ch(x,y,z), Maj(x,y,z), \Sigma_0(x), \Sigma_1(x) \text{ ดังนี้}$$

$$Ch(x,y,z) = (x \wedge y) \oplus (\bar{x} \wedge z)$$

$$Maj(x,y,z) = (x \wedge y) \oplus (x \wedge z) \oplus (y \wedge z)$$

SHA-256:

$$\Sigma_0(x) = ROTR^2(x) \oplus ROTR^{22}(x) \oplus ROTR^{27}(x)$$

$$\Sigma_1(x) = ROTR^5(x) \oplus ROTR^{21}(x) \oplus ROTR^{24}(x)$$

SHA-512:

$$\Sigma_0(x) = ROTR^{28}(x) \oplus ROTR^{34}(x) \oplus ROTR^{39}(x)$$

$$\Sigma_1(x) = ROTR^{14}(x) \oplus ROTR^{18}(x) \oplus ROTR^{41}(x)$$

3) ทำการคำนวณแบบวนซ้ำ 64 รอบ (SHA-256 | $t \rightarrow [0..63]$) หรือ 80 รอบ (SHA-512 | $t \rightarrow [0..79]$)

$$T_1 = h + \Sigma_1(e) + Ch(e,f,g) + K_t + W_t,$$

$$T_2 = \Sigma_0(a) + Maj(b,c,d),$$

$$h = g, g = f, f = e, e = d + T_1, d = c, c = b, b = a,$$

$$a = T_1 + T_2$$

4) คำนวณค่า hash ข้อมูลชุดปัจจุบัน H_t^i จนถึง H_t^j โดยการบวกแบบ modulo-32 (SHA-256) หรือ modulo-64 (SHA-512) ดังสมการต่อไปนี้

$$H_0^i = a + H_{t-7}^{i-1}, H_1^i = b + H_{t-6}^{i-1}, H_2^i = c + H_{t-5}^{i-1},$$

$$H_3^i = d + H_{t-4}^{i-1}, H_4^i = e + H_{t-3}^{i-1}, H_5^i = f + H_{t-2}^{i-1},$$

$$H_6^i = g + H_{t-1}^{i-1}, H_7^i = h + H_{t-1}^{i-1}$$

ซึ่งเมื่อคำนวณค่า hash ของข้อมูลชุดสุดท้ายเสร็จก็จะได้ค่า H_0^i ถึง H_7^i จึงนำมาสร้างค่า hash ผลสำเร็จ $H = H_0^i \parallel H_1^i \parallel H_2^i \parallel H_3^i \parallel H_4^i \parallel H_5^i \parallel H_6^i \parallel H_7^i$

RIPEMD-160

เป็นอัลกอริทึมฟังก์ชันทิศทางเดียวที่ได้รับการพัฒนาต่อจากอัลกอริทึม RIPEMD เนื่องจาก RIPEMD นั้นเป็นที่ทราบกันดีว่าสามารถเกิด collision ได้โดยง่าย ส่วนหนึ่งมาจากการออกแบบการทำงานที่ถูกรบกวนแบบมาให้มีการทำงานเช่นเดียวกันกับอัลกอริทึมชนิด MD4 แต่ RIPEMD-160 ได้รับการปรับปรุงประสิทธิภาพให้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ ในส่วนการทำงานจะรับข้อมูลเข้า ขนาดต่างๆ แล้วให้ผลลัพธ์เป็นข้อความที่ย่อยแล้ว ขนาดคงที่ 160 บิต มีขั้นตอนการทำงานมี 2 ส่วน คือ การเตรียมการและการคำนวณค่า hash เช่นเดียวกับอัลกอริทึมชนิดอื่นๆ (จาก H. Dobbertin et al.⁶ และ A. Bosselaers⁵)

ขั้นตอนที่ 1

แบ่งข้อมูลเข้าออกเป็นชุดขนาด 512 บิตโดยข้อมูลชุดสุดท้ายจะมีการเติมบิตต่อท้ายเพิ่ม ซึ่งการเติมจะให้บิตแรกเป็น 1 เพียงบิตเดียวเท่านั้นและ ตามด้วยบิตที่เป็น 0 ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีขนาด เท่ากับ 448 บิต จากนั้นเพิ่มข้อมูลขนาด 64 บิตต่อท้าย ในข้อมูลชุดสุดท้ายซึ่งเป็นความยาวของข้อมูลเข้า (ถ้าข้อมูลเข้ามีขนาดมากกว่า 2^{64} บิต ก็จะใช้ค่าเศษของผลหารขนาดข้อมูลด้วย 2^{64}) จนทำให้ข้อมูลชุดสุดท้ายมีขนาด 512 (448+64) บิต เหมือนกับชุดอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2

การคำนวณค่า hash เริ่มจากข้อมูลชุดแรกจนถึงชุดสุดท้ายเป็นลำดับ โดยเมื่อประมวลผลข้อมูล แต่ละชุด เช่น ชุดที่ s จะต้องคำนวณหาค่า hash คือ H^s ซึ่งได้มาจากการคำนวณ ฟังก์ชัน $f_t(b,c,d), f'_t(b,c,d), R_t, R'_t$ ร่วมกับค่า W_t และ W'_t โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ชั้น ย่อยได้ดังนี้

- 1) กำหนดเงื่อนไขของ W_t และ W'_t (t คือลำดับ ของรอบที่ทำในขั้นที่ 3)

$$W_t = B_t^i \text{ เมื่อ } 0 \leq t \leq 15$$

$$W_t = B_{[t]}^i \text{ เมื่อ}$$

$$u[16..79] = \begin{cases} [7, 4, 13, 1, 10, 6, 15, 3, 12, 0, 9, 5, 2, 14, 11, 8], & 16 \leq t \leq 31 \\ [3, 10, 14, 4, 9, 15, 8, 1, 2, 7, 0, 6, 13, 11, 5, 12], & 32 \leq t \leq 47 \\ [1, 9, 11, 10, 0, 8, 12, 4, 13, 3, 7, 15, 14, 5, 6, 2], & 48 \leq t \leq 63 \\ [4, 0, 5, 9, 7, 12, 2, 10, 14, 1, 3, 8, 11, 6, 15, 13], & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

$$W'_t = B_{[t]}^i \text{ เมื่อ}$$

$$u[0..79] = \begin{cases} [5, 14, 7, 0, 9, 2, 11, 4, 13, 6, 15, 8, 1, 10, 3, 12], & 0 \leq t \leq 15 \\ [5, 14, 7, 0, 9, 2, 11, 4, 13, 6, 15, 8, 1, 10, 3, 12], & 16 \leq t \leq 31 \\ [15, 5, 1, 3, 7, 14, 6, 9, 11, 8, 12, 2, 10, 0, 4, 13], & 32 \leq t \leq 47 \\ [8, 6, 4, 1, 3, 11, 15, 0, 5, 12, 2, 13, 9, 7, 10, 14], & 48 \leq t \leq 63 \\ [12, 15, 10, 4, 1, 5, 8, 7, 6, 2, 13, 14, 0, 3, 9, 11], & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

- 2) เตรียมข้อมูลและฟังก์ชันที่จำเป็น โดยกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณจำนวน 5 ค่า มี 2 ชุดคือ (a,b,c,d,e) และ (a',b',c',d',e') โดยเรียงลำดับ ใช้ค่า hash จากรอบก่อนหน้านี้ H_0^{i-1} จนถึง H_{i-1}^{i-1} ทั้งสองชุด ($a = H_0^{i-1}, \dots, e = H_{i-1}^{i-1}, a' = H_0^{i-1}, \dots, e' = H_{i-1}^{i-1}$) ยกเว้นรอบแรกจะกำหนดค่าเริ่มต้นดังนี้คือ

$$H_0^0 = 67452301_{16}, H_1^0 = EFCDAB89_{16}$$

$$H_2^0 = 98BADCFE_{16}, H_3^0 = 10325476_{16}$$

$$H_4^0 = C3D2E1F0_{16}$$

ค่าคงที่ K_t และ K'_t ขนาด 32 บิต

$$K_t = 0_{16} \text{ เมื่อ } 0 \leq t \leq 15, K_t = 5A82799_{16} \text{ เมื่อ } 16 \leq t \leq 31,$$

$$K_t = 6ED9EBA1_{16} \text{ เมื่อ } 32 \leq t \leq 47, K_t = 8F1BBCDC_{16} \text{ เมื่อ } 48 \leq t \leq 63$$

$$K'_t = A953FD4E_{16} \text{ เมื่อ } 0 \leq t \leq 15, K'_t = 50A28BE6_{16} \text{ เมื่อ } 16 \leq t \leq 31,$$

$$K'_t = 5C4DD124_{16} \text{ เมื่อ } 32 \leq t \leq 47, K'_t = 6D703EF3_{16} \text{ เมื่อ } 48 \leq t \leq 63,$$

$$K'_t = 7A6D76E9_{16} \text{ เมื่อ } 64 \leq t \leq 79, K'_t = 0_{16} \text{ เมื่อ } 64 \leq t \leq 79$$

ฟังก์ชันหมุนบิต R_t, R'_t

$$R_t = ROTL^{[t]}(x) \text{ เมื่อ } t \text{ และ } u \text{ มีค่าดังนี้}$$

$$u[0..79] = \begin{cases} [11, 14, 15, 12, 5, 8, 7, 9, 11, 13, 14, 15, 6, 7, 9, 8], & 0 \leq t \leq 15 \\ [7, 6, 8, 13, 11, 9, 7, 15, 7, 12, 15, 9, 11, 7, 13, 12], & 16 \leq t \leq 31 \\ [11, 13, 6, 7, 14, 9, 13, 15, 14, 8, 13, 6, 5, 12, 7, 5], & 32 \leq t \leq 47 \\ [11, 12, 14, 15, 14, 15, 9, 8, 9, 14, 5, 6, 8, 6, 5, 12], & 48 \leq t \leq 63 \\ [9, 15, 5, 11, 6, 8, 13, 12, 5, 12, 13, 14, 11, 8, 5, 6], & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

$$R'_t = ROTL^{[t]}(x) \text{ เมื่อ } t \text{ และ } u \text{ มีค่าดังนี้}$$

$$u[0..79] = \begin{cases} [8, 9, 9, 11, 13, 15, 15, 5, 7, 7, 8, 11, 14, 14, 12, 6], & 0 \leq t \leq 15 \\ [9, 13, 15, 7, 12, 8, 9, 11, 7, 7, 12, 7, 6, 15, 13, 11], & 16 \leq t \leq 31 \\ [9, 7, 15, 11, 8, 6, 6, 14, 12, 13, 5, 14, 13, 13, 7, 5], & 32 \leq t \leq 47 \\ [15, 5, 8, 11, 14, 14, 6, 14, 6, 9, 12, 9, 12, 5, 15, 8], & 48 \leq t \leq 63 \\ [8, 5, 12, 9, 12, 5, 14, 6, 8, 13, 6, 5, 15, 13, 11, 11], & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

ฟังก์ชันตรรกะ $f_t(b,c,d), f'_t(b,c,d)$ ดังนี้

$$f_t(b,c,d) = \begin{cases} (b \oplus c \oplus d), & 0 \leq t \leq 15 \\ (b \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge d), & 16 \leq t \leq 31 \\ (b \vee \bar{c}) \oplus d, & 32 \leq t \leq 47 \\ (b \wedge c) \vee (c \wedge \bar{d}), & 48 \leq t \leq 63 \\ b \oplus (c \oplus \bar{d}), & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

$$f'_t(b,c,d) = \begin{cases} b \oplus (c \oplus \bar{d}), & 0 \leq t \leq 15 \\ (b \wedge c) \vee (c \wedge \bar{d}), & 16 \leq t \leq 31 \\ (b \vee \bar{c}) \oplus d, & 32 \leq t \leq 47 \\ (b \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge d), & 48 \leq t \leq 63 \\ (b \oplus c \oplus d), & 64 \leq t \leq 79 \end{cases}$$

- 3) ทำการคำนวณแบบวนซ้ำ 80 รอบ ($t \rightarrow [0...79]$)

$$T = R_t(a + f_t(b,c,d) + K_t + W_t) + e, a = e, c = b, b = T$$

$$e = d, d = ROTL^{30}(c),$$

$$T' = R'_t(a' + f'_t(b',c',d') + K'_t + W'_t) + e',$$

$$a' = e', e' = d', d' = ROTL^{30}(c'),$$

$$c' = b', b' = T'$$

- 4) คำนวณค่า hash ข้อมูลชุดปัจจุบัน H_t^i จนถึง H_i^i โดยการบวกแบบ modulo-32 ดังสมการต่อไปนี้

$$T = H_{i-1}^{i-1} + c + d', H_t^i = H_{i-1}^{i-1} + d + e',$$

$$H_t^i = H_{i-1}^{i-1} + e + a', H_t^i = H_{i-1}^{i-1} + a + b',$$

$$H_t^i = H_{i-1}^{i-1} + b + c', H_t^i = T$$

ซึ่งเมื่อคำนวณค่า hash ของข้อมูลชุดสุดท้ายเสร็จ ก็จะได้ค่า H_0^i ถึง H_4^i จึง นำมาสร้างค่า hash ผลสำเร็จ $H = H_0^i \parallel H_1^i \parallel H_2^i \parallel H_3^i \parallel H_4^i$

```

428a2f98 71374491 b5c0fbcf e9b5dba5 3956c25b 59f111f1 923f82a4 ab1c5ed5
d807aa98 12835b01 243185be 550c7dc3 72be5d74 80deb1fe 9bdc06a7 c19bf174
e49b69c1 efbe4786 0fc19dc6 240ca1cc 2de92c6f 4a7484aa 5cb0a9dc 76f988da
983e5152 a831c66d b00327c8 bf597fc7 c6e00bf3 d5a79147 06ca6351 14292967
27b70a85 2e1b2138 4d2c6dfc 53380d13 650a7354 766a0abb 81c2c92e 92722c85
a2bfe8a1 a81a664b c24b8b70 c76c51a3 d192e819 d6990624 f40e3585 106aa070
19a4c116 1e376c08 2748774c 34b0bcb5 391c0cb3 4ed8aa4a 5b9cca4f 682e6ff3
748f82ee 78a5636f 84c87814 8cc70208 90befffa a4506ceb bef9a3f7 c67178f2

```

Figure 1 32-Bit Constants for SHA-256

```

428a2f98d728ae22 7137449123ef65cd b5c0fbcfec4d3b2f e9b5dba58189dbbc
3956c25bf348b538 59f111f1b605d019 923f82a4af194f9b ab1c5ed5da6d8118
d807aa98a3030242 12835b0145706fbc 243185be4ee4b28c 550c7dc3d5fffb4e2
72be5d74f27b896f 80deb1fe3b1696b1 9bdc06a725c71235 c19bf174cf692694
e49b69c19ef14ad2 efbe4786384f25e3 0fc19dc68b8cd5b5 240ca1cc77ac9c65
2de92c6f592b0275 4a7484aa6ea6e483 5cb0a9dcabd41fbd4 76f988da831153b5
983e5152ee66dfab a831c66d2db43210 b00327c898fb213f bf597fc7beef0ee4
c6e00bf33da88fc2 d5a79147930aa725 06ca6351e003826f 142929670a0e6e70
27b70a8546d22ffc 2e1b21385c26c926 4d2c6dfc5ac42aed 53380d139d95b3df
650a73548baf63de 766a0abb3c77b2a8 81c2c92e47edaee6 92722c851482353b
a2bfe8a14cf10364 a81a664bbc423001 c24b8b70d0f89791 c76c51a30654be30
d192e819d6ef5218 d69906245565a910 f40e35855771202a 106aa07032bbdb1b8
19a4c116b8d2d0c8 1e376c085141ab53 2748774cdf8eeb99 34b0bcb5e19b48a8
391c0cb3c5c95a63 4ed8aa4ae3418acb 5b9cca4f7763e373 682e6ff3d6b2b8a3
748f82ee5defb2fc 78a5636f43172f60 84c87814a1f0ab72 8cc702081a6439ec
90befffa23631e28 a4506cebde82bde9 bef9a3f7b2c67915 c67178f2e372532b
ca273eceeaa26619c d186b8c721c0c207 eada7dd6cde0eb1e f57d4f7fee6ed178
06f067aa72176fba 0a637dc5a2c898a6 113f9804bef90dae 1b710b35131c471b
28db77f523047d84 32caab7b40c72493 3c9ebe0a15c9bebc 431d67c49c100d4c
4cc5d4becb3e42b6 597f299cfc657e2a 5fcb6fab3ad6faec 6c44198c4a475817

```

Figure 2 64-Bit Constants for SHA-512

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเชิงเปรียบเทียบคุณสมบัติการใช้งาน ของ Hash Algorithm ที่ปรากฏส่วนใหญ่ไม่ได้ เน้นหนักไปในเชิง วิชาการ แต่เป็นให้ความสำคัญ ในการนำไปใช้จริงนั้นคือนำไป พัฒนาโปรแกรม ประยุกต์มากกว่า โดยเริ่มจาก Wei Dai³ ได้นำเสนอผลการทดสอบ Hash Algorithm ชนิดต่างๆ บนคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวล ผลกลางหลายชนิดโดยใช้ โปรแกรมประยุกต์ที่ พัฒนาด้วยชุดคำสั่ง (library) ของ Crypt++ ส่วน Lonewolfer⁴ ได้นำเสนอผลการทดสอบ การใช้งานชุดคำสั่ง (library) หลายแบบที่เกี่ยวกับ การใช้งาน hash algorithm เช่น cityhash, farmhash, murmurhash3, spookyv2, cfarmhash และ C++11 std::hash ซึ่งผลที่ได้จะเป็นการเปรียบเทียบชุดคำสั่งเหล่านี้กับข้อมูล เข้าในรูปแบบของ array ที่ขนาดต่างๆ และสุดท้าย D. Assencio² ได้แนะนำการ ใช้งาน OpenSSL Performance Analysis Tool เบื้องต้นใน การทดสอบประสิทธิภาพการเข้ารหัส ประเภทต่างๆ รวมไปถึง Hash Algorithm ด้วย ซึ่งได้มีการนำเสนอผลการทดสอบบาง ส่วนที่เป็น การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ MD5 และ HMAC-MD5 เพื่อเป็นการสาธิตการ ใช้งานอีกด้วย

วิธีการวิจัย

เป้าหมายของเอกสารฉบับนี้คือนำเสนอผลการ วิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้าน เวลาในการ ทำงาน (speed benchmark) ของ Hash Algorithm 4 ชนิด คือ SHA-1, SHA-256, SHA-512 และ RIPEMD-160 โดยมี ลักษณะ การทดลองและองค์ประกอบดังนี้

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Apple's Mac Book Pro หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ชนิด Intel Core i5 2.3 GHz หน่วยความจำหลัก (main memory) ขนาด 8 GB ระบบเก็บ ข้อมูลถาวร (Hard drive) ขนาด 1 TB ระบบปฏิบัติการ (Operation System) ชนิด Mac OS X 10.11.3 (El Capitan) โปรแกรมฐานระบบ Script Engine ชนิด NodeJS (Google's V8 Engine) version 5.8.0 โปรแกรม OpenSSL รุ่น 0.9.8zh โปรแกรมภาษา JavaScript สำหรับเรียกใช้ Open SSL

ขั้นตอนการดำเนินการ

เริ่มจากการติดตั้งโปรแกรม NodeJS จากนั้นพัฒนาโปรแกรมประยุกต์เพื่อเรียกใช้ OpenSSL ด้านการเปรียบเทียบความเร็ว (speed test) ตามที่อธิบายไว้โดย Ristic¹ ในการทดสอบ การทำงานของ Hash Algorithm ทั้ง 4 ชนิดที่ได้เลือกไว้ โดยสั่งให้โปรแกรมทำงานโดยแต่ละ algorithm จะมีการทำงานซ้ำจำนวน 16 รอบและ ทำการเก็บบันทึกผลลัพธ์ที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์ ซึ่งรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการทำงานโดยสังเขป

ผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของ OpenSSL Speed Test ซึ่งมีเข้ารหัสของ Hash Algorithm ด้วยข้อมูลทดสอบขนาด 16, 64, 256, 1024 และ 8192 ไบท์ ติดต่อกันเป็นเวลา 3 วินาที โดยนับจำนวนรอบของการทำงาน (loop count) ของแต่ละ algorithm (Table 1) ซึ่งผลลัพธ์ ที่ได้สามารถ จำแนกได้ตามขนาดข้อมูลดังนี้

ข้อมูลขนาด 16 Byte (128 bit) นั้น SHA-1, SHA-256 และ RIPEMD-160 จะต้องการทำ padding เพื่อให้ข้อมูลมีขนาด 512 bit และ 1024bit สำหรับ SHA-512 ตามขนาดของ block size ซึ่งทุก algorithm ก็จะย่อยข้อมูล (digest) เพียง 1 รอบจากผลจะเห็นได้ว่า SHA-1 ทำงานได้จำนวนครั้งมากที่สุด เพราะมีการทำงานที่ซับซ้อนน้อยที่สุดอีกทั้งมีผลลัพธ์ ขนาด 160bit ซึ่งน้อยที่สุดเมื่อ เทียบกับชนิดอื่นๆ รองลงมาคือ RIPEMD-160 ที่มีขนาดผลลัพธ์เท่ากับคือ 160 Bit ต่อมาก็คือ SHA-256 ซึ่งมีผลลัพธ์ขนาด 256 Bit และสุดท้ายคือ SHA-512 ที่มีผลลัพธ์ขนาด 512bit

ข้อมูลขนาด 64 Byte (512 bit) มีขนาดเท่ากับ block size ของ SHA-1, SHA-256 และ RIPEMD-160 หลังจากผ่าน

การ padding จะมีขนาดข้อมูล ก่อนประมวลผลอยู่ที่ 1024 bit ทำให้ในเวลาย่อยข้อมูลต้องทำ 2 รอบต่อ ครั้ง ส่วน SHA-512 ที่มี block size เท่ากับ 1024bit จึงมีการย่อยข้อมูล 1 รอบต่อ ครั้ง ดังนั้นจะเห็นว่าความเร็วในการย่อยข้อมูลของ SHA-512 สูงกว่าทั้ง SHA-256 และ RIPEMD-160 เนื่องจาก algorithm ทั้งสอง นี้มีการทำงานภายในที่มีลำดับ ขั้นตอนมากกว่า อย่างไรก็ตาม SHA-1 ก็ยัง มีความเร็วที่สุดเพราะมีความซับซ้อนน้อยกว่าอีก 3 ชนิดอยู่มากจึงยังมีผลการทำงาน เป็นอันดับแรก และตาม มาด้วย SHA-512, RIPEMD-160 และ SHA-256 ตามลำดับ

ข้อมูลขนาด 256 Byte (2048 bit) เมื่อนำ มาย่อย ด้วย SHA-1, SHA-256 และ RIPEMD-160 โดยหลังจาก padding แล้วจะมีขนาดเท่ากับ 2560 bit ทำให้ในการ ย่อยจะต้องทำทั้งหมด $2560/512 = 5$ รอบ แต่เมื่อใช้กับ SHA-512 จะถูก padding จนได้ขนาด 3072 bit ซึ่งต้องทำทั้งหมด $3072/1024 = 3$ รอบ ซึ่งทำให้เร็วกว่า SHA-256 และ RIPEMD-160 ดังนั้นลำดับ ความเร็ว จึงเหมือนเดิมคือ SHA-1 เร็วที่สุด รองลงมาคือ SHA-512 และตามมาด้วย RIPEMD-160 และ สุดท้าย คือ SHA-256

ข้อมูลขนาด 1024 Byte (8192 bit) และ 8192 Byte (65536 bit) ผลการเปรียบเทียบ ความเร็วในการทำงานยังคงเหมือนเดิมคือ SHA-1 มีความเร็วสูงสุดแล้วตามมาด้วย SHA-512 ซึ่งเหตุผลที่ทำให้ SHA-512 ทำงานได้เร็วกว่า SHA-256 และ RIPEMD-160 เนื่องจากเมื่อข้อมูลมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับ Block Size มากๆส่งผลให้ การแบ่งเป็น block ในการย่อยแต่ละรอบ SHA-512 จะมีจำนวน block น้อยกว่านั้นคือครึ่งหนึ่ง ผลก็คือทำให้สามารถย่อยข้อมูล ได้เร็วกว่า SHA-256 และ RIPEMD-160 เพราะใช้ จำนวนรอบน้อยกว่าในการย่อยนั่นเอง

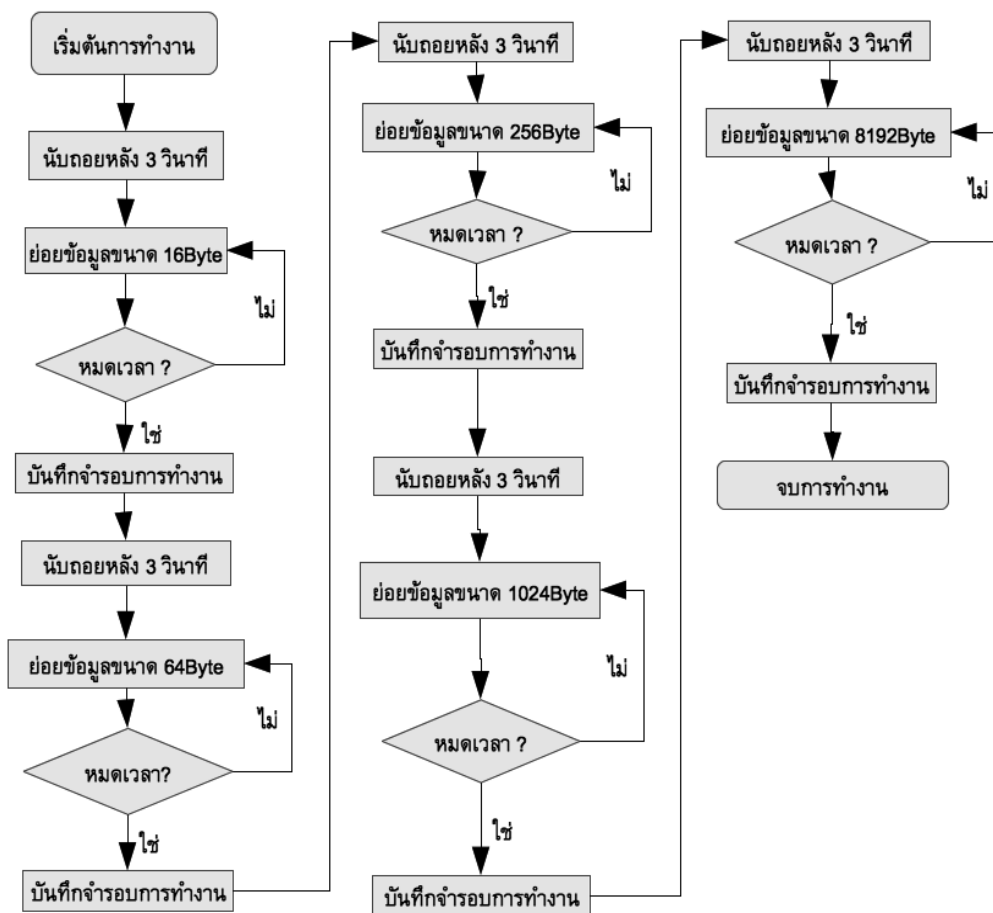


Figure 3 Flowchart of OpenSSL Caller Application

Table 1 Testing results showing number of loop count for each algorithm

Test Data Block size	Loop Count			
	SHA-1	SHA-256	SHA-512	RIPMD-160
16 Bytes	5883385	3829946	2646815	3966983
64 Bytes	4409469	2190872	2496280	2365671
256 Bytes	2054471	921496	1140823	1072700
1024 Bytes	778829	270388	407891	360938
8192 Bytes	104233	37605	58370	48794

Table 2 Calculating throughputs from loop count and test data size for each algorithm

Hash Algorithms	Throughput (Kbytes / Second)				
	16 bytes	64 bytes	256 bytes	1024 bytes	8192 bytes
SHA-1	31425.24	94133.25	175459.61	266058.11	284704.82
SHA-256	20431.17	46792.18	78768.1	92321.12	102692.06
SHA-512	14119.74	53278.75	97459.55	139400.07	159433.5
RIPMD-160	21176.56	50544.48	91733.56	123249.39	133414.74

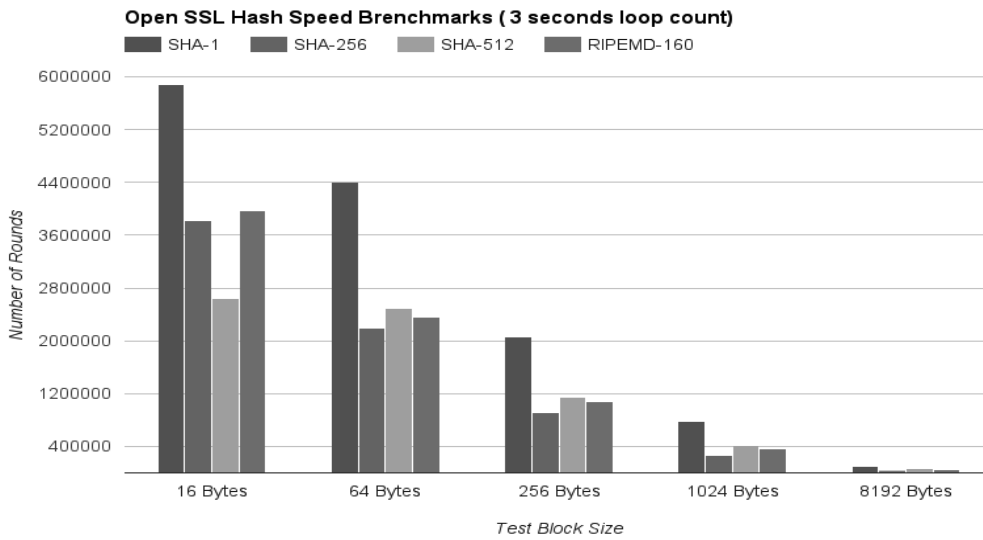


Figure 4 Bar chart showing testing result comparison from Table 1

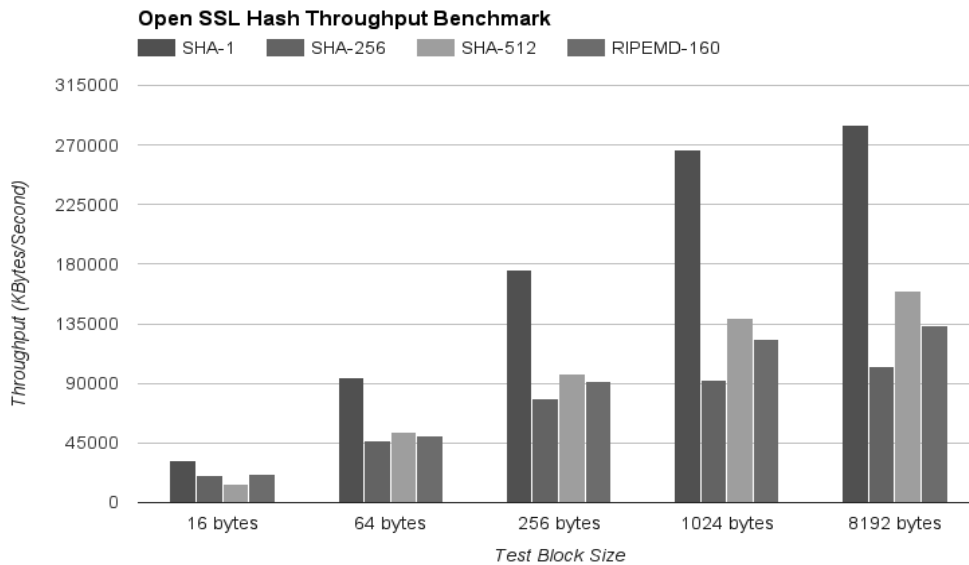


Figure 5 Bar chart showing throughput comparison for each algorithm

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อความเร็วในการทำงานคือขนาดของผลลัพธ์ (output size) ขนาดของข้อมูลที่ถูกลบย่อยแต่ละรอบ (block size) และจำนวนขั้นตอนย่อยภายใน (internal step count/ complexity) นอกจากนี้ประสิทธิภาพการประมวลผลในการย่อยข้อมูลต่อ เวลา (Throughput) ของแต่ละ Algorithm เพิ่มขึ้นตามขนาดของข้อมูลทดสอบ โดยผลการ เปรียบเทียบพบว่า SHA-1 เป็น algorithm ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือ SHA-512 ตามมาด้วย RIPEMD-160 และต่ำที่สุดคือ SHA-256 อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่า SHA-1 นั้นพบว่ามีช่องโหว่ที่ไม่ปลอดภัยจากการ โจมตี ดังนั้น Hash algorithm ที่เหมาะสมต่อ การใช้งาน

สำหรับ cloud application ในปัจจุบัน มากที่สุดคือ SHA-512 ซึ่งการโจมตียังเป็น ไปได้ยากมากด้วยสมรรถนะของคอมพิวเตอร์ ในปัจจุบัน แต่ควรมีการประเมินเป็นระยะๆ ในอนาคตเพราะมีความเป็นไปได้สูงที่จะสามารถ ถูกโจมตีได้เมื่อประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์เพิ่มทวีขึ้นในราคาเท่าเดิมสุดท้ายนี้เนื่องจากผลการ ทดลองที่ได้เป็นเพียงผลจากการทำงานของโปรแกรม OpenSSL เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ได้ทดสอบโปรแกรม ประยุกต์หรือชุดคำสั่ง (Library) ชนิดอื่นๆประกอบซึ่งอาจมีความแตกต่าง ในด้านผลการทดลองจึงควรที่จะมีการดำเนินการทดลองที่เหมือนกันกับชุดคำสั่ง หรือ โปรแกรมอื่นๆ เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ชัดเจน และ แม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Ristic, "Performance", OpenSSL CookBook, Feisty Duck Limited, May 2013.
2. D. Assencio, "Performance of cryptographic algorithms in OpenSSL", Diego Assencio Blog, <http://diego.assencio.com/?index=0e18f5485ff4de58d94e494e3649c6eb>, April 9, 2014.
3. Wei Dai, "Crypto++ 5.6.0 Benchmarks", Crypto++ Library 5.6.3 Website, <https://www.cryptopp.com/benchmarks.html>, March 31, 2009.
4. Lonewolf, "Benchmarking Hash Functions", Lonewolf Blog, <https://lonewolf.wordpress.com/2015/01/05/benchmarking-hash-functions>, January 5, 2015
5. A. Bosselaers, "The RIPEMD160 Page", <http://homes.esat.kuleuven.be/~bosselae/ripemd160.html>
6. H. Dobbertin, A. Bosselaers, B. Preneel, "RIPEMD-160, a strengthened version of RIPEMD", Fast Software Encryption, LNCS 1039, D. Gollmann, Ed., Springer-Verlag, 1996, pp. 71-82.
7. S. Wanzhong, G. Hongpeng, He Huilei, and D. Zibin, "Design and Optimized Implementation of the Sha-2 (256, 384, 512) Hash Algorithms", 7th International Conference on ASIC (2007), pp. 858-61.
8. SHA-2 Standard, National Institute of Standards and Technology (NIST), "Secure Hash Standard", FIPS PUB 180-4, <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.FIPS.180-4>

การประเมินเชิงพื้นที่ของความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

Spatial Risk Assessment of Dengue Hemorrhagic Fever Occurrence in Maha Sarakham Municipality

เมรินทร์ วรณพงษ์,¹ อุทัยวรรณ สิงาม,¹ จิระเดช มาจันแดง^{2*}

Merin Wanapong,¹ Uthaiwan Seengam,¹ Jiradech Majandang^{2*}

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 3 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม แบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ 1) ประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 6 ปัจจัยประกอบด้วย ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรคซ้ำซาก จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง 2) ประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด จากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัยประกอบด้วย ความหนาแน่นของประชากร ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง และระยะห่างจากแหล่งน้ำ พบว่ามี 3 ชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด คือ ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2 พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากและมากที่สุดภายในทั้ง 3 ชุมชน ส่วนใหญ่เป็นบริเวณที่ประชากรกลุ่มเสี่ยงอาศัยอยู่หนาแน่น ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจทางระบาดวิทยา ในกระบวนการงานเฝ้าระวังและป้องกันการเกิดโรคไข้เลือดออกทั้งเชิงรุกและเชิงรับต่อไป

คำสำคัญ: โรคไข้เลือดออก ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เทศบาลเมืองมหาสารคาม

Abstract

The geographic information system model and the analytical hierarchical process were applied in this study, in order to assess the areas which were at risk of dengue hemorrhagic fever occurrence in Maha Sarakham municipality. The assessment was divided into two main categories which were: 1) to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities by using six significant factors including house index of mosquito (HI), distance from water bodies, endemic areas, number of households, number of population and number of population at risk; and 2) to assess the risks of dengue hemorrhagic fever occurrence in the communities that are the most highly at risk by using 3 significant factors including population density, density of population at risk, and distance from water bodies. The results of this study revealed three of the most highly at risk communities which were Thanya community 1, Pohsri community 1 and Pohsri community 2. In addition, the high and very high risk areas of those three communities were mostly in the areas that had high density of population at risk. Thus, these results can be used to determine the epidemiology of dengue hemorrhagic fever in the proactive and reactive surveillance program.

Keywords: Dengue hemorrhagic fever, Geographic information system, Maha Sarakham municipality

¹ นิสิตปริญญาตรี, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 44150

¹ Bachelor degree student, ² Assist. Prof., Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. * Corresponding author; Jiradech Majandang, Department of Geography, Faculty of Humanities and Social Sciences, Mahasarakham University, 44150, Thailand. Jiradech_m@hotmail.com

บทนำ

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคติดต่อที่มีอยู่หลายบ้านเป็นพาหะนำโรค¹ พบได้ตลอดทั้งปีแต่จะพบมากในฤดูฝน ทั้งในเขตเมืองและชนบท² พบในเด็กมากกว่าผู้ใหญ่ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กอายุระหว่าง 5-9 ปี³ เกิดจากการติดเชื้อไวรัสเด็งกี (dengue virus) 4 ชนิด คือ DEN-1, DEN-2, DEN-3 และ DEN-4⁴ ผู้ป่วยที่อยู่ในระยะไข้สูงจะเป็นระยะที่มีเชื้อไวรัสอยู่ในกระแสเลือด เมื่อถูกยุงตัวเมียกัดและดูดเลือดเชื้อไวรัสในเลือดจะเข้าสู่กระเพาะยุง และเข้าไปอยู่ในเซลล์ที่ผนังกระเพาะมากขึ้น จากนั้นจะเดินทางเข้าสู่ต่อมน้ำลายพร้อมเข้าสู่คนที่ถูกกัดในครั้งต่อไป ทำให้เกิดการแพร่กระจายอย่างรวดเร็ว⁵ เมื่อเชื้อไวรัสเด็งกีเข้าสู่กระแสเลือดของคนที่ถูกกัดใหม่ จะมีระยะฟักตัวของโรคประมาณ 5-8 วัน ก่อนที่จะแสดงอาการของโรคไข้เลือดออก โดยมีอาการที่สำคัญ คือ ไข้สูงเฉียบพลัน มีเลือดออก ตับโต และเกิดภาวะช็อก⁶ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีรายงานการระบาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2497 ที่ประเทศฟิลิปปินส์ ส่วนในประเทศไทยเริ่มมีการระบาดครั้งแรกในปี พ.ศ. 2501 ที่กรุงเทพมหานคร มีรายงานจำนวนผู้ป่วย 2,706 ราย เสียชีวิต 296 ราย อัตราการป่วยเท่ากับ 10.6 ต่อประชากรแสนคน อัตราการเสียชีวิตเท่ากับ 10.9 ต่อประชากรแสนคน และมีการระบาดไปตามจังหวัดต่าง ๆ ที่มีประชากรหนาแน่นอย่างรวดเร็วจนพบว่ามี การระบาดในทุกจังหวัดของประเทศไทย ภายในระยะเวลา 5 ปีหลังจากการระบาดครั้งแรก⁷

สำหรับในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น (พื้นที่รับผิดชอบจังหวัดอุดรธานี หนองบัวลำภู หนองคาย เลย ขอนแก่น มหาสารคาม และร้อยเอ็ด) ในรอบ 10 ปี (พ.ศ. 2545-2554) พบว่าในช่วง 5 ปีแรก (พ.ศ. 2545-2549) ทุกจังหวัดมีแนวโน้มของอัตราป่วยที่สูงขึ้นจนถึงปี พ.ศ. 2549 โดยในปีนี้จังหวัดร้อยเอ็ดมีอัตราป่วยสูงสุด มีอัตราป่วยเท่ากับ 95.01 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือจังหวัดขอนแก่น เลย และกาฬสินธุ์ โดยมีอัตราป่วยเท่ากับ 83.25, 60.96 และ 59.37 ต่อประชากรแสนคนตามลำดับ ส่วนในช่วง 5 ปีหลัง (พ.ศ. 2550-2554) มีการระบาดของโรคสูงสุดในปี พ.ศ. 2550 โดยร้อยเอ็ดยังคงเป็นจังหวัดที่มีอัตราป่วยสูงสุด มีอัตราป่วยเท่ากับ 316.25 ต่อประชากรแสนคน รองลงมาคือจังหวัดกาฬสินธุ์ มหาสารคาม และขอนแก่น มีอัตราป่วยเท่ากับ 292.87, 157.90 และ 105.35 ต่อประชากรแสนคนตามลำดับ⁸

สถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคไข้เลือดออกของจังหวัดมหาสารคามในปี พ.ศ. 2556 (1 มกราคม ถึง 19 ตุลาคม พ.ศ. 2556) มีการรายงานอัตราการป่วยเท่ากับ

263.40 ต่อประชากรแสนคน ในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม พบการระบาดมากที่สุดในพื้นที่อำเภอกันทรวิชัย รองลงมาคืออำเภอเมืองมหาสารคาม⁹ ในพื้นที่อำเภอเมืองมหาสารคาม พบว่ามี การระบาดมากที่สุดในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม จากรายงานสถิติผู้ป่วยโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2548 ถึงปี พ.ศ. 2556 พบว่ามี การระบาดในลักษณะหนึ่งปีเว้นสองปี ในปี พ.ศ. 2550 มีอัตราการป่วยเท่ากับ 114 ราย ถัดมาคือปี พ.ศ. 2553 มีอัตราการป่วยเท่ากับ 125 ราย เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2550 11 ราย แต่ในปี พ.ศ. 2556 มีอัตราการป่วยทั้งสิ้น 283 ราย ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปีที่มีการระบาดสูงสุดก่อนหน้าถึง 158 ราย¹⁰

จากสถิติดังกล่าวจะเห็นได้ว่าปัญหาโรคไข้เลือดออกยังเป็นปัญหาด้านสาธารณสุขที่สำคัญ และการดำเนินการควบคุมโรคยังทำได้ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากต้องรอให้เกิดโรคก่อนจึงจะดำเนินการ ดังนั้นเพื่อให้การวางแผนดำเนินการป้องกัน และควบคุมโรคไข้เลือดออกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก เพื่อกำหนดเป็นพื้นที่เร่งด่วนในการดำเนินการป้องกัน และควบคุมโรค ปัจจุบันได้มีการประยุกต์นาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การกระจายตัวและกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกเพิ่มมากขึ้น^{11,12,13,14,15} เนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการรวบรวม จัดเก็บ ปรับปรุง วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านระบาดวิทยา จึงเป็นเครื่องมือสำคัญในการนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อระบุพื้นที่การเกิดโรค การกระจายตัวในเชิงเวลา สถานที่ และกลุ่มประชากรได้ ทำให้การวางแผนป้องกันและควบคุมโรคติดต่อมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น¹⁶ รวมถึงการนำมาใช้วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชน และส่วนที่สองเป็นการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการสนับสนุนการบริหารจัดการในการควบคุม ป้องกัน และเฝ้าระวังโรคไข้เลือดออกให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา

ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาและการเตรียมข้อมูลปัจจัย

1. การประเมินระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือด

ออกของชุมชน

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 6 ปัจจัย คือ ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรค ซ้ำซาก จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง

- ดัชนีลูกน้ำยุงลาย ได้จากกลุ่มงานเวชกรรมสังคม โรงพยาบาลมหาสารคาม ศูนย์แพทย์ชุมชนอุทัยทิศ ศูนย์แพทย์ชุมชนบูรพา ศูนย์แพทย์ชุมชนสามัคคี และกลุ่มงานเวชกรรมสังคม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดเก็บปี พ.ศ. 2556 นำมาจำแนกค่าดัชนีลูกน้ำยุงลายเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน (equal interval)

- ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ข้อมูลแหล่งน้ำได้จากการตีความภาพถ่ายออร์โทรี มาตราส่วน 1:4,000 นำมาสร้างแนวกันชน (buffer) ในระยะ 100 เมตร และพื้นที่แนวกันชนที่ได้หารด้วยเนื้อที่ชุมชน จากนั้นจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- การเกิดโรคซ้ำซาก มาจากข้อมูลสถิติการเกิดโรคไข้เลือดออกของแต่ละชุมชนในปี พ.ศ. 2552 ถึง 2556 จากหน่วยงานระบาดวิทยา สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม แบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ชุมชนที่เกิดโรคซ้ำซาก และชุมชนที่ไม่เกิดโรคซ้ำซาก โดยชุมชนที่เกิดโรคซ้ำซากเป็นชุมชนที่มีการเกิดโรค 3 ครั้งขึ้นไปภายใน 5 ปี

- จำนวนหลังคาเรือน เป็นข้อมูลจำนวนหลังคาเรือนตามทะเบียนบ้านจากกองสวัสดิการ เทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2557 นำมาหารด้วยเนื้อที่ชุมชน และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- จำนวนประชากร ได้จากทะเบียน เทศบาลเมืองมหาสารคามปี พ.ศ. 2557 นำมาหารด้วยเนื้อที่ชุมชน และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- จำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยง เป็นจำนวนประชากรที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี ในแต่ละชุมชน จากข้อมูลของศูนย์แพทย์ชุมชนอุทัยทิศ ศูนย์แพทย์ชุมชนบูรพา ศูนย์แพทย์ชุมชนสามัคคี และกลุ่มงานเวชกรรมสังคม คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม นำมาจำแนกเป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

2. การประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด

ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ความหนาแน่นของประชากร ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง และระยะห่างจากแหล่งน้ำ

- ความหนาแน่นของประชากร นำข้อมูลจำนวนสมาชิกในครัวเรือนมาประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล (kernel density) และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- ความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง นำข้อมูลจำนวนสมาชิกในครัวเรือนที่เป็นประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อการเกิดโรค มาประมาณค่าความหนาแน่นแบบเคอร์เนล (kernel density) และจำแนกค่าที่ได้เป็น 5 ช่วง ด้วยวิธีการแบ่งช่วงค่าในแต่ละอันตรภาคให้เท่ากัน

- ระยะห่างจากแหล่งน้ำ สร้างแนวกันชนจากแหล่งน้ำผิวดิน 3 ช่วงคือ น้อยกว่า 100 เมตร 100 ถึง 400 เมตร และมากกว่า 400 เมตร

การกำหนดค่าคะแนน

การกำหนดค่าคะแนน (rating) ในแต่ละปัจจัย ใช้วิธีผลบวกค่าลำดับชั้น (rank sum) ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมวิธีการหนึ่ง¹⁷ มีสมการในการคำนวณ¹⁸ คือ

$$R_j = \frac{n - r_j + 1}{\sum_{k=1}^n (n - r_k + 1)}$$

โดย

R_j คือ ค่าคะแนนในช่วงค่าหรือกลุ่มที่ j

n คือ จำนวนช่วงค่าหรือกลุ่มของแต่ละปัจจัย ($k=1, 2, \dots, n$)

r_j คือ ลำดับชั้นของช่วงค่าหรือกลุ่มที่ j ของแต่ละปัจจัย

ตำแหน่งที่มีคะแนนสูงสุด แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากที่สุด ผลการคำนวณค่าคะแนนของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนแสดงใน Table 1 และค่าคะแนนของปัจจัยที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุดแสดงใน Table 2

Table 1 The classification and rating of factors to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities

house index of mosquito (HI)		distance from water bodies		endemic areas		number of households		number of population		number of population at risk	
range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹
0.00-10.84	0.07	0.00-0.44	0.07	Yes	0.33	140.36-734.37	0.07	172.91-1520.15	0.07	65-107	0.07
10.85-21.68	0.13	0.45-0.88	0.13	No	0.67	734.38-1,328.37	0.13	1520.16-2867.38	0.13	108-149	0.13
21.69-32.52	0.20	0.89-1.32	0.20			1328.38-1922.38	0.20	2867.39-4214.62	0.20	150-191	0.20
32.53-43.36	0.27	1.33-1.76	0.27			1922.39-2516.38	0.27	4214.63-5561.85	0.27	192-233	0.27
43.37-54.20	0.33	1.77-2.20	0.33			2516.39-3110.39	0.33	5561.86-6909.09	0.33	234-275	0.33

R¹ = rating

Table 2 The classification and rating of factors to assess the risk of dengue hemorrhagic fever occurrence in the communities that is the most highly at risk

distance from water bodies in three communities		density of population at risk in Thanya community 1		population density in Thanya community 1		density of population at risk in Pohsri community 1		population density in Pohsri community 1		density of population at risk in Pohsri community 2		population density in Pohsri community 2	
range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹	range	R ¹
<100	0.50	0-4.04	0.07	0-27.66	0.07	0-4.90	0.07	0-26.69	0.07	0-7.39	0.07	0-42.51	0.07
100-400	0.33	4.05-8.08	0.13	27.67-55.32	0.13	4.91-9.79	0.13	26.70-53.37	0.13	7.40-14.79	0.13	42.52-85.01	0.13
>400	0.17	80.9-12.12	0.20	55.33-82.97	0.20	9.80-14.69	0.20	53.38-80.06	0.20	14.80-22.18	0.20	85.01-127.52	0.20
		12.13-16.16	0.27	82.98-110.63	0.27	14.70-19.58	0.27	80.07-106.74	0.27	22.19-29.58	0.27	127.53-170.03	0.27
		16.17-20.20	0.33	110.64-138.29	0.33	19.59-24.48	0.33	106.75-133.43	0.33	29.59-36.97	0.33	170.04-212.54	0.33

R¹ = rating

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก

การกำหนดค่าถ่วงน้ำหนัก (weight) ใช้วิธีการในการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (analytic hierarchical process, AHP) พัฒนาโดย Saaty¹⁹ ที่ได้รับความนิยมและนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย²⁰ โดยการจับคู่เปรียบเทียบ (pairwise comparison method) ในแต่ละคู่จะมีการกำหนดระดับความสำคัญของปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบกันตั้งแต่ 1 ถึง 9 (Table 3)

Table 3 Scale for pairwise comparison¹⁹

Intensity of Importance	Definition
1	Equal importance
2	Equal to moderate importance
3	Moderate importance
4	Moderate to strong importance
5	Strong importance
6	strong to very strong importance
7	Very strong importance
8	Very to extremely strong importance
9	Extremely importance

การประเมินความสอดคล้องของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้
ต้องการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (consistency index,
CI) ก่อน โดยคำนวณได้จากสมการ

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

λ_{\max} คือ ค่าไอเกน (eigenvalue) สูงสุดที่ได้จากเม
ทริกซ์การจับคู่เปรียบเทียบ

n คือ จำนวนปัจจัย

เมื่อได้ค่าดัชนีความสอดคล้องจะทำการคำนวณ
อัตราส่วนความสอดคล้อง (consistency ratio, CR) โดย
คำนวณได้จากสมการ

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

โดย RI คือ ค่าดัชนีอัตราส่วน (ratio index)

การประเมินความสอดคล้องของค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้
พิจารณาจากอัตราส่วนความสอดคล้อง หากมีค่าน้อยกว่า 0.1
แสดงว่าค่าถ่วงน้ำหนักมีสอดคล้อง แต่ถ้ามากกว่า 0.1 แสดง
ว่าข้อมูลบางส่วนไม่สอดคล้องต้องมีการย้อนกลับไปตรวจสอบ
การจับคู่เปรียบเทียบปัจจัยอีกครั้ง

การลำดับความสำคัญของปัจจัยในการศึกษาครั้งนี้
ใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ประกอบด้วย นักวิชาการสาธารณสุข
ชำนาญการ 2 คน นักวิชาการสาธารณสุข 3 คน พยาบาล
วิชาชีพชำนาญการ 1 คน พยาบาลวิชาชีพ 3 คน และผู้อำนวยการ
ส่วนส่งเสริมสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม 1 คน

ผลการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการประเมิน
ระดับความเสี่ยงการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนของดัชนี
ลูกน้ำยุงลาย ระยะห่างจากแหล่งน้ำ การเกิดโรคซ้ำซาก
จำนวนหลังคาเรือน จำนวนประชากร และจำนวนประชากร
กลุ่มเสี่ยง เท่ากับ 0.48, 0.27, 0.14, 0.05, 0.03 และ 0.04
ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนความสอดคล้องเท่ากับ 0.098

ส่วนค่าถ่วงน้ำหนักที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อ
การเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมาก
ที่สุด ของความหนาแน่นของประชากรกลุ่มเสี่ยง ความหนา
แน่นของประชากร และระยะห่างจากแหล่งน้ำ เท่ากับ 0.54,
0.30 และ 0.16 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนความสอดคล้อง
เท่ากับ 0.008

การคำนวณค่าดัชนี

ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของ
ชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และพื้นที่เสี่ยงต่อการ
เกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด
ประเมินจากค่าดัชนีที่คำนวณด้วยวิธีการให้ค่าน้ำหนักแบบง่าย
(simple additive weighting method) ดังสมการ¹⁸

$$I = \sum_j W_j R_{ij}$$

โดย I คือ ค่าดัชนี (index)

W_j คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัยที่ j

R_{ij} คือ ค่าคะแนนในช่วงค่าหรือกลุ่มที่ i ในปัจจัยที่ j

นำค่าดัชนีที่ได้มาแบ่งกลุ่มเพื่อจัดระดับความเสี่ยง
ออกเป็น 5 ระดับ ประกอบด้วย น้อยที่สุด น้อย ปานกลาง มาก
และมากที่สุด ด้วยวิธีการ geometrical interval เป็นการจัด
แบ่งช่วงค่าโดยพิจารณาจากความแตกต่างของค่าที่ต้องการ
จัดกลุ่ม ค่าที่มีความแตกต่างกันมากจะถูกจัดกลุ่มแยกออก
จากกัน นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงการกระจายของข้อมูลใน
แต่ละระดับความเสี่ยงให้มีจำนวนใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษา

ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของ ชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 0.29 เมื่อนำค่า
ดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 4)
พบว่าชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออก
มากที่สุดอยู่ทางด้านเหนือของเทศบาล (Figure 1) จำนวน
3 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และ
ชุมชมโพธิ์ศรี 2 เนื่องจากชุมชนธัญญา 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2
เป็นชุมชนที่มีค่าดัชนีลูกน้ำยุงลายสูง ส่วนชุมชนโพธิ์ศรี 1 เป็น
ชุมชนที่มีความหนาแน่นของแหล่งน้ำสูงกว่าชุมชนอื่น ชุมชน
ระดับความเสี่ยงมากมีจำนวน 4 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชน
ธัญญา 2 ชุมชนอุทัยทิศ 1 ชุมชนบ้านแมต และชุมชนส่องใต้
ชุมชนระดับความเสี่ยงปานกลางมีจำนวน 6 ชุมชน ประกอบด้วย
ชุมชนมหาชัย ชุมชนนาควิชัย 1 ชุมชนศรีสวัสดิ์ 3 ชุมชน
อุทัยทิศ 2 ชุมชนอุทัยทิศ 4 และชุมชนส่องเหนือ ส่วนชุมชน
ระดับความเสี่ยงต่ำมีจำนวน 14 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชน
ปัจฉิมทัศน์ 1 ชุมชนปัจฉิมทัศน์ 2 ชุมชนศรีสวัสดิ์ 2 ชุมชน
ธัญญา 3 ชุมชนธัญญา 4 ชุมชนสามัคคี 1 ชุมชนสามัคคี 2
ชุมชนอภิสิทธิ์ 1 ชุมชนอภิสิทธิ์ 2 ชุมชนนาควิชัย 2 ชุมชน
นาควิชัย 3 ชุมชนเครือวัลย์ 1 ชุมชนเครือวัลย์ 2 และชุมชน

ศรีมหาสารคาม และชุมชนระดับความเสี่ยงต่ำมากจำนวน 3 ชุมชน ประกอบด้วย ชุมชนตักสิลา ชุมชนศรีสวัสดิ์ 1 และ ชุมชนอุทัยทิศ 3

Table 4 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities

Index value	Risk levels	Number of community	Percent
0.13-0.15	Very low	3	10.00
0.15-0.17	Low	14	46.67
0.17-0.20	Moderate	6	20.00
0.20-0.23	High	4	13.33
0.23-0.29	Very high	3	10.00

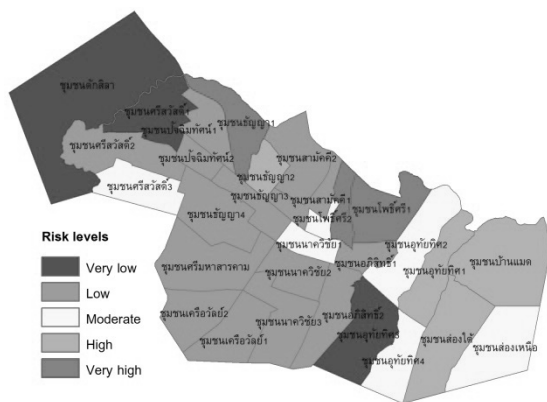


Figure 1 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence among the communities in Maha Sarakham municipality

พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด

1. ชุมชนัญญา 1

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.33 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 5) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดอยู่บริเวณตอนใต้และทางทิศตะวันออกของพื้นที่ (Figure 2) มีเนื้อที่ประมาณ 70,286 ตร.ม. (ร้อยละ 9.70) และ 46,903 ตร.ม. (ร้อยละ 6.47) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางส่วนใหญ่พบบริเวณตอนบนของพื้นที่บริเวณที่ติดกับห้วยคะคาง และพื้นที่รอบสระน้ำ มีเนื้อที่ประมาณ 285,604 ตร.ม. (ร้อยละ 39.42) ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยและน้อยที่สุด มีเนื้อที่ประมาณ 292,733 ตร.ม. (ร้อยละ 40.41) และ 28,904 ตร.ม. (ร้อยละ 3.99) ตามลำดับ

Table 5 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Thanya community 1

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.08-0.09	Very low	28,904	3.99
0.09-0.10	Low	292,733	40.41
0.10-0.11	Moderate	285,604	39.42
0.11-0.16	High	70,286	6.47
0.16-0.33	Very high	46,903	6.47

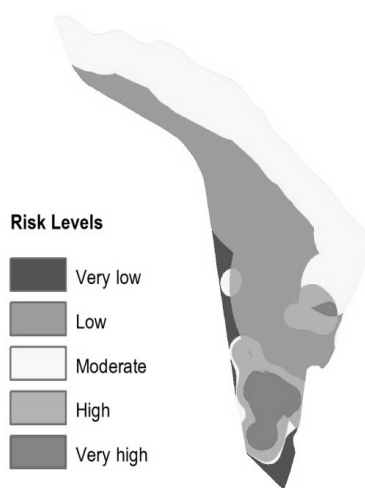


Figure 2 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Thanya community 1

2. ชุมชนโพธิ์ศรี 1

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.09 ถึง 0.35 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 6) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดกระจายตัวอยู่บริเวณตอนใต้ ตะวันออกและตะวันตกของพื้นที่ (Figure 3) มีเนื้อที่ประมาณ 49,398 ตร.ม. (ร้อยละ 5.42) และ 41,271 ตร.ม. (ร้อยละ 4.53) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางพบน้อยที่สุดส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่รอบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากมีเนื้อที่ประมาณ 34,825 ตร.ม. (ร้อยละ 3.82) พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยเป็นพื้นที่ที่มีเนื้อที่มากที่สุดประมาณ 659,866 ตร.ม. (ร้อยละ 72.43) ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำไม่เกิน 100 เมตร และพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยที่สุด เป็นพื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำระหว่าง 100 ถึง 400 เมตร และเป็นบริเวณที่ไม่มีประชาชนอาศัย มีเนื้อที่ประมาณ 125,693 ตร.ม. (ร้อยละ 13.80)

Table 6 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 1

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.09-0.10	Very low	125,693	13.80
0.10-0.11	Low	659,866	72.43
0.11-0.14	Moderate	34,825	3.82
0.14-0.21	High	49,398	5.42
0.21-0.35	Very high	41,271	4.53

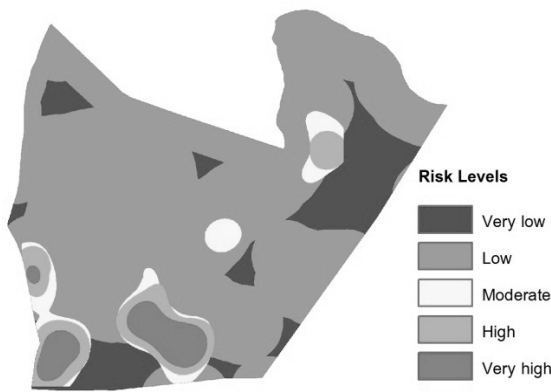


Figure 3 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 1

3. ชุมชนโพธิ์ศรี 2

ค่าดัชนีที่ได้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.08 ถึง 0.33 เมื่อนำค่าดัชนีมาจำแนกด้วยวิธีการ geometrical interval (Table 7) พบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกมากและมากที่สุดกระจายตัวอยู่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ (Figure 4) มีเนื้อที่ประมาณ 40,390 ตร.ม. (ร้อยละ 11.97) และ 34,465 ตร.ม. (ร้อยละ 10.21) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงปานกลางเป็นพื้นที่ที่พบน้อยที่สุด ส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่รอบพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมาก มีเนื้อที่ประมาณ 15,857 ตร.ม. (ร้อยละ 4.70) พื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยเป็นพื้นที่ที่มีเนื้อที่มากที่สุด ประมาณ 169,723 ตร.ม. (ร้อยละ 50.30) พบบริเวณตอนบนของพื้นที่ ในพื้นที่ที่อยู่ห่างจากแหล่งน้ำไม่เกิน 100 เมตร และเป็นบริเวณที่ไม่มีประชาชนอาศัยอยู่หรืออาศัยอยู่เบาบาง และพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงน้อยที่สุด เป็นพื้นที่ที่ห่างจากแหล่งน้ำระหว่าง 100 ถึง 400 เมตร และมีประชาชนอาศัยอยู่เบาบาง มีเนื้อที่ประมาณ 76,994 ตร.ม. (ร้อยละ 22.82)

Table 7 Index value and the risk levels of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 2

Index value	Risk levels	Area cover (m ²)	Percent
0.08-0.10	Very low	76,994	22.82
0.10-0.12	Low	169,723	50.30
0.12-0.14	Moderate	15,857	4.70
0.14-0.20	High	40,390	11.97
0.20-0.33	Very high	34,465	10.21

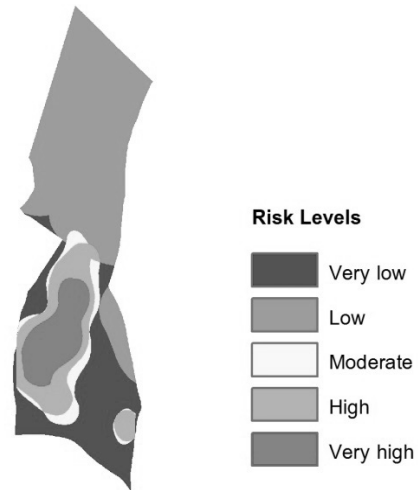


Figure 4 the risk map of dengue hemorrhagic fever occurrence in Pohsri community 2

วิจารณ์และสรุปผล

โรคไข้เลือดออกเป็นโรคที่ยังไม่มีวัคซีนที่มีประสิทธิภาพในการป้องกัน ดังนั้นการลดการแพร่กระจายของโรคที่ดีที่สุด คือ การควบคุมยุงลาย รวมถึงการเฝ้าระวังต่อการเกิดโรค ข้อมูลพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดจึงมีความสำคัญต่องานด้านระบาดวิทยา จากการนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการประเมินระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกของชุมชนในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกภายในชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด พบชุมชนที่มีระดับความเสี่ยงมากที่สุด 3 ชุมชน คือ ชุมชนธัญญา 1 ชุมชนโพธิ์ศรี 1 และชุมชนโพธิ์ศรี 2 ส่วนพื้นที่ที่มีระดับความเสี่ยงมากและมากที่สุดภายในชุมชนทั้ง 3 ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรกลุ่มเสี่ยงหนาแน่น สัมพันธ์กับ Tobler's first law of geography ที่ว่าสิ่งต่างๆ มีความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น แต่สิ่งที่อยู่ใกล้จะมีความสัมพันธ์มากกว่าสิ่งที่อยู่ไกล²¹ และเป็นไปตามหลักการทางระบาดวิทยาของการเกิดโรคประชากรและชุมชนที่มีความหนาแน่นมากจะมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคสูง

เนื่องจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นการบูรณาการทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และเชิงบรรยาย สามารถวิเคราะห์และแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการนำมาประยุกต์ใช้ในการป้องกันและควบคุมการระบาดของโรคไข้เลือดออก ทำให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ของข้อมูลระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรค สามารถแสดงขอบเขตลักษณะพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกให้เห็นชัดเจน และสามารถบ่งชี้พื้นที่เป้าหมายในการเฝ้าระวังการเกิดโรค เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจทางระบาดวิทยา ในกระบวนการงานเฝ้าระวังและป้องกันโรคระบาดต่อไป²² นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการป้องกันโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ เช่น โรคมาลาเรีย^{23,24,25} โรคพยาธิใบไม้ตับ²⁶ และโรคเลปโตสไปโรซิส²⁷ เป็นต้น อย่างไรก็ตามการนำวิธีการที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ไปประยุกต์ใช้กับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในพื้นที่อื่นๆ นั้นจะต้องพิจารณาเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ให้มีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ รวมถึงการกำหนดค่าคะแนนและค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ปัจจัยด้านกายภาพเท่านั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรมีการนำปัจจัยด้านชีววิทยา สังคม กระบวนการควบคุมโรค รวมถึงพฤติกรรม การดำรงชีวิตเข้ามาเป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินพื้นที่เสี่ยงเพิ่มเติม นอกจากนี้ควรมีการขยายการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกให้ครอบคลุมทุกชุมชนภายในเขตเทศบาลเมืองมหาสารคาม และควรมีการปรับปรุงผลการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกตามข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริง และสามารถนำไปใช้ได้โดยมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรคติดต่อ. คู่มือการควบคุมโรคไข้เลือดออก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย; 2533.
- ระวี สิริประเสริฐ. การควบคุมไข้เลือดออกเมื่อมีการระบาด: กรณีศึกษาในจังหวัดปราจีนบุรีปี 2542. วารสารวิชาการสาธารณสุข. 2544; 10(4):622-628.
- สมภาพ อิงคินันท์. รายงานการตรวจไข้เลือดออกทางห้องปฏิบัติการ พ.ศ. 2523. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2524; 23(3):159-176.
- สุรเกียรติ์ อาชานานุภาพ. ตำราการตรวจรักษาโรคทั่วไป 2. กรุงเทพฯ: เชนเอนการพิมพ์; 2531.
- พิมพ์ประภัสสร แสงบัณฑิต. การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงไข้เลือดออก จังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการรับรู้อาการระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2552.
- ประเสริฐ ทองเจริญ. ไข้เลือดออก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์อักษรสมัย; 2520.
- บุญล้วน พันธุมจินดา. ปัญหาไข้เลือดออกในบ้านเรา. วารสารกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2526; 15(3): 175-183.
- ชาญชัยณรงค์ ทรงศาศรี. รูปแบบการพยากรณ์โรคไข้เลือดออก ในพื้นที่สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น พ.ศ. 2555. วารสารสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 ขอนแก่น. 2555; 20(1):65-81.
- กลุ่มงานระบาดวิทยาและข่าวกรอง สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 6 จังหวัดขอนแก่น. สถานการณ์โรคที่เฝ้าระวังทางระบาดวิทยา. [Online].; 2556. สืบค้นจาก <http://dpc6.ddc.moph.go.th/>. 2 ธันวาคม 2556.
- หน่วยงานระบาดวิทยา. สถิติการเกิดโรคไข้เลือดออกปี พ.ศ. 2552-2556. มหาสารคาม: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม; 2556.
- จุฬารัตน์ ชัยรัตน์. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์ระดับความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดหนองบัวลำภู. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2548.
- จิรติวัล เครือศิลป์. ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549.
- ธนสาร เมธสุทธิ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์วิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคไข้เลือดออกในจังหวัดสระแก้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2548.

- ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ; 2550.
14. สุรศักดิ์ สุขสาย. การพยากรณ์พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้เลือดออกเพื่อการวางแผนเฝ้าระวังและป้องกันโรคในจังหวัดอุบลราชธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2550.
 15. อุดลย์ กล้าขັນ. การศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมกับการเกิดโรคไข้เลือดออกในจังหวัดกาฬสินธุ์โดยประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศสาธารณสุข. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2549.
 16. สรวงสุดา คงมั่ง. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อการเฝ้าระวังทางระบาดวิทยา. วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2553; 9:76-89.
 17. Stillwell WG, Seaver DA, Edwards W. A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organ Behav Hum Perf.* 1981; 28(1):62-77.
 18. Malczewski J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis.* New York: John Wiley & Sons; 1999.
 19. Saaty T. *The analytic hierarchy process.* New York: McGraw-Hill; 1980.
 20. Coyle G. *The analytic hierarchy process (AHP).* [Online].; 2004. Available from: <http://www.booksites.net/download/coyle/download.htm>. Accessed September 22, 2013.
 21. Tobler W. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Econ Geogr.* 1970; 46:234-240.
 22. พินิจ ฟ้าอำนวยผล, สมโภชน์ เกษน้อย, บุญมา นีรัตนาภรณ์, ศรีวรรณ ดิชะพันธ์, วีระ แยมกันชู. การพัฒนารูปแบบผสมผสานการดำเนินงานป้องกันและควบคุมโรคระดับอำเภอ อำเภอวัดโพนสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์กรสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2542.
 23. อริศรา เจริญปัญญาเนตร. การแพร่ระบาดและการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงของโรคมาลาเรียบริเวณชายแดนไทย-พม่า ในอำเภอเมืองแม่ฮ่องสอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2545.
 24. ดุสิต โพธิ์ทอง, ทวีศักดิ์ ทองบุญ, วิเชษฐ์ ศรีสังข์. การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อโรคมาลาเรียในจังหวัดพิษณุโลก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2551.
 25. วรวิทย์ บำรุงพงษ์, วัชรภรณ์ วิชชุกร, เสาวนีย์ ดีมูล. การวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงโรคมาลาเรียในพื้นที่จังหวัดตาก โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร; 2552.
 26. สรญา แก้วพิบูลย์, ณีจรรยา แก้วพิบูลย์. การวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงสำหรับป้องกันและควบคุมโรคพยาธิใบไม้ตับในจังหวัดสุรินทร์ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
 27. วัชรพงษ์ แสงนิล, จารุวรรณ วงบุตดี, สุรจิต ภูภักดิ์. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อโรคเลปโตสไปโรซิสในจังหวัดอุบลราชธานี. *วารสารสาธารณสุข มหาวิทยาลัยบูรพา.* 2552; 4(1):67-79.

ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค และพฤติกรรมการดูแลตนเอง ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น

The Relationships between Severity of Disease, Self-care behaviors, and Quality of Life among Patients with Upper Gastrointestinal Hemorrhage.

นภชนก รักษาเคน,¹ สุพัตรา บัวที¹

Napachanok Raksaken,¹ Supatra Buatee¹

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 7 February 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค และพฤติกรรมการดูแลตนเอง ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น

รูปแบบการวิจัย: การวิจัยเชิงสหสัมพันธ์

วิธีดำเนินการวิจัย: กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษา ณ โรงพยาบาลมหาสารคาม เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล แบบประเมินการเฝ้าระวังอาการเสียเลือดและภาวะช็อกจากการเสียเลือด แบบสัมภาษณ์พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น และแบบประเมินคุณภาพชีวิต SF-36 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรคและพฤติกรรมการดูแลตนเองต่อคุณภาพชีวิตด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient)

ผลการวิจัย: ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นส่วนใหญ่เพศชาย ร้อยละ 65 มีอายุอยู่ในช่วง 61 - 70 ปี ร้อยละ 36.3 ส่วนใหญ่มีโรคประจำตัวเป็นเบาหวาน และมีภาวะตับแข็ง สาเหตุที่ทำให้เกิดเลือดออกมากที่สุดคือการดื่มสุรา ความรุนแรงของโรคมีความสัมพันธ์ทิศทางตรงกันข้ามกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ($r = -0.20$) และพฤติกรรมการดูแลตนเองมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มตัวอย่าง ($r = 0.94$) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

สรุปผลการวิจัย: ความรุนแรงของโรคและพฤติกรรมการดูแลตนเองสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ดังนั้นทีมสุขภาพสามารถช่วยส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยกลุ่มนี้โดยการช่วยส่งเสริมพฤติกรรมการดูแลตนเองและป้องกันความรุนแรงของโรค

คำสำคัญ: เลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ความรุนแรงของโรค พฤติกรรมการดูแลตนเอง และคุณภาพชีวิต

Abstract

Explore the relationships between severity of disease, self-care behaviors, and quality of life among patients with upper gastrointestinal hemorrhage provided some beneficial conclusions. Samples for the research were patients with upper gastrointestinal hemorrhage who were admitted at the inpatient department, Mahasarakham Hospital. The research instruments were: demographic data, form bleeding and shock evaluation form (severity of disease), patient self-care behaviors of Patient with upper gastrointestinal hemorrhage, and the health servers, short form 36 (SF-36). The data were analyzed using descriptive statistics and Pearson's Product Moment Correlation Coefficient.

¹ อาจารย์, สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่, คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

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

Main findings: Most of patient with upper gastrointestinal hemorrhage were male (65%) aged between 61-70 years (36.3%)(\bar{x} = 59.96), were underlying diabetes mellitus and cirrhosis, cause of bleeding were drank alcohols. The total severity of disease showed a statistically significant low negative correlation to the total quality of life (r =-0.20, p <0.05), self-care behaviors showed a statistically significant positive correlation to the total quality of life (r =0.94, p <0.05)

Conclusion: Severity of disease and self-care behaviors had a relationship with quality of life in Patients with Upper Gastrointestinal Hemorrhage. Therefore healthcare providers can help the patients to enhance quality of life by helping the patients to improve self-care behaviors and prevent severity of disease.

Keyword: Upper gastrointestinal hemorrhage, Severity of disease, Self-care behavior and Quality of life

บทนำ

ภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นเป็นภาวะที่เกิดจากการมีเลือดออกตั้งแต่หลอดอาหารไปจนถึงส่วนที่เหนือลำไส้เล็ก ส่วนต้นบริเวณลิแกเมนต์ ออฟ ไทรซ์ (Ligament of trietz) มีสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากโรคแผลเปปติค กระเพาะอาหารอักเสบ การแตกของหลอดเลือดโป่งพองในหลอดอาหารหรือกระเพาะอาหาร¹ การฉีกขาดของเยื่อหุ้มหลอดอาหาร มีก้อนเนื้อที่ทำให้เกิดการอักเสบ² ผู้ที่ได้รับยาละลายลิ่มเลือดหรือยาต้านเกล็ดเลือด³ และแผลที่เกิดจากความเครียด เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญของทั่วโลก และเป็นสาเหตุการหนึ่งของการเสียชีวิตปัจจุบัน พบอุบัติการณ์การเกิดภาวะนี้และประมาณ 100 คนต่อประชากร 100,000 คน โดยพบในเพศชายมากกว่าเพศหญิงประมาณ 2 เท่า และส่วนใหญ่มักพบในผู้สูงอายุ ร้อยละ 50-70 โดยมีอัตราการเสียชีวิตของผู้ป่วยอยู่ที่ร้อยละ 10³ สำหรับข้อมูลในประเทศไทยนั้น พบว่ามีอัตราการตายสูงถึงร้อยละ 10 - 20 โดยมักเสียชีวิตในช่วงแรกที่มาโรงพยาบาล อัตราการป่วยพบ 171,596 ราย ในปีพ.ศ. 2554⁴ โรงพยาบาลมหาสารคามพบจำนวนผู้ป่วย 260 คน ในปี 2556 และยังพบผู้ป่วยกลับมารักษาซ้ำอีกถึงร้อยละ 9 อัตราการตายจากสาเหตุเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นในปี 2554, 2555 และ 2556 คิดเป็นร้อยละ 8.9, 15.3 และ 16 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี นอกจากนั้นต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องการใช้จ่ายที่ไม่เหมาะสมเป็นจำนวนมากกว่า 6,000,000 บาท/ปี⁵

ปัจจัยและสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาเลือดออกของระบบทางเดินอาหารส่วนต้นมีความเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมสุขภาพเป็นส่วนใหญ่ จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า สาเหตุ ได้แก่ 1) พฤติกรรมการรับประทานอาหาร ขอบรับประทานอาหารหมักดอง อาหารรสจัด เมื่อมีปัญหาสุขภาพจะไปซื้อยามารับประทานเอง รับประทานอาหารหมักดอง อาหารรสจัด ไม่มีการออกกำลังกาย และพบก่อนการเจ็บป่วยมักดื่มสุราหรือเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทุกวัน สูบบุหรี่ทุกวัน และรับประทานยาแก้ปวดที่ไม่ใช่ยาพาราเซตามอล มีความเครียดและความวิตกก

กังวลสูง⁶ 2) การใช้ยาต้านเกล็ดเลือด การให้ยาละลายลิ่มเลือด⁴ ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งเสริมให้เกิดภาวะเลือดออก ได้แก่ เพศ ปัญหาสุขภาพ โรคประจำตัวอื่น อายุ การศึกษา อาชีพ สถานภาพสมรส รายได้ของครอบครัวเฉลี่ยต่อเดือน สิทธิการรักษาที่ได้รับ และสาเหตุของการมีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ความรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมกรดูแลตนเอง เจตคติต่อการดูแลตนเอง การรับรู้ประโยชน์ การมีและเข้าถึงระบบบริการสาธารณสุข การรับรู้นโยบายส่งเสริมพฤติกรรมกรดูแลตนเอง การได้รับแรงสนับสนุนทางสังคมจากบุคคลใกล้ชิดจากบุคลากรทางการแพทย์ และการได้รับข้อมูลข่าวสารจากสื่อต่างๆ⁷ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากความเสื่อมของหลอดเลือดจากปัญหาโรคอื่น ๆ เช่น การเป็นโรคตับแข็ง (Cirrhosis) ปัญหาการติดเชื้อ²

พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ที่มีเลือดออกทางเดินอาหารเป็นส่วนสำคัญที่ส่งเสริมให้การดำเนินของโรครุนแรงขึ้นจากการปฏิบัติตัวที่ผสมผสานไปในพฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นโดยทั่วไปและพฤติกรรมการดูแลตนเองตามระยะพัฒนาการ เช่น การรับประทานอาหารให้ตรงเวลาและครบทุกมื้อ ชนิดออกอาหาร เป็นต้น ซึ่งในการปฏิบัติพฤติกรรมการดูแลตนเองบุคคลจะต้องมีความสามารถในการปฏิบัติกิจกรรมและปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการดูแลตนเอง และความต้องการการดูแลตนเองทั้งหมด ประกอบด้วย อายุ เพศ ระยะพัฒนาการ สังคมและชนบทธรรมเนียมประเพณี สภาพที่อยู่อาศัย ระบบครอบครัวแบบแผนการดำเนินชีวิต สิ่งที่ถูกปฏิบัติเป็นประจำ ภาวะสุขภาพ ปัจจัยทางระบบบริการสุขภาพ แหล่งทุนประโยชน์ และประสบการณ์ที่สำคัญในชีวิต ดังการศึกษาของสมถวิล จินดา⁸ ที่ได้ศึกษาพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลอุดรดิตต์ ศึกษาในผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาแผนกผู้ป่วยใน โรงพยาบาลอุดรดิตต์ จำนวน 88 คน พบว่า พฤติกรรมการดูแลตนเองโดยรวมอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนใหญ่สูบบุหรี่ ดื่มสุรา คิดเป็น

ร้อยละ 73.90 และ 68.20

การมีเลือดออกจากระบบทางเดินอาหารที่รุนแรงส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดความสูญเสีย ทำให้เกิดอัตราการตายสูงขึ้น นอกจากนี้ยังกลายเป็นภาวะเรื้อรัง เกิดปัญหานี้บ่อยครั้งต้องเข้าออกโรงพยาบาล จะทำให้เกิดผลกระทบต่อตัวผู้ป่วย ครอบครัว สังคม และประเทศชาติ ส่วนผลกระทบทางด้านสังคมพบว่า การที่ผู้ป่วยต้องเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลบ่อยครั้งทำให้การปฏิสัมพันธ์กับผู้ป่วยลดลงได้จากผลกระทบดังกล่าวอาจทำให้ส่งผลต่อการรับรู้ ความพึงพอใจในชีวิต ทำให้ผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นมีคุณภาพชีวิตลดลงได้ ดังการศึกษาของ Tilburg⁹ พบคุณภาพชีวิตที่ต่ำในผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหาร เมื่อผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ต่ำจะส่งผลต่อปัญหาทางด้านร่างกาย จิตใจ ครอบครัว และสังคม ตามมา จากงานวิจัยพบว่าคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นโดยภาพรวมอยู่ในระดับปานกลาง⁹ พบในระดับต่ำทางด้านจิตใจ และด้านการทำหน้าที่ของร่างกาย¹⁰ และพบความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมการดูแลตนเองกับคุณภาพชีวิตผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ($r=0.24$)⁹ จากปัญหาและความสำคัญของการมีพฤติกรรมที่ดีกับการป้องกันภาวะเลือดออกดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค พฤติกรรมการดูแลตนเอง กับคุณภาพชีวิตผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น การศึกษานี้จะทำให้ทราบว่าปัจจัยนี้จะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยหรือไม่ ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อพยาบาลและทีมสุขภาพในการพัฒนาแนวทางการให้การพยาบาลผู้ป่วยกลุ่มนี้ต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค และพฤติกรรมการดูแลตนเอง ต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น

วิธีการดำเนินการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยสหสัมพันธ์ (Correlational Research) กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลมหาสารคาม จำนวน 80 ราย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่แผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม จำนวน 80 ราย ซึ่งได้จากการคำนวณ

$$n = 10k + 50$$

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

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

ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 80 รายกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างตามวิธีการคำนวณ ขนาดกลุ่มตัวอย่างของทอรอนได¹¹ โดยกำหนดคุณสมบัติ ดังนี้

1. มีระดับความรู้ที่ถูกต้อง สามารถสื่อสารตอบคำถามได้ และเข้าใจภาษาไทยได้ดี
2. ได้รับการวินิจฉัยจากแพทย์ว่ามีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น
3. มีความยินดีเข้าร่วมการศึกษาวิจัยครั้งนี้

เครื่องมือในการวิจัย

ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคล

ประกอบด้วย อายุ เพศ สถานภาพสมรส การศึกษา อาชีพ รายได้ โรคประจำตัว และการรักษาที่ได้รับ

ส่วนที่ 2 แบบประเมินการเฝ้าระวังอาการเสียเลือด และภาวะช็อกจากการเสียเลือด ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่

ระยะแรก หมายถึง มีการเสียเลือด ชีต อ่อนเพลีย อัตราการเต้นของชีพจร <100 ครั้ง/นาที, ความดันโลหิต Systolic > 100 มิลลิเมตรปรอท หรือเกณฑ์ปกติ, อัตราการหายใจ 16-20 ครั้ง/นาที และปริมาณปัสสาวะ > 30 มิลลิลิตร/นาที

ระยะที่ 2 หมายถึง พบการเสียเลือด อัตราการเต้นของชีพจร 100-120 ครั้ง/นาที, ความดันโลหิต Systolic ยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ, อัตราการหายใจ 20-30 ครั้ง/นาที, ปริมาณปัสสาวะ 20-30 มิลลิลิตร/นาที และค่าออกซิเจนในร่างกาย (SPO₂ >95%)

ระยะที่ 3 หมายถึง พบการเสียเลือด อัตราการเต้นของชีพจร 120-140 ครั้ง/นาที, ความดันโลหิต Systolic < 100 มิลลิเมตร.ปรอท, อัตราการหายใจ 30-40 ครั้ง/นาที, ปริมาณปัสสาวะ 5-10 มิลลิลิตร/นาที และค่าออกซิเจนในร่างกาย (SPO₂ <95%)

ระยะที่ 4 หมายถึง พบการเสียเลือด อัตราการเต้นของชีพจร >140 ครั้ง/นาที, ความดันโลหิต Systolic < 100 มิลลิเมตร.ปรอท, อัตราการหายใจ > 35 ครั้ง/นาที, ปริมาณปัสสาวะ < 5 มิลลิลิตร/นาที และค่าออกซิเจนในร่างกาย (SPO₂ <95%)

ส่วนที่ 3 แบบ สัมภาษณ์พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ที่สร้างโดย สมถวิล จินดา ตามแนวคิดทฤษฎีของโอเรียม¹² ผ่านการหาค่าความเชื่อมั่นโดยผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบเนื้อหา 3 ท่าน และหาค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือเท่ากับ 0.98 แบบสัมภาษณ์ประกอบด้วยข้อคำถาม 41 ข้อ ได้แก่ พฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นโดยทั่วไป จำนวน 15 ข้อ พฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ จำนวน 5 ข้อ และพฤติกรรมการดูแลตนเองที่จำเป็นหลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น จำนวน 21 ข้อ แต่ละข้อ เป็นมาตราส่วนประมาณค่า 4 ระดับ⁸ ดังนี้

1 คะแนน หมายถึง ท่านไม่มีพฤติกรรมหรือไม่ปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เลย

2 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เป็นส่วนน้อย หรือบางวันหรือนาน ๆ ครั้งหรือหลาย ๆ วันกระทำครั้งหนึ่ง

3 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมในเรื่องนั้น ๆ เป็นส่วนใหญ่หรือบ่อยครั้งแต่ไม่ทุกวันหรือไม่ทุกครั้ง

4 คะแนน หมายถึง ท่านปฏิบัติกิจกรรมเรื่องนั้น 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

ส่วนที่ 4 แบบประเมินคุณภาพชีวิต SF-36 ประกอบด้วย 8 ด้าน ได้แก่ 1) การทำหน้าที่ของร่างกาย 2) ความบกพร่องของหน้าที่ที่มีปัญหาจากด้านร่างกาย 3) ความบกพร่องของหน้าที่ที่มีปัญหาจากด้านจิตใจ 4) ภาวะสุขภาพด้านจิตใจโดยทั่วไป 5) การทำหน้าที่ทางสังคม 6) การเจ็บปวดของร่างกาย 7) กำลังกาย และ 8) การรับรู้ภาวะสุขภาพโดยทั่วไป ผู้วิจัยได้หาความเชื่อมั่นของเครื่องมือโดย นำไปประเมินคุณภาพชีวิตในผู้ป่วยเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น จำนวน 15 ราย ที่มารับการรักษา ณ โรงพยาบาลมหาสารคาม นำมาคำนวณค่า Cronbach's alpha = 0.92

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ผู้วิจัยยื่นแบบเสนอเพื่อขอรับการพิจารณาด้านจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และโรงพยาบาลมหาสารคาม จนได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการ

2. ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยตนเองโดยการสัมภาษณ์ผู้ป่วย ผู้วิจัยเริ่มสัมภาษณ์โดยสนทนาเรื่องทั่วไปก่อน เมื่อบันทึกข้อมูลส่วนบุคคลแล้วจึงประเมินความรุนแรงของโรค พฤติกรรมการดูแลตนเอง และคุณภาพชีวิตประมาณ 15-20 นาที เมื่อสิ้นสุดการสัมภาษณ์ ผู้วิจัยตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูล และถามซ้ำในข้อที่ยังไม่ครบถ้วนหลังสิ้นสุดการตอบสัมภาษณ์ กล่าวขอขอบคุณกลุ่มตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยจนสิ้นสุดการสัมภาษณ์

3. นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติ

การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้เสนอเอกสารชี้แจงการทำวิจัย เอกสารยินยอมต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อพิจารณารับรองพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง และเสนอต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลมหาสารคาม ผู้วิจัยพิทักษ์สิทธิผู้ป่วยทุกรายโดยการชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และอธิบายถึงขั้นตอนการเข้าร่วมวิจัย โดยข้อมูลที่ได้อาจวิเคราะห์เป็นภาพรวม ผู้เข้าร่วมวิจัยมีสิทธิ์ที่จะปฏิเสธการเข้าร่วมวิจัยครั้งนี้ โดยไม่มีผลต่อการรักษา หากกลุ่มตัวอย่างตกลงเข้าร่วมวิจัย ผู้วิจัยให้ลงนามในใบยินยอมเข้าร่วมวิจัยไว้

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

1. ข้อมูลส่วนบุคคล ข้อมูลที่เกี่ยวกับโรคและการรักษา แบบประเมินความรุนแรงของโรค พฤติกรรมการดูแลตนเอง และระดับคุณภาพชีวิต วิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics)

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรคและพฤติกรรมการดูแลตนเองต่อคุณภาพชีวิตด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson's Product Moment Correlation Coefficient)

ผลการศึกษา

ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น 80 ราย ที่มารับการรักษาที่แผนกศัลยกรรมโรงพยาบาลมหาสารคาม ผลการศึกษาพบว่า

1. กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็น ร้อยละ 65 มีอายุมากกว่า 60 ปี ร้อยละ 52.50 (\bar{x} = 59.96, SD = 1.29) สถานภาพสมรสคู่ ร้อยละ 68.80 มีวุฒิการศึกษาระดับ ประถมศึกษา ร้อยละ 77.50 มีรายได้ของครอบครัวต่อเดือน 5,001 – 10,000 บาท ร้อยละ 78.80 (\bar{x} ± SD=9,925 ± 1.05) ตั้ง 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} ± SD= 59.96 ± 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} ± SD= 9,925 ± 1.05)		
Occupation		
House keeper	5	6.30
Farmer	47	58.80
Civil servant	3	3.70
Merchant	10	12.50
Wage worker	11	13.70
Unemployed	4	5.00
Underlying disease		
No	22	31.00
Cirrhosis	15	18.80
Gout	9	11.30
Hypertension	5	6.30

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

Characteristics	Number (n =80)	Percent
Diabetes mellitus	16	20.00
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. ความรุนแรงของโรคของกลุ่มตัวอย่างเมื่อประเมิน 67.4 ร้อยลงมา ระยะที่ 3 ร้อยละ 15.0 ดัง Table 2
ความรุนแรงของระยะซ็อกส่วนใหญ่อยู่ในระยะที่ 2 ร้อยละ

Table 2 Severity of disease of patients with upper gastrointestinal hemorrhage.

Severity of disease Level	Number (n =80)	Percent
Shock Phase 1	9	11.3
Shock Phase 2	54	67.4
Shock Phase 3	12	15.0
Shock Phase 4	5	6.3

3. พฤติกรรมการดูแลตนเองเท่ากับ 113.12 (\bar{x} = 113.12, SD = 10.43) ซึ่งมีพฤติกรรมการดูแลตนเอง ในระดับปานกลาง มีคะแนนในระดับปานกลางในด้านการดูแลตนเอง ที่จำเป็นตามระยะพัฒนาการ และด้านการดูแลตนเองที่จำเป็น หลังเกิดภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น ดัง Table 3

Table 3 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

4. กลุ่มตัวอย่างที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นมีคะแนนเฉลี่ยคุณภาพชีวิตเท่ากับ 53.63 (SD = 20.77) อยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาคุณภาพชีวิตรายด้านพบว่าผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับสูงในด้านสุขภาพจิตทั่วไป และมีคุณภาพชีวิตอยู่ในระดับปานกลางในด้านสุขภาพทั่วไป

ด้านภาวะการทำงานของร่างกาย ด้านบทบาทที่ถูกจำกัดเนื่องจากสุขภาพทางกาย ด้านบทบาทที่ถูกจำกัดเนื่องจากด้านอารมณ์ ด้านการทำหน้าที่ทางสังคม ด้านความเจ็บปวดทางร่างกาย และด้านพลังงาน ดัง Table 4

Table 4 Quality of life of patients with upper gastrointestinal hemorrhage.

Domains	\bar{x}	SD	Quality of life Level
General Health	46.21	21.79	moderate
Physical Function	64.93	36.70	moderate
Role Limitation due to Physical Problem	46.40	29.94	moderate
Role Limitations due to Emotional Problem	65.62	29.06	moderate
Social Functioning	65.00	23.39	moderate
Bodily Pain	60.48	29.73	moderate
Vitality	65.15	26.45	moderate
Mental Health	72.87	24.31	High
Overall QOL	57.63	20.77	moderate

5. ความรุนแรงของโรคมีความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ($r = -0.20$, $p < 0.05$) และพฤติกรรมการดูแล

ตนเองมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มตัวอย่าง ($r = 0.94$, $p < 0.05$) ดัง Table 5

Table 5 The Relationship between Severity of disease, Self-care behaviors and Quality of Life of patients with upper gastrointestinal hemorrhage.

Variable	r	P-value
Severity of disease	-0.20	0.001
Self-care behaviors	0.94	0.001

อภิปรายผล

ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงของโรค พฤติกรรมการดูแลตนเอง กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

1) ความรุนแรงของโรคมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

ผลการศึกษาพบว่าความรุนแรงของโรคมีความสัมพันธ์ทางลบกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น ($r = -0.20$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สามารถอธิบายได้ว่าความรุนแรงของโรคมีความสัมพันธ์ทิศทางตรงข้ามกับในระดับต่ำกับคุณภาพชีวิต ถ้าผู้ป่วยมีคุณภาพชีวิตที่ดีก็จะพบความรุนแรงของโรคในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นส่วนใหญ่มาโรงพยาบาลเมื่อมีเลือดออกเพิ่มมากขึ้น แต่ยังมีสัญญาณชีพปกติ เมื่อแพทย์ให้ความช่วยเหลือให้พ้นจากภาวะวิกฤติผู้ป่วยจะมีความเครียดและวิตกกังวลลดลง

2) พฤติกรรมการดูแลตนเองมีความสัมพันธ์กับคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

ผลการศึกษาพบว่าพฤติกรรมการดูแลตนเองมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับคุณภาพชีวิตของกลุ่มตัวอย่าง ($r = 0.94$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผู้ป่วยมีพฤติกรรมในการดูแลตนเองที่ดี ก็จะส่งผลให้มีคุณภาพชีวิตที่ดี ทั้งนี้เนื่องจากผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นนั้นสาเหตุเกิดจากพฤติกรรมการดูแลตนเองของแต่ละบุคคล เช่น พฤติกรรมรับประทานอาหารได้แก่ ชอบทานอาหารรสจัด ทานอาหารไม่ตรงเวลา ชอบดื่มเหล้า และปัญหาสุขภาพทางจิตที่ส่งผลต่อร่างกาย ได้แก่ ความเครียด ความวิตกกังวล ท้อแท้, และพฤติกรรมการดูแลตนเองตามระยะพัฒนาการ ได้แก่ เวลาที่มีปัญหาหมักเก็บไว้คนเดียว เป็นต้น สอดคล้องกับการศึกษาของ สมถวิล จินดา^๑ ที่พบพฤติกรรมการดูแลตนเองโดยรวมมีความสัมพันธ์เชิงบวกในระดับต่ำกับคุณภาพชีวิตโดยรวม ($r = 0.24$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ข้อเสนอแนะ

ด้านการปฏิบัติการพยาบาล

จากปัญหาความรุนแรงของโรค และพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นนั้นพยาบาลควรพิจารณาปัจจัยทั้งสองโดยการส่งเสริมกิจกรรมให้ความรู้ เกี่ยวกับพฤติกรรมการดูแลตนเองเพื่อป้องกันโรคและลดความรุนแรงของโรค

ด้านการศึกษา

เนื้อหาการจัดการเรียนการสอนในสถานการณ์ดูแลผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น และสามารถนำไปใช้ในการฝึกปฏิบัติงาน เน้นการเสริมสร้างคุณภาพชีวิตในส่วนการส่งเสริมพฤติกรรมการดูแลตนเองที่เหมาะสม และการป้องกันความรุนแรงของโรคเพื่อส่งเสริมคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

ด้านการวิจัย

1. ควรมีการศึกษารูปแบบโปรแกรมการให้ความรู้ส่งเสริมพฤติกรรมการดูแลตนเองที่เหมาะสมของผู้ที่มีความเสี่ยง และผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นเพื่อส่งเสริมให้เกิดคุณภาพชีวิตที่ดี 2. ควรมีการศึกษารูปแบบการป้องกันความรุนแรงของโรคแก่ผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้น

ด้านบริหาร

กำหนดนโยบายและจัดสรรงบประมาณเพื่อสนับสนุนกิจกรรมส่งเสริมคุณภาพชีวิต และให้ความรู้ ส่งเสริมพฤติกรรมการดูแลตนเองที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการมีเลือดออก

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือในการให้ข้อมูลของผู้ป่วยที่มีเลือดออกทางเดินอาหารส่วนต้นที่ได้ให้ข้อมูลที่มีคุณค่า ซึ่งจะได้นำมาใช้ในการเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการดูแลตนเองเพื่อให้ส่งเสริมคุณภาพชีวิตที่ดี และในการศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2558 คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

- 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.
- 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.
- Valkhoff, V.E., & Sturkenboom, M.C. Risk factors for gastrointestinal bleeding associated with low-dose aspirin. *Best Practice and Research Clinical Gastro-*

- enterology, 2012. 25(3), 125-140.
4. สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์. 2556 <https://www.m-society.go.th>
 5. เวชระเบียนโรงพยาบาลมหาสารคาม. 2557 <http://dtc.mhkdc.com/>.
 6. อุลัย จำปาอะดี, อภิญา วงศ์พิริโยธา, นภาพร พรหมคำชา. นงค์เยาว์ มีเทียน. เพชรรุ่ง อัฐิวัตร, และนิตยา สุทธยากร. ปัจจัยพื้นฐานและพฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้น. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2546 .21(2), 51-60.
 7. เขมณัฐ ยุทธวิสุทธิ. พฤติกรรมการดูแลตนเองของผู้ป่วยที่มีภาวะเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลรามาริบัติ. ปริญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาสุศึกษา. มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์. 2554.
 8. สมถวิล จินดา. พฤติกรรมการดูแลตนเองและคุณภาพชีวิตของผู้ป่วยที่มีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนต้นที่มารับการรักษาที่โรงพยาบาลอุตรดิตถ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาการพยาบาลผู้ใหญ่. คณะพยาบาลศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2551.
 9. Tilburg, M.A.L. (2014). Quality of Life Paradox in Gastrointestinal Disorders. The journal of pediatric, 43(9), 1-3.
 10. Schubart, J.R., Wise, J., Deshaies, I., Kimchi, E., Staveley, K.F., & Gusani, N.J. (2010). Association for academic surgery Quality of Life Assessment in Postoperative Patients with Upper GI Malignancies. Journal of Surgical Research, 163, 40-46.
 11. บุญใจ ศรีสถิตนรากร. ระเบียบวิธีการวิจัยทางพยาบาลศาสตร์. กรุงเทพฯ: ยูแอนด์ไอ อินเทอร์เน็ต. 2550.
 12. พร้อมจิตร์ ห่อนบุญเหิม. ทฤษฎีการพยาบาลของโอเร็ม แนวคิดและการประยุกต์. มหาสารคาม : อภิชาติการพิมพ์. 2553.

เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวล

Recommended Technology for Biomass Power Plant

ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร¹

Chudchawal Juntarawijit¹

Received: 22 June 2016 ; Accepted: 31 October 2016

บทคัดย่อ

การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานแล้วยังช่วยลดมลพิษที่เกิดจากระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแนะนำเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลในประเทศไทย ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ได้จากการทบทวนวรรณกรรมและการศึกษาดูงานโรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบจำนวนสามแห่ง ผลการศึกษาพบว่าในปัจจุบันเทคโนโลยีที่นิยมใช้มีสองประเภทคือระบบเผาตรงและระบบแก๊สซิฟิเคชัน แก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีที่ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเผาตรงจะดีกว่าทั้งในด้านประสิทธิภาพการแปลงพลังงานความร้อนจากชีวมวลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและการเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ระบบยังรองรับเทคโนโลยีในอนาคต อย่างเช่น ระบบกังหันรวม (Integrated Biomass Gasification Combined Cycle, IBGCC) อีกด้วย ดังนั้นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กกว่า 10 เมกะวัตต์ซึ่งพบมากในประเทศไทยควรใช้ระบบนี้ ส่วนระบบเผาตรงมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าซึ่งทำได้แค่เพียงร้อยละ 20-30 เท่านั้น และในกระบวนการผลิตจะทำให้เกิดฝุ่นละอองและสารพิษเป็นจำนวนมาก ระบบเผาตรงจึงเหมาะสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดตั้งแต่ 10 เมกะวัตต์ขึ้นไป ที่พร้อมที่จะลงทุนติดตั้งอุปกรณ์จับฝุ่นที่มีประสิทธิภาพสูง อย่างเช่น เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรอง และสามารถจ้างพนักงานประจำไว้คอยดูแลระบบ

คำสำคัญ ชีวมวล โรงไฟฟ้าชีวมวล ระบบเผาตรง แก๊สซิฟิเคชัน นโยบายพลังงาน

Abstract

For biomass power generation, the choice of technology can not only affect energy gain, but it also involves pollution reduction. The purpose of this article was to evaluate the most efficient technology for biomass power plants in Thailand. Data on power generation technologies using biomass as a fuel were collected from the literature and from on-site visits at three prominent biomass power plants. It was found that at present there are only two commonly used technologies, the direct-fired system and the gasification system. Although the gasification system has not been commonly used in Thailand, it allows for better energy efficiency and environmental friendliness. Moreover, the system will also support future technology such as the integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC). Therefore, it was highly recommended for use in a power plant using up to 10 MWs of installing capacity, which is a common size for a biomass power plant found in Thailand. The direct-fired system has some limitations. This system was noted to have low energy conversion efficiency, with only about 20-30% of its heat energy converted to electricity. The direct-fired system also emits a large amount of fine particles and some other toxic pollutants which need to be controlled. Therefore, the use of a direct-fired system should be limited to a ≥ 10 MWs power plant which also can afford expensive aerosol collectors, such as the electrostatic precipitator or baghouse filter, and a full time staff to operate the system.

Keywords: biomass, biomass power plant, direct-fired system, gasification, energy policy

¹ รองศาสตราจารย์, ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิษณุโลก

¹ Associate Professor, Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok

บทนำ

ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานที่ทั่วโลกกำลังสนใจ รวมถึงประเทศไทย ด้วย เนื่องจากชีวมวลเป็นสิ่งที่หาได้ง่าย และสามารถบริหารจัดการให้มีตลอดทั้งปี และถูกจัดอยู่ในกลุ่มแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาด เพราะไม่ทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิมากขึ้น ก๊าซที่ปล่อยออกจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่พืชดูดซับในระหว่างการเจริญเติบโต¹ เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass fuels) หมายถึงสารอินทรีย์ทุกชนิดที่สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ ได้แก่ เศษวัสดุทางการเกษตร ไม้และเศษไม้ ใบไม้และกิ่งไม้ในป่า มูลหรือของเสียจากสัตว์ของเสียจากฟาร์ม พืชน้ำ พืชหรือต้นไม้โตเร็ว และขยะ² ในการศึกษาครั้งนี้ ชีวมวลหมายถึงเฉพาะเศษวัสดุทางการเกษตร

ด้วยแรงสนับสนุนจากรัฐบาลทำให้โรงไฟฟ้าชีวมวลมีจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จากข้อมูลของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน³ เมื่อพ.ศ.2558 มีโรงไฟฟ้าชีวมวลที่ผลิตและจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบแล้ว 164 แห่ง กำลังการผลิตรวม 2,428 เมกะวัตต์ แบ่งเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ระบบเผาตรง (Direct-fired system) จำนวน 118 แห่ง (กำลังการผลิต 1,501 เมกะวัตต์) และโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification system) 13 แห่ง (19.7 เมกะวัตต์) โรงไฟฟ้าทั้งหมดอยู่ในกลุ่มโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Very small power plant, VSPP) หรือโรงไฟฟ้าที่กำลังการผลิตไม่เกิน 10 เมกะวัตต์ ในอนาคตคาดว่าจะมีการขยายตัวของกิจการประเภทนี้อีกมาก เนื่องจากนโยบายและแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558-2579 (AEDP2015)⁴ ได้กำหนดให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนมีสัดส่วนถึงร้อยละ 20 (ประมาณ 5,500 เมกะวัตต์) และได้กำหนดให้ชีวมวลเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่ควรได้รับการส่งเสริมเป็นลำดับที่สองรองมาจากขยะ

อุปสรรคที่สำคัญต่อการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลคือการต่อต้านจากประชาชนในพื้นที่ เนื่องจากความกังวลต่อผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพจากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า ผลรายงานว่าวันจากการเผาชีวมวลประกอบด้วยสารมลพิษหลายชนิด นอกจากฝุ่นละออง ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แล้ว ยังมีสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารพีเอเอช (Polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) ไดออกซิน เบนซีน ฟอรัมาลีน 1,3 บิวตะไดอิน และสารอนุมลพิษ⁵⁻⁶ สอดคล้องกับศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากโรงไฟฟ้าชีวมวลที่พบว่า ประชาชนที่อยู่ใกล้โรงไฟฟ้าชีวมวลระบบเผาตรงมีปัญหาสุขภาพมากกว่าคนที่อยู่ห่างออกไป พวกเขาคิดว่าตนเองได้รับผลกระทบจากมลพิษที่มาจากโรงไฟฟ้า โรงไฟฟ้าทำให้เกิดปัญหาความเดือดร้อนรำคาญจากฝุ่นและขี้เถ้า กลิ่นเหม็น เสียงดัง และเพิ่ม

อุบัติเหตุจากการจราจร และทำให้ถนนเสียหาย⁷

การเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าแล้ว ยังอาจเป็นทางออกที่ดีในการลดมลพิษและผลกระทบจากโรงไฟฟ้าชีวมวล ระบบแก๊สซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่มีแนวโน้มที่จะนำแทนระบบเผาตรงได้ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย และรัฐบาลยังไม่มียุทธศาสตร์ในเรื่องนี้อย่างชัดเจน เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจกำหนดนโยบายของหน่วยงานภาครัฐและเผยแพร่ความรู้ให้กับผู้ประกอบการและประชาชนทั่วไป งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเทคโนโลยีที่ดีสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล

วิธีการศึกษา

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา รวบรวมข้อมูลโดยการทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์ และการศึกษาดูงานโรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบ จำนวน 3 แห่ง

การทบทวนวรรณกรรม ข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้า ได้จากการศึกษาเอกสารและข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ทั้งที่เขียนเป็นภาษาไทยและอังกฤษ ทั้งเอกสารที่เป็นงานวิจัย บทความวิชาการ รายงาน และเอกสารจากเว็บไซต์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาดูงานโรงไฟฟ้าต้นแบบ คัดเลือกโรงไฟฟ้าต้นแบบโดยใช้เกณฑ์การคัดเลือก ดังนี้ 1) เป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว 2) เป็นโรงไฟฟ้าที่มีผลการดำเนินงานดี สามารถผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง 3) ไม่เคยมีปัญหาคาร้องเรียนเรื่องผลกระทบจากประชาชนในพื้นที่และ 4) ยินดีเข้าร่วมโครงการและอนุญาตให้คณะผู้วิจัยเข้าไปศึกษาดูงานและสัมภาษณ์ ผลการคัดเลือกได้โรงไฟฟ้าชีวมวล 3 แห่ง แบ่งเป็นโรงไฟฟ้าระบบเผาตรงขนาดใหญ่ โรงไฟฟ้าระบบเผาตรงขนาดเล็ก และโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน

รวบรวมข้อมูลจากการสังเกตและการสัมภาษณ์ผู้จัดการโรงไฟฟ้าหรือผู้แทน เพื่อให้ได้ข้อมูลต่อไปนี้ ข้อมูลประวัติและความเป็นมาของโรงงาน เทคโนโลยีและระบบการผลิต การป้องกันและควบคุมมลพิษ ความสำเร็จของโครงการและปัญหาอุปสรรค รวมถึงการดำเนินงานเพื่อสร้างสัมพันธภาพและการอยู่ร่วมที่ดีกับชุมชน และการสอบถามประชาชนและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขในพื้นที่เพื่อสอบถามเกี่ยวกับปัญหาและผลกระทบของโรงไฟฟ้า และทวนสอบข้อมูลการดำเนินงานของโรงไฟฟ้าที่ได้จากการสอบถามผู้ประกอบการ

วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวล โดยพิจารณาจากหลักเกณฑ์ 3 ด้าน คือ

1) ความพร้อมของเทคโนโลยี ซึ่งหมายถึง ความแพร่หลายของในเชิงพาณิชย์ การมีผู้ผลิตและจำหน่ายอุปกรณ์ และผู้ให้คำปรึกษาในการติดตั้งระบบ มีตัวอย่างโรงไฟฟ้าที่ทดลองใช้เทคโนโลยีแล้ว เทคโนโลยีมีศักยภาพในการผลิตเชิงพาณิชย์ 2) ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานความร้อนจากชีวมวลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและ 3) มลพิษที่เกิดในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

ผลการศึกษา

ในปัจจุบันระบบการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่ใช้อย่างแพร่หลายมี 2 ระบบ คือระบบเผาตรง หรือที่นิยมเรียกว่าระบบกังหันและหม้อไอน้ำ และระบบแก๊สซิฟิเคชัน⁸⁻⁹

ระบบเผาตรง

ระบบเผาตรงเป็นการผลิตไฟฟ้าจากไอน้ำที่ได้จากการเผาชีวมวล ระบบมีขั้นตอนและการดำเนินงานที่ไม่ซับซ้อน เริ่มจากการนำชีวมวลมาเผาในเตาเผาซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหม้อไอน้ำ(Boiler)เพื่อผลิตไอน้ำ จากนั้นจึงนำไอน้ำที่ได้ไป

หมุนกังหัน(Stream turbine)และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Electric generator) (รูปที่ 1) หลังจากผ่านการใช้งานแล้วไอน้ำจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยระบบควบแน่นให้กลายเป็นน้ำและหล่อเย็น(Cooling system) เพื่อลดอุณหภูมิ ประสิทธิภาพและความแตกต่างของระบบเผาตรงจะขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อไอน้ำ⁸

หม้อไอน้ำอาจแบ่งกว้างได้เป็น 2 ประเภทคือ หม้อไอน้ำแบบตะกรับ(Stoker boilers) และหม้อไอน้ำแบบลมลอย (Fluidized bed boilers)⁸⁻⁹ หม้อไอน้ำแบบตะกรับจะเผาเชื้อเพลิงบนตะกรับ ในปัจจุบันห้องเผาไหม้มีหลายประเภทตามลักษณะการออกแบบของตะกรับ ได้แก่ ห้องเผาแบบตะกรับเอียง (Incline/Fixed grate stoker) ห้องเผาไหม้แบบขั้นบันได (Step grate stoker) ห้องเผาไหม้ระบบบันไดสั่น (Vibrating grate stoker) ห้องเผาไหม้แบบตะกรับเคลื่อนที่ (Traveling grate stoker) และแบบกระจายการเผาไหม้ (Spreader fired stoker) หม้อไอน้ำแบบลมลอยจะไม่ใช้การออกแบบตะกรับเป็นตัวเติมอากาศ แต่จะใช้เครื่องเป่าอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยตรงจากล่างสู่บน ทำให้เชื้อเพลิงอยู่ในลักษณะ

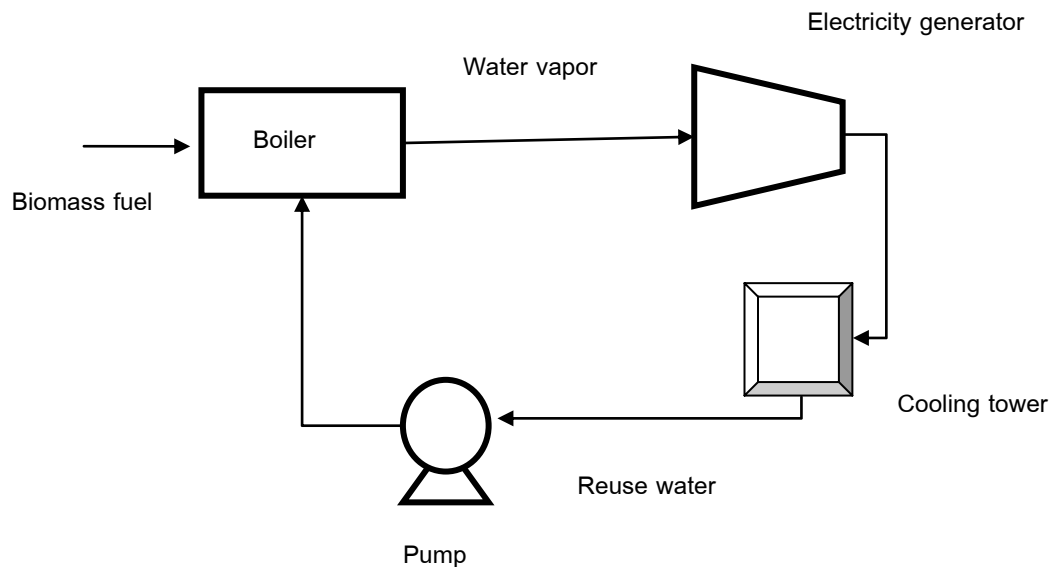


Figure 1 Biomass power plant with direct-fired system

ยกลอยตัวขึ้นส่งผลให้เชื้อเพลิงได้รับอากาศอย่างเพียงพอสำหรับการเผาไหม้ หม้อไอน้ำประเภทนี้จึงมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูงและก่อให้เกิดมลพิษน้อยมาก

ระบบเผาตรงเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนามาลงตัว และมีความพร้อมสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 100 เมกะวัตต์ หรือมากกว่าได้ จากการสำรวจเมื่อพ.ศ. 2555 ประมาณร้อยละ 84 ของกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าชีวมวลทั่วโลกใช้เทคโนโลยีนี้ ข้อจำกัดที่สำคัญของระบบคือ ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานความร้อนจากการเผาชีวมวลไปเป็นพลังงาน

ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปจะอยู่ที่ร้อยละ 20-25 เท่านั้น¹⁰ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับหม้อไอน้ำและเตาเผาที่ใช้ ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ระบบจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศจากการเผาชีวมวลเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบจะทำให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งมีผลการวิจัยยืนยันว่าเกี่ยวข้องกับโรคหอบหืด โรคภูมิแพ้ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหัวใจ โรคมะเร็ง และการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร¹¹ นอกจากนี้การเผาชีวมวลยังทำให้เกิดสารก่อมะเร็งอีกหลายชนิด ได้แก่ สารพีเอเอช (Polycyclic aromatic

hydrocarbons, PAH) ไดออกซิน เบนซีน ฟออร์มาลีน 1, 3 บิวตะไดอิน และสารอนุมลพิษระ⁵⁻⁶

โรงไฟฟ้าชีวมวลระบบเผาตรงจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ดักฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพสูง ระบบชะจับแบบเปียก (Wet scrubber) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีใช้แพร่หลายในประเทศไทย อาจมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการกำจัดฝุ่นละอองที่เกิดขึ้น และยังทำให้เกิดน้ำเสียที่ต้องกำจัดต่อไป¹² ในยุโรปและสหรัฐอเมริกาอุปกรณ์ที่ได้รับการยอมรับคือ เครื่องดักฝุ่นแบบไฟฟ้าสถิต (Electrostatic precipitator, ESP) และถุงกรอง (Baghouse)¹³⁻¹⁴ แต่การนำอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้มาใช้จะเพิ่มต้นทุนค่าก่อสร้างและการดำเนินงาน และต้องมีเจ้าหน้าที่ประจำคอยดูแลระบบ ดังนั้นระบบเผาตรงจึงอาจไม่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กกว่า 10 เมกะวัตต์^{8,12}

จากการศึกษาระบบการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าชีวมวลที่มีชื่อเสียงในประเทศสหรัฐอเมริกา แคนาดา และฟินแลนด์ จำนวน 20 แห่ง¹⁴ (ตารางที่ 1) พบว่าแต่ละแห่งมีกำลังการผลิตที่แตกต่างกัน มีตั้งแต่ขนาด 10 ไปจนถึง 79.5 เมกะวัตต์ ระบบหม้อไอน้ำที่ใช้มีทั้งแบบตะกรับและแบบลมลอย แต่ทุกแห่งจะใช้ระบบดักจับฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพสูงคือเครื่องกรองไฟฟ้าสถิต หรือถุงกรอง¹⁴

ระบบแก๊สซิฟิเคชัน

ในระบบนี้ชีวมวลจะไม่ถูกนำไปเผาโดยตรงแต่จะถูกนำไปผ่านกระบวนการที่เรียกว่า “แก๊สซิฟิเคชัน” (Gasification) เพื่อเปลี่ยนสภาพที่เป็นของแข็งให้อยู่ในรูปก๊าซ โดยการอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 470 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะพร่องอากาศ¹⁵ ก๊าซที่ได้นิยมเรียกว่า “ซินก๊าซ” (Syngas) หรือ ก๊าซชีวมวล ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน และมีเทน ซินก๊าซจึงมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำไปใช้ผลิตไฟฟ้าได้หลายรูปแบบ โดยอาจใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับถ่านหินในระบบเผาตรงเพื่อลดมลพิษจากการเผาถ่านหิน¹⁶ หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้หมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบการผลิตไฟฟ้าแบบแก๊สซิฟิเคชัน นอกจากนี้ยังมีแนวคิดที่จะนำซินก๊าซไปใช้หมุนกังหันก๊าซโดยตรงในระบบกังหันก๊าซ (Gas turbine) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า¹⁷

ระบบแก๊สซิฟิเคชันดีกว่าระบบเผาตรงทั้งในด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่สูงถึงร้อยละ 30-40 และอาจถึงร้อยละ 80 หากเป็นระบบกังหันร่วมซึ่งร้อยละเฉลี่ยจะได้กล่าวถึงต่อไป¹⁷⁻¹⁸ นอกจากนี้ยังทำให้เกิดมลพิษน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเผาตรงเนื่องจากไม่ได้เผาชีวมวลโดยตรงและ

สิ่งปนเปื้อนในซินก๊าซจะถูกกำจัดออกก่อนการนำไปใช้¹⁷ ปัญหาที่พบมีเพียงการรั่วของ CO ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายแต่เฉพาะพนักงานในโรงไฟฟ้าเท่านั้น¹⁹ แต่ประสบการณ์ที่ผ่านมาการนำระบบแก๊สซิฟิเคชันไปใช้มักประสบปัญหา¹⁷ ในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจบลงด้วยการเลิกกิจการเนื่องจากระบบการผลิตไม่มีความเสถียร เครื่องยนต์สึกหรอเนื่องจากสารทาร์และฝุ่นละอองในซินก๊าซ การกำจัดสารทาร์ทำได้ยากและหากใช้ระบบสเปรย์น้ำจะทำให้เกิดสารพีเอเอชซึ่งอาจสร้างผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ระบบแก๊สซิฟิเคชันยังเหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์²⁰ ระบบเหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 10-100 กิโลวัตต์เท่านั้น

แต่ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี และความพยายามในการแสวงหาทางเลือกที่ดีกว่าระบบเผาตรง ในปัจจุบันระบบแก๊สซิฟิเคชันจึงได้รับการพัฒนาไปมากและมีความพร้อมทั้งในเชิงเทคโนโลยีและองค์ความรู้ในการประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า⁸ มีรายงานว่าผู้ประกอบการมากกว่า 50 บริษัทในยุโรป สหรัฐอเมริกา และแคนาดา²¹ และอีกกว่า 100 บริษัทในประเทศจีนที่ขายเครื่องแก๊สซิฟิเคชัน²² และมีหลายบริษัทที่เสนอขายและให้บริการติดตั้งระบบแก๊สซิฟิเคชันขนาดกำลังการผลิตที่ 10 เมกะวัตต์²³ IRENA (International Renewable Energy Agency)⁸ รายงานว่าเมื่อพ.ศ.2553 ทั่วโลกมีไฟฟ้าจำนวน 373 เมกะวัตต์ที่ผลิตจากโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชัน ส่วนในประเทศไทยเมื่อพ.ศ.2556 สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติได้สนับสนุนให้ผู้ประกอบการเอกชนใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันไปผลิตไฟฟ้า 4 แห่ง และผลิตความร้อนอีก 8 แห่ง²⁴

เทคโนโลยีอื่น

นอกจากระบบเผาตรงและระบบแก๊สซิฟิเคชันแล้ว ยังมีเทคโนโลยีอื่นอีกหลายประเภทที่กำลังได้รับการพัฒนา เทคโนโลยีที่น่าสนใจและมีแนวโน้มที่จะใช้ได้ในอนาคตอันใกล้นี้มีดังนี้

ระบบกังหันก๊าซ ระบบนี้มีหลักการการทำงานที่คล้ายกับระบบกังหันไอน้ำ แต่แทนที่จะใช้ไอน้ำเป็นตัวหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบใหม่นี้จะใช้ซินก๊าซไปหมุนกังหัน โดยไม่ต้องไปผลิตไอน้ำ ซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียพลังงานไปได้มาก ระบบจะมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าประมาณร้อยละ 25-33 และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ระหว่าง 500 กิโลวัตต์ถึง 350 เมกะวัตต์ แต่ด้วยข้อจำกัดทางเทคโนโลยี ในปัจจุบันระบบมีความพร้อมสำหรับการผลิตไฟฟ้าขนาด 5-10 เมกะวัตต์เท่านั้น

Table 1 Top 20 leading biomass power plants in USA, Canada and Finland

Power plant	Installed capacity (MW)	Fuel	Boiler	Pollution control
Bay Front	30	Mill, TDF, coal	Modified coal stokers	Multiclones and electroscrubber granular filters
Kettle Falls	46	Mill	Traveling grate stoker	Cyclone and ESP
McNeil	50	Forest, mill, urban waste	Traveling grate stoker	Cyclone and ESP
Shasta	49.9	Mill, forest, agriculture	Traveling grate stoker	ESP
El Nido (close)	10	Ag, forest, mill	Fluidized bed	Multiclones and baghouse
Madera (close)	25	Ag, forest, mill	Fluidized bed	No data
Stratton	45	Mill, forest	Traveling grate stoker	Cyclone and ESP
Chowchilla II (close)	10	Ag, forest, mill	Fluidized bed	No data
Tracy	18.5	Ag, urban	Vibrating grate	Multiclones and ESP
Tacoma	12	Wood, RDF, coal	Fluidized bed	Multiclones and baghouse
Colmac	49	Urban, ag, coke	Fluidized bed boilers	Multiclones and baghouse
Grayling	36.17	Mill, forest	Traveling grate stoker	Cyclones and ESP
Williams Lake	60	Mill	Vibrating grate	Multiclones and ESP
Multitrade	79.5	Mill	Fixed grate stokers	Cyclones and ESP
Ridge	40	Urban, tires, LPG	Traveling grate stoker	Fabric filter baghouse
Greenidge	10.8	Manufacturing	Tangentially-fired Pulverized Coal	Cyclones and ESP
Camas	38-48	Mill	Vibrating grate	No data
Snohomish	43	Mill, urban	Sloping grate	NH ₃ injection, Baghouse
Okeelanta	74	Bagasse, urban	Vibrating grate	ESPs
Lahti	25	Urban, RDF	Fluidized bed, gasifier	ESPs

Source: Modified from Wiltsee¹⁴

Mill = mill waste = ชี้อ้อย

Ag = agriculture residue = เศษวัสดุทางการเกษตร

Forest = เศษไม้จากป่า

Urban = ขยะจากเมือง

Bagasse = ชานอ้อย

RDF = Refuse Derived

Fuel = เชื้อเพลิงจากขยะ

Tire = ยางรถยนต์

Coke, coal = ถ่านหิน

นอกจากนี้ระบบกังหันแก๊สยังทำให้เกิดมลพิษในระดับต่ำมาก โดยจะทำให้เกิด NO_x และ CO ประมาณ 100 พีพีเอ็มเท่านั้น²⁵

Externally fire Gas Turbines (EFGT) เป็นเทคโนโลยีระบบกังหันก๊าซรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นแก้ปัญหาใบพัดกังหันสีกกร้อนที่เกิดจากสิ่งปนเปื้อนในซินก๊าซโดยไม่นำซินก๊าซไปหมุนกังหันโดยตรง แต่จะเผาซินก๊าซเพื่อให้ความร้อนแก่อากาศสะอาดที่เตรียมไว้ จากนั้นจึงใช้อากาศนี้ไปหมุนกังหันแทนซินก๊าซ ระบบนี้จึงเหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีสิ่งปนเปื้อนสูง²⁵

Organic Rankine Cycles (ORC) เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้อินทรีย์เหลว (organic fluid) แทนการใช้ไอน้ำสำหรับขับเคลื่อนกังหันและเครื่องผลิตไฟฟ้าในระบบนี้ ชีวมวลจะถูกเผาเพื่อให้ความร้อนกับสารอินทรีย์เหลว จากนั้นจึงใช้ของสารอินทรีย์ไปหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในปัจจุบันระบบที่มีจำหน่ายแล้วในต่างประเทศ สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 200 กิโลวัตต์ ถึง 2.5 เมกะวัตต์ ข้อดีของระบบคือมีประสิทธิภาพสูง กังหันและระบบมีความเสียหายน้อยและมีความเสถียรสูง ข้อเสียอยู่ที่ค่าลงทุนเริ่มต้นสูง ประมาณ 46,000-115,000 บาท/กิโลวัตต์²⁵

ระบบกังหันร่วม (Integrated biomass gasification combined cycle, IBGCC) เป็นเทคโนโลยีที่รวมทั้งกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำไว้ในระบบเดียวกัน ในการผลิตไฟฟ้า ชีวมวลจะถูกนำไปใช้หมุ่กังหันก๊าซก่อน จากนั้นจึงนำอากาศที่ออกมาซึ่งยังคงมีความร้อนอยู่ไปต้มน้ำในระบบกังหันไอน้ำต่อไปตามทฤษฎีระบบนี้อาจมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้ามากถึงสองเท่าของระบบหม้อไอน้ำปกติ²⁶ โรงไฟฟ้าแห่งแรกที่ใช้ทดลองนำระบบสร้างขึ้นที่ประเทศเดนมาร์คเมื่อพ.ศ.2536 สามารถผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้6และ9เมกะวัตต์ตามลำดับ²⁷ ข้อดีของระบบคือทำให้เกิดมลพิษน้อย มีต้นทุนการผลิตต่ำและสามารถใช้ได้กับเชื้อเพลิงหลายชนิด²⁶

ผลการศึกษาดูงานโรงไฟฟ้าต้นแบบ

ข้อมูลโรงไฟฟ้าชีวมวล 3 แห่งที่ได้ศึกษาดูงานสรุปอยู่ในตารางที่ 2 โรงไฟฟ้าระบบเผาตรงทั้งสองแห่งใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหลัก ส่วนโรงไฟฟ้าแก๊สซิฟิเคชันใช้ขี้ขี้ข้าวโพด อุปกรณ์ที่ใช้ตัดฝู่นละอองมีทั้งเครื่องชะจับเวนจูรีและเครื่องกรองไฟฟ้าสถิต ทุกแห่งกำจัดขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาชีวมวลโดยการให้เกษตรกรนำไปปรับปรุงดินและนำไปฝังกลบในบ่อ

Table 2 Technology among on-site visited power plants

Power plant	Plant1	Plant2	Plant3
Technology	Direct-fired system	Direct-fired system	Gasification
Installed capacity (MWs)	52	7.5	0.15
Biomass	Bagasse	Bagasse	Corn cob
Fuel transportation	Lorry	Lorry, mini-tractor	Pickup truck, mini-tractor
Fuel preparation	Crush if it is a sugarcane leaf, or rice straw	Crush if it is a sugarcane leaf, or rice straw	Leave it dry under the sun
Dust collector	Venturi scrubber	Electrostatic precipitator	Not use
Ash disposal	Landfill or use as a soil fertilizer	Landfill or use as a soil fertilizer	Use as a soil fertilizer
Wastewater management	Treated by wastewater treatment system and reuse	Treated by wastewater treatment system and reuse	Treated by wastewater treatment system and reuse
Noise control	Keep generator in a close room, use PPE if enter	Keep generator in a close room, use PPE if enter	Keep generator in a close room, use PPE if enter

PPE = Personal protective equipment

เชื้อเพลิงเสริมอีกด้วย ในแต่ละปีจะใช้เชื้อเพลิงทุกชนิดประมาณ 820,000 ตัน (ร้อยละ 85 เป็นชานอ้อย) ชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลอื่นส่วนใหญ่ส่วนใหญ่จะถูกส่งมายังโรงไฟฟ้าโดยใช้รถบรรทุกสิบล้อหรือรถพ่วง ชานอ้อยจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำโดยไม่ต้องมีกระบวนการ

ฝังกลบของทางโรงไฟฟ้า ปัญหาที่สังเกตเห็นขณะเยี่ยมชมกิจการคือ การจัดเก็บเชื้อเพลิงยังไม่เรียบร้อย บางแห่งกองทิ้งไว้ในที่โล่งโดยไม่มีวัสดุปกคลุมเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจาย ส่งผลให้มีเศษชานอ้อยตกในและบริเวณรอบๆโรงไฟฟ้า และอาจสร้างปัญหาความเดือดร้อนรำคาญแก่ประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงตลอดคล้อยกับผลจากการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่สาธารณสุขและประชาชนในพื้นที่ซึ่งบอกว่าโรงไฟฟ้าทำให้เกิดปัญหาฝุ่น เสียงดัง และอุบัติเหตุจากการจราจร แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลนี้เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นที่ไม่ได้เก็บรวบรวมและวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ

โรงไฟฟ้า 1

เป็นโรงไฟฟ้าระบบเผาตรงขนาดใหญ่ มีขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 52 เมกะวัตต์ เป็นโรงไฟฟ้าที่สร้างขึ้นเพื่อกำจัดชานอ้อยที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ได้มาจากโรงงานน้ำตาลที่อยู่ในบริเวณเดียวกันและบางส่วนได้มาจากการรับซื้อจากโรงงานน้ำตาลอื่นที่อยู่ไม่ไกลมากนัก นอกจากนี้ยังมีการใช้แกลบ ใบอ้อย ฟางข้าว และเศษไม้ที่รับซื้อจากชุมชนในพื้นที่มาเป็น

เตรียมเชื้อเพลิง แต่หากเป็นใบอ้อยและฟางข้าวจะถูกนำไปบดย่อยเพื่อลดขนาดก่อนนำเผา อุปกรณ์ที่ใช้ตัดจับฝู่นละอองจากเตาเผาคือเครื่องชะจับเวนจูรี (Venturi scrubber) น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากระบบนี้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียที่อยู่ในส่วนของโรงงานน้ำตาล ส่วนขี้เถ้าจะถูกกำจัดโดยให้เกษตรกร

นำไปใช้ปรับปรุงดิน ที่เหลือจากนั้นจะถูกฝังกลบในบ่อที่เตรียมไว้ เสียงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยการสร้างห้องเก็บและให้บุคลากรใช้ที่อุดหูหากต้องเข้าไปปฏิบัติงาน

จากการสัมภาษณ์ตัวแทนโรงไฟฟ้าทำให้ทราบว่า การผลิตไฟฟ้าเป็นไปอย่างราบรื่น เครื่องจักรและระบบมีความเสถียรมาก บริษัทสามารถผลิตและจ่ายไฟฟ้าได้อย่างสม่ำเสมอและในอนาคตบริษัทมีแผนที่จะขยายกิจการเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตให้มากขึ้น ส่วนการป้องกันปัญหาความขัดแย้งกับชุมชน ทางโรงไฟฟ้ามีนโยบายที่จะสร้างความสัมพันธ์อันดีกับชุมชนด้วยการเข้าร่วมกิจกรรมของประชาชนและให้ความช่วยเหลือชุมชนในหลายรูปแบบ ได้แก่ การให้เงินสนับสนุนการทำกิจกรรมของชุมชน ให้ทุนการศึกษาและจัดซื้ออุปกรณ์กีฬาให้โรงเรียนในพื้นที่ จัดบริการหน่วยแพทย์เคลื่อนที่เพื่อตรวจสุขภาพประชาชน และจัดตั้งกองทุนพัฒนาชุมชนรอบโรงไฟฟ้า นอกจากนี้บริษัทยังได้เปิดโอกาสให้ประชาชนและผู้สนใจเข้าเยี่ยมชมกิจการ โรงไฟฟ้ามีส่วนช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของชุมชนให้ดีขึ้นโดยการรับซื้อเศษวัสดุทางการเกษตรและการจ้างงาน ในปัจจุบันโรงไฟฟ้ามีพนักงาน 150 คน ในจำนวนนี้ประมาณครึ่งหนึ่งเป็นคนในพื้นที่

โรงไฟฟ้า 2

เป็นโรงไฟฟ้าระบบเผาตรงขนาด 7.5 เมกะวัตต์ ที่ได้รับการสนับสนุนจากองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นและชุมชน เพื่อการใช้ประโยชน์จากแกลบที่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ในพื้นที่ แต่ต่อมาเกิดปัญหาแกลบมีไม่เพียงพอและมีราคาสูง ทางโรงไฟฟ้าจึงได้เปลี่ยนไปใช้ชานอ้อยแทน ในปัจจุบันโรงไฟฟ้ามีความต้องการชานอ้อยอยู่ที่ประมาณ 76,000 ตันต่อปี ส่วนใหญ่ได้มาจากการรับซื้อจากโรงงานน้ำตาลที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียง การขนส่งชานอ้อยจะใช้รถบรรทุกสิบล้อหรือรถพ่วงการควบคุมฝุ่นละอองโดยติดตั้งเครื่องกรองไฟฟ้าสถิตและปลูกต้นไม้เป็นแนวรั้วเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของเศษเชื้อเพลิงและขี้เถ้า วิธีการกำจัดขี้เถ้าที่เกิดจากการเผาชีวมวลคือให้ประชาชนนำไปใช้ปรับปรุงดินและนำไปฝังกลบหากมีเหลือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกเก็บไว้ในอาคารปิดเพื่อควบคุมเสียงดังและให้พนักงานที่เกี่ยวข้องใช้ที่อุดหู

ที่ผ่านมาโรงไฟฟ้ามีผลการดำเนินงานที่ดี ไม่มีปัญหาการที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิตไฟฟ้า สามารถควบคุมระดับมลพิษให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ธุรกิจมีผลการดำเนินงานที่ดีและในอนาคตทางบริษัทมีแผนที่จะขยายกำลังการผลิตให้ได้ประมาณ 17 เมกะวัตต์ ปัญหาอุปสรรคที่พบมีเพียงเรื่องแกลบมีราคาสูงและขาดแคลนแต่บริษัทได้หาทางออกโดยการเปลี่ยนมาใช้ชานอ้อยแทน ในส่วน

ของการป้องกันปัญหาความขัดแย้งกับชุมชน ทางโรงไฟฟ้าได้ให้ความช่วยเหลือชุมชน ให้เงินสนับสนุนการทำกิจกรรมของชุมชน จัดตั้งกองทุนพัฒนาชุมชน นำน้ำสะอาดที่เหลือใช้จากระบบผลิตไฟฟ้ามาแจกจ่ายให้ประชาชน นอกจากนี้โรงไฟฟ้ายังมีกิจกรรมออกไปรับฟังปัญหาจากชุมชนอีกด้วย

โรงไฟฟ้า 3

เป็นโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชันขนาดกำลังการผลิต 150 กิโลวัตต์ เครื่องแก๊สซิฟิเคอร์ที่ใช้เป็นแบบลมลงหรือ Downdraft gasifier เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นซังข้าวโพด เริ่มดำเนินงานมาตั้งแต่ พ.ศ.2551 กระบวนการผลิตเริ่มจากการอบซังข้าวโพดเพื่อผลิตซินก๊าซ จากนั้นจึงนำก๊าซที่ได้ไปทำความสะอาดด้วยไซโคลน เครื่องกรองแบบเปียก (Wet scrubber) และถูกรอง ก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทำความสะอาดซินก๊าซจะถูกบำบัดและหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ขี้เถ้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตจะให้เกษตรกรนำไปใช้ปรับปรุงดิน ปัญหาเสียงดังถูกควบคุมโดยสร้างห้องปิดสำหรับเก็บเครื่องยนต์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โรงไฟฟ้าไม่มีอุปกรณ์ดับจัมพลพิษใดเป็นพิเศษเนื่องจากระบบทำให้เกิดสารมลพิษน้อยมาก การดำเนินงานของโรงไฟฟ้าไม่ทำให้อุบัติเหตุมีมากขึ้นและเพิ่มปริมาณการจราจรเนื่องจากโรงไฟฟ้ามีขนาดเล็กและมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณที่ไม่มาก ซังข้าวโพดส่วนใหญ่จะถูกลำเลียงมายังโรงไฟฟ้าด้วยรถไถเดินโดยเกษตรกร ที่ผ่านมาทางโรงไฟฟ้าไม่เคยประสบปัญหาความขัดแย้งกับชุมชนถึงแม้จะไม่มีมาตรการพิเศษในด้านการสร้างความสัมพันธ์อันดีกับชุมชน ในด้านเศรษฐกิจโรงไฟฟ้าได้ช่วยให้ประชาชนมีรายได้มากขึ้นจากการขายซังข้าวโพด

ผู้ประกอบการให้ข้อมูลว่าเป้าหมายหลักของการสร้างโรงไฟฟ้าแห่งนี้คือเพื่อใช้เป็นแหล่งเรียนรู้และฝึกอบรมพนักงานมากกว่าการแสวงหากำไรทางธุรกิจ ผลการดำเนินงานที่ผ่านมาอยู่ในระดับที่พอใจตัวเองได้ทำนั้นเนื่องจากปัญหาเชื้อเพลิงมีราคาแพงและโรงไฟฟ้ามีขนาดเล็ก ในอนาคตบริษัทมีแผนที่จะสร้างโรงไฟฟ้าประเภทนี้ให้มากขึ้น และต้องการให้รัฐบาลช่วยสนับสนุน โดยเฉพาะในด้านกรให้ความรู้และการสร้างความเข้าใจที่ถูกต้องกับประชาชนในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

วิจารณ์และสรุปผล

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลที่ใช้แพร่หลายมีเพียงสองประเภทคือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าระบบเผาตรงและระบบแก๊สซิฟิเคชัน ระบบเผาตรงได้รับการ

พัฒนามานานและระบบมีความลงตัวดีแล้ว โรงไฟฟ้าชีวมวลส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในปัจจุบันจะใช้ระบบนี้⁸ แต่เทคโนโลยีนี้มีข้อจำกัดในด้านประสิทธิภาพการแปลงพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ยังทำได้ไม่ดี ระบบมีการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อนไปผลิตไอน้ำและกระบวนการเผาชีวมวลจะทำให้เกิดมลพิษทางอากาศจำนวนมาก โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก²⁸ ซึ่งมีอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพ²⁹ และการกำจัดทำได้ค่อนข้างยาก การใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพสูงอย่างเช่นเครื่องกรองแบบไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรองจะทำให้มีต้นทุนค่าก่อสร้างและดำเนินงานสูงขึ้น รวมถึงความจำเป็นต้องจ้างพนักงานประจำที่มีความชำนาญไว้คอยดูแลและควบคุมระบบ ระบบเผาตรงจึงอาจไม่เหมาะสำหรับโรงไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์^{9,12} โรงไฟฟ้าขนาดนี้อาจต้องใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่แต่มีจุดเด่นในด้านประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้นแถมยังทำให้เกิดสารมลพิษน้อย³⁰

จากผลการศึกษาดูงานโรงไฟฟ้าชีวมวลต้นแบบในประเทศจะเห็นได้ว่าโรงไฟฟ้าที่มีผลการดำเนินงานดีและได้รับการยอมรับจากชุมชนมีทั้งที่ใช้ระบบเผาตรงและระบบแก๊สซิฟิเคชัน และในโรงไฟฟ้าระบบเผาตรงสองแห่งยังใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองแตกต่างกัน แห่งหนึ่งใช้เครื่องกรองไฟฟ้าสถิต ส่วนอีกแห่งใช้เครื่องกรองฝุ่นแบบเวนจูรี ถึงแม้ว่าผู้ประกอบการทั้งสองแห่งจะยืนยันว่าระดับมลพิษที่ปล่อยออกจากโรงไฟฟ้าของตนเองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ แต่ในทางทฤษฎีแล้วเครื่องกรองไฟฟ้าสถิตจะมีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นที่มีขนาดเล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในควันที่เกิดจากการเผาชีวมวล¹⁴ ได้ดีกว่าเครื่องกรองแบบเวนจูรี นอกจากนี้เครื่องชนิดหลังนี้จะทำให้เกิดน้ำเสียที่ต้องนำไปบำบัดต่อไป สอดคล้องกับผลการสำรวจเทคโนโลยีที่ใช้ของโรงไฟฟ้าชั้นนำในประเทศที่พัฒนาแล้วซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เครื่องกรองไฟฟ้าสถิต¹⁴ ส่วนการจัดการกับขี้เถ้าที่เกิดจากการเผา

ชีวมวล

โรงไฟฟ้าทุกแห่งที่สำรวจไม่ระบบกำจัดที่ชัดเจนส่วนใหญ่จะให้ประชาชนนำไปใช้ปรับปรุงดินและที่เหลือจะถูกนำไปฝังกลบในบ่อที่ไม่มีระบบป้องกันการรั่วซึมตามมาตรฐานการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary landfill) ถึงแม้ว่าการปฏิบัติในลักษณะนี้จะยอมรับได้ว่าจะไม่เกิดผลกระทบต่อดิน¹⁴ แต่อาจเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการปนเปื้อนแหล่งน้ำและทำให้เกิดฝุ่นปลิวที่อาจสร้างปัญหาความเดือดร้อนรำคาญแก่ประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงได้⁷ นอกจากนี้จากการสังเกตภายในโรงไฟฟ้ายังมีปัญหาฝุ่นของขี้เถ้าที่กระจายในพื้นที่โรงไฟฟ้าและบริเวณโดยรอบ สาเหตุหลักน่าจะเกิดการขาดระบบการจับที่เหมาะสม กระแสจึงทำให้ขี้เถ้าที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาฟุ้งกระจายได้ หรืออาจเกิดจากขั้นตอนการลำเลียงเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ การป้องกันฝุ่นขี้เถ้าอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ การกรองเศษฝุ่นขนาดเล็กออก (Depithing) การปลูกต้นไม้หรือรั้วกันลมและฝุ่น และการออกแบบจุดปล่อยหรือถ่ายเทขี้เถ้าให้อยู่เป็นระบบปิด³¹

การตัดสินใจว่าเทคโนโลยีใดเป็นเทคโนโลยีที่ดีที่สุดสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลอาจนั้นทำได้ยากหรือไม่ได้เลยเนื่องจากไม่สามารถหาเกณฑ์ที่เหมาะสมมาตัดสินได้ แต่หากพิจารณาจากความพร้อมของเทคโนโลยี ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากชีวมวลไปเป็นพลังงานไฟฟ้า และการปล่อยมลพิษจากระบบการผลิตไฟฟ้า อาจสรุปได้ว่าโรงไฟฟ้าระบบแก๊สซิฟิเคชันมีแนวโน้มที่จะเป็นเทคโนโลยีที่ดีกว่าระบบเผาตรงเนื่องจากระบบมีประสิทธิภาพดีกว่าแต่ทำให้เกิดปัญหาหมอกควันน้อยกว่า (Table 3) ส่วนข้อจำกัดด้านความพร้อมทางเทคโนโลยีที่เคยเป็นปัญหาสำคัญในอดีตนั้นในปัจจุบันและในอนาคตจะไม่เป็นปัญหาอีกต่อไปเนื่องจากมีผู้ประกอบการจำนวนมากที่สนใจที่จะพัฒนาเทคโนโลยีนี้ ขณะนี้ระบบสามารถรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 10 เมกะวัตต์³² ซึ่งเป็นขนาดที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรม

Table 3 Comparing direct-fired system to gasification system

	Direct-fired system	Gasification
Technology development	Fully developed	Developing
Energy efficiency	20-30%	30-40%
Commercially available capacity	A few to >100 MWs	10 KWs to 10 MWs
Level of pollution production	High (i.e. fine particle and carcinogen)	Low (i.e. CO)
Particulate control system	ESP or baghouse	Not required

ผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลในประเทศไทย³ นอกจากนี้เทคโนโลยีนี้ยังรองรับระบบกังหันก๊าซและระบบกังหันร่วมซึ่งเป็นเทคโนโลยีในอนาคตที่กำลังจะมาแทนที่ระบบเผาตรงในอีกไม่นานนี้²⁶

รัฐควรกำหนดนโยบายการผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลให้ชัดเจน โดยเลือกส่งเสริมการใช้ระบบเผาตรงเฉพาะกับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่กว่า 10 เมกะวัตต์เท่านั้น และเพิ่มข้อบังคับให้ใช้อุปกรณ์ดักจับฝุ่นละอองที่มีประสิทธิภาพสูงคือ เครื่องกรองไฟฟ้าสถิตหรือถุงกรองเท่านั้น ส่วนโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กกว่านั้นควรให้ใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชัน นอกจากนี้ควรมีนโยบายให้มีการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะจากโรงไฟฟ้าระบบเผาตรงในทุกขนาดเพื่อให้แน่ใจว่าประชาชนจะปลอดภัยต่อทั้งผลกระทบในระยะสั้นและผลกระทบในระยะยาว

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการสุขภาพแห่งชาติ (สช.)

เอกสารอ้างอิง

- Nussbaumer T. Combustion and Co-combustion of biomass: Fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction. *Energy Fuel* 2003; 17(6):1510-1521. doi: 10.1021/ef030031q.
- Barz M. Biomass Technology for Electricity Generation in Community. *International Journal of Renewable Energy* 2008; 3(1):1-10.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. ฐานข้อมูล SPP/VSP. [Online]. 2558 [cited 2014 Jan 15]. Available from: <http://www.erc.or.th/ERCSP/default.aspx?x=0&muid=23&prid=41>.
- Ministry of energy. *Alternative Energy Development Plan: AEDP2015*. Bangkok: Ministry of energy; 2015.
- Naehler LP, Brauer M, Lipsett M, Zelikoff JT, Simpson CD, Koenig JQ, et al. Woodsmoke health effects: A review. *Inhal toxicol* 2007; 19:67-106.
- Boman CB, Forsberg BA, Forsberg BA, Jarvholm BG. Adverse health effects from ambient air pollution in relation to residential wood combustion in modern society. *Scand J Work Environ Health* 2003; 29(4):251-260.
- ชัชวาลย์ จันทรวิจิตร. โครงการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดกำลังการผลิตต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์. นนทบุรี: กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2553.
- IRENA (International Renewable Energy Agency). *Renewable energy technologies: cost analysis series volume 1: power sector issue 1/5 biomass for power generation*. Bonn, Germany: IRENA; 2012.
- Saidur R, Abdelaziz EA, Demirbas A, Hossain MS, Meknilef S. A review on biomass as a fuel for boilers. *Renew Sust Energy Rev* 2011; 15: 2262-2289.
- Demirbas A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Convers Manag* 2001; 42(11):1357-1378.
- Anenberg SC, Horowitz LW, Tong DQ, West JJ. An estimate of the global burden of anthropogenic ozone and fine particulate matter on premature human mortality using atmospheric modeling. *Environ Health Persp* 2010; 118(9): 1189-1195.
- Beauchemin PA, Tampier M. *Emissions from wood-fired combustion equipment*. Victoria, British Columbia, Canada: Ministry of Environment; 2008.
- Hinckley J., Doshi K. *Emission controls for small wood fired boilers*. USA: United States Forest Service, Western Forestry Leadership Coalition; 2010.
- Wiltsee G. *Lessons learned from existing biomass power plants*. Golden, Colorado, USA: NREL (National Renewable Energy Laboratory); 2000.
- Dimpl E. *Small-scale electricity generation from biomass - Part I: Biomass gasification*. 1st ed. Eschborn, Germany: GTZ-HERA-Poverty-oriented Basic Energy Service; 2010.
- Pytlar TS. Status of existing biomass gasification and pyrolysis facilities in North America. In 18th Annual North American Waste-to-Energy Conference Orlando, 2010 May 11-13; Orlando, Florida, USA. Orlando: Solid Waste Processing Division and Environmental Engineering Division; 2010.
- The BECK Group. *Roaring Fork Biomass Consortium - Small scale biomass technology review*. Portland, OR, USA: The BECK Group; 2011.

18. Ciferno J, Marano J. Benchmarking biomass gasification technologies for fuels, chemicals and hydrogen production. USA: U.S. Department of Energy National Energy Technology Laboratory; 2002.
19. Asadullah M. Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review. *Renew Sust Energy Rev* 2014; 29:201-215.
20. Salam PA, Kumar S, Siriwardhana M. Report on the status of biomass gasification in Thailand and Cambodia. Bangkok, Thailand: Bangkok: Asian Institute of Technology; 2010.
21. U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership. Biomass combined heat and power catalog of technologies. v.1.1. USA: U.S.EPA; 2007.
22. Chen L. Insight: state-of-the-art of biomass gasification in China-S3D-Waste & Sustainable development solutions, Nantes, France [Internet]. In: 5th international conference on application of biomass gasification, 2011 Feb 10-12; New Fair Stuttgart, Germany. 2011 [cited 2016 Dec 10]. Available from: <https://www.scribd.com/document/319106809/ChinaGAsification2011-pdf>
23. Zhou Z, Yin X, Xu J, Ma L. The development situation of biomass gasification power generation in China. *Energy Policy* 2012; 51:52-57.
24. อ่ำพล อภารณากร, นิमित นิพัทธ์ธรรมกุล, เฉลิมพงษ์ กล้ำขยัน. โครงการนำร่องเพื่อผลิตพลังงานทดแทนจากชีวมวลในระดับชุมชน. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ; 2555.
25. Carrara S. Small-scale biomass power generation [Doctoral thesis]. Bergamo, Italy: University of Bergamo; 2010.
26. Krigmont HV. Integrated biomass gasification combined cycle (IBGCC) power generation concept-A white paper: The gateway to a cleaner future [Internet]. Allied Environmental Technologies, Inc; 1999 [cited 2016 Jul 9]. Available from: <http://www.alentecinc.com/papers/IGCC/ADVGASIFICATION.pdf>
27. Stahl K, Waldheim L, Morris M, Johnsson U, Gardmark L. Biomass IGCC at Värnamo, Sweden - Past and future [Internet]. In GCEP energy workshop; 2004 April 27 2004; Frances C. Arrillaga Alumni Center, Stanford University, CA, USA; 2004 [cited 2016 Jan 12]. Available from: http://www.ducente.se/images/content/pdf/stanford_20040427.pdf
28. Johansson LS, Tullin C, Leckner B, Sjoval P. Particle emissions from biomass combustion in small combustors. *Biomass Bioenergy* 2003; 25:435-446. doi:10.1016/S0961-9534(03)00036-9.
29. Torres-Duque C, Maldonado D, Perez-Padilla R, Ezzati M, Viegi G. Biomass fuels and respiratory diseases. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 5(5):577-590. doi: 10.1513/pats.200707-100RP.
30. McKendry P. Energy production from biomass (part 3): Gasification technologies. *Bioresour Technol* 2002; 83(1):55-63.
31. Purchase BS, Rosettenstein S, Bezuidenhoudt DV. Challenges and potential solutions for storage of large quantities of basgasse for power generation. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 2013; 86:495-513.
32. IEA. Energy Technology Essentials-Biomass for Power Generation and CHP [Internet]. 2007 [cited 2016 Dec 20]. Available: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/iea-energy-technology-essentials-biomass-for-power-generation-and-chp.html>

การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล

Quantifying Above Ground Carbon Sequestration Using Remote Sensing Technology

ญาณวุฒิ อุทรักษ์¹, ธนัทเดช โรจนกุล^{1,2}, วีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ^{1,2*}

Yannawut Uttaruk¹, Tanutdech Rotjanakusol^{1,2}, Teerawong Laosuwan^{1,2*}

Received: 21 August 2016 ; Accepted: 9 January 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนผลไม้ร่วมกับดัชนีพืชพรรณใน 2 รูปแบบคือ 1) การลบแบบง่าย 2) การหารแบบง่าย ร่วมกับการสำรวจข้อมูลภาคสนาม โดยวิธีการศึกษาได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 8 เดือน มกราคม พ.ศ. 2558 มาปรับแก้ค่าสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ จากนั้นทำการหาค่าสัดส่วนการ ปกคลุม และนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI และข้อมูลภาคสนาม โดยผลการศึกษาพบว่าด้วยการลบแบบง่าย ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.3184e^{0.048x}$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.845$ ทำให้คำนวณปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเป็นปริมาณ 213.176 ตันต่อไร่ ด้วยการหารแบบง่าย ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8900e^{0.047x}$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.774$ ทำให้คำนวณปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเป็นปริมาณ 224.229 ตันต่อไร่

คำสำคัญ: การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน การสำรวจระยะไกล

Abstract

The objective of the study was to apply remote sensing technology to estimate above ground carbon sequestration of orchards with vegetation indices into two forms: 1) NIR-RED, and 2) NIR/RED. It also aims to explore field data by using the data from a satellite named Landsat 8 OLI that was recorded on 8 January 2015 to adjust the Top of Atmosphere (ToA) reflectance, then determine the percentage of fractional cover, and build the relationship equation between satellite data from Landsat 8 OLI and field data. The results from NIR-RED showed the equation $y = 0.3184e^{0.048x}$ with the coefficient of $R^2 = 0.845$. As a result, the calculated amount of above ground carbon was 213.176 tons per rai. Meanwhile, the results from NIR/RED showed relationship equation $y = 0.8900e^{0.047x}$ with the coefficient of $R^2 = 0.774$. As a result, the calculated amount of above ground carbon was 224.229 tons per rai.

Keywords: Quantifying Above Ground Carbon Sequestration, Remote Sensing

บทนำ

ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศปัจจุบันมิได้เพิ่มขึ้นจากฝีมือของมนุษย์ที่เผาผลาญเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติเท่านั้น แต่ยังเกิดจากการที่พื้นที่ป่าไม้ โดย เฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ในป่าดิบ ในเขตป่า

ร้อนชื้นของโลก ที่ส่วนมากอยู่ในประเทศที่กำลังพัฒนาถูกทำลายไปเพื่อวัตถุประสงค์ในด้านการค้า เพื่อการเพาะปลูกหรือเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น^{1,2,3} โดยการทำให้ป่าไม้เหล่านั้นได้ทำปฏิกิริยาก๊าซเรือนกระจกมีความรุนแรงขึ้น เมื่อต้นไม้ถูกเผาทำลายไปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เคยถูกกักเก็บไว้ในต้นไม้

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

² Space Technology and Geoinformatics Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150

* Corresponding author: Teerawong Laosuwan, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150. E-mail: teerawong@msu.ac.th

จะถูกปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศของโลก⁴ ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ซึ่งมีผลกระทบโดยตรงทำให้ผิวโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น กิจกรรมทางด้านป่าไม้ นับเป็นกิจกรรมสาขาหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศประมาณร้อยละ 20 เกิดจากการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ที่กักเก็บในมวลชีวภาพ (Biomass) เนื่องจากการตัดไม้ทำลายป่าและการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ในดินจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน⁵ ในอีกด้านหนึ่งนั้น ต้นไม้สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) และนำมาสะสมไว้ในรูปของมวลชีวภาพทั้งในส่วนเหนือพื้นดินโดย ลำต้น กิ่ง ใบ และใต้ดิน โดยราก⁶⁻¹⁰ ที่เรียกว่า “การกักเก็บคาร์บอน” (Carbon sequestration) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์⁵

Remote sensing “การสำรวจระยะไกล” หรือ “การรับรู้จากระยะไกล” หมายถึง การบันทึกหรือการได้มาซึ่งข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับวัตถุพื้นที่เป้าหมายด้วยเครื่องรับรู้ (sensor) โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุนั้นๆ ทั้งนี้โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) เป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะคือ ช่วงคลื่น (Spectral) รูปทรงस्थฐาน (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) ของสิ่งต่างๆ บนพื้นผิวโลก^{11,12}

การสำรวจระยะไกลนั้นได้จัดเป็นศาสตร์อีก แขนงหนึ่งในสาขาฟิสิกส์ประยุกต์ และวิศวกรรม ภูมิสารสนเทศ¹³⁻¹⁷ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำการสำรวจระยะไกลเข้ามาช่วยในการประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน¹⁸⁻²¹ ข้อมูลดาวเทียมนั้นสามารถบันทึกค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้พร้อมกันในหลายช่วงคลื่น (Multi-spectral)^{22,23} ทำให้สามารถนำเอาคุณสมบัติของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ ที่ดาวเทียมบันทึกได้มาประเมินค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินในพื้นที่ป่าไม้ได้ อีกทั้งยังกระทำได้สะดวก รวดเร็วและใช้งบประมาณน้อยลงด้วย^{24,25} สำหรับประเทศไทยงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการประมาณการกักเก็บคาร์บอนของพื้นที่ป่าไม้และสวนป่า²⁶ ยังไม่พบการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนผลไม้ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์การประเมินการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในตำบลสร้างค้อ อำเภอภูพาน จังหวัดสกลนคร

วิธีการดำเนินงาน

ขอบเขตของพื้นที่ศึกษา

ตำบลสร้างค้อ ตั้งอยู่ห่างจากอำเภอภูพาน ไปทางทิศใต้ประมาณ 20 กิโลเมตร พื้นที่ตั้งอยู่บริเวณที่ราบสูงบนเทือกเขาภูพานบางส่วนของพื้นที่อยู่ในเขตป่าสงวนแห่งชาติป่าชมภูพาน ทั้งนี้ตำบลสร้างค้อ อำเภอภูพาน จังหวัดสกลนคร มีอาณาเขตติดกับตำบลต่างๆ ดังนี้

- ทิศเหนือ ติดกับ ต.โคกภู อ.ภูพาน จ.สกลนคร
 - ทิศใต้ ติดกับ อ.เขาวง, อ.นาขู, อ.สมเด็จพระ จ.กาฬสินธุ์
 - ทิศตะวันออก ติดกับ ต.หลุมเลา อ.ภูพาน จ.สกลนคร และ
 - ทิศตะวันตก ติดกับ อ.โคกภู อ.ภูพาน จ.สกลนคร
- สำหรับวิธีการดำเนินงานหลักในการศึกษาครั้งนี้

สามารถแสดงได้ดัง Figure 1

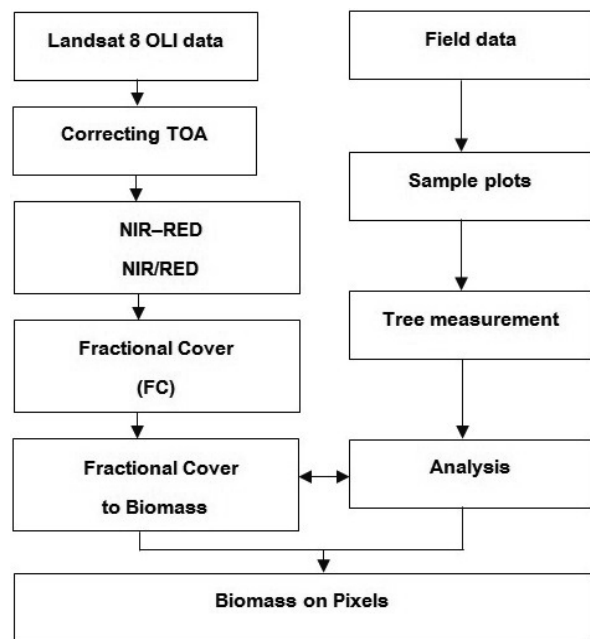


Figure 1 Flowchart of the study

การจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียม Landsat 8

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 โดยดาวเทียม Landsat 8 สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (Table 1) ได้แก่ ช่วงคลื่น Coastal aerosol (0.43-0.45 μm) ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน (0.45-0.51 μm) ช่วงคลื่นสีเขียว (0.53-0.59 μm) ช่วงคลื่นสีแดง (0.64-0.67 μm) อินฟราเรดใกล้ (0.85-0.88 μm) จำนวน 1 ช่วงคลื่น และอินฟราเรดคลื่นสั้น (1.57-1.65 และ 2.11-2.29 μm) จำนวน 2 ช่วงคลื่น ความละเอียดของจุดภาพ (Pixel) 30 เมตร ในช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (Thermal IR) จำนวน 2 ช่วงคลื่นความละเอียด 100 เมตร และภาพขาวดำ

(Panchromatic) ความละเอียด 15 เมตร ระบบการเก็บข้อมูล 16 บิต โคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน

Table 1 LANDSAT 8 OLI and TIRS²⁷

Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
1	0.43 -0.45 (Coastal aerosol)	30 m
2	0.45 - 0.51 (Blue)	30 m
3	0.53 - 0.59 (Green)	30 m
4	0.64-0.67 (Red)	30 m
5	0.85 - 0.88 (Near IR)	30 m
6	1.57 - 1.65 (SWIR-1)	30 m
7	2.11 - 2.35 (SWIR-2)	30 m
8	0.50 - 0.68 (Panchromatic)	15 m
9	1.36 - 1.38 (Cirrus)	30 m
10	10.60 - 11.19 (Thermal IR 1)	100 m
11	11.50 - 12.51 (Thermal IR2)	100 m

สำหรับข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 OLI ที่นำมาศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลที่บันทึกข้อมูลเมื่อวันที่ 8 มกราคม พ.ศ. 2558 โดยมีขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1) ตัดข้อมูลจากดาวเทียมให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการปรับแก้ความผิดพลาดทางเรขาคณิต (Geometric correction) ของข้อมูลจากดาวเทียมดังกล่าว

2) ทำการปรับแก้ค่า Top of Atmosphere (ToA) Reflectance เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลจากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างในขณะทำการบันทึกข้อมูล ได้แก่ สภาพอากาศ, ภูมิประเทศ, อุณหภูมิ, มุมตกกระทบของแสงด้วยสมการที่ 1 และสมการที่ 2^{28,29}

$$\rho\lambda' = Mp \times Qcal + Ap \tag{1}$$

โดยที่

$\rho\lambda'$ คือ ค่าการสะท้อนของบรรยากาศจากโลกที่ยังไม่มีการปรับแก้ไขสำหรับมุมของดวงอาทิตย์

Mp คือ ค่าการสะท้อนของ Band X จากข้อมูลดาวเทียม

$Qcal$ คือ การปรับมาตรฐานค่าข้อมูลเชิงตัวเลข (DN : Digital Number) ในจุดภาพ (Pixel)

Ap คือ ค่าการสะท้อนจำเพาะของ Band X จากข้อมูลดาวเทียม

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\sin \theta} \tag{2}$$

โดยที่

$\rho\lambda$ คือ ค่าการสะท้อนจากผิวโลกที่ปรับแก้มุมของดวงอาทิตย์

θ คือ ค่ามุมสะท้อนจากดวงอาทิตย์กับดาวเทียม

3) นำข้อมูลจากดาวเทียมที่ได้รับการปรับแก้ในสองข้อดังกล่าวข้างต้นมาทำการเลือกจุดภาพ (Pixel) ในตำแหน่งเดียวกันกับพื้นที่ทำการวางแปลงตัวอย่างถาวร (Permanent plot) ทั้งนี้เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับวิธีการลบแบบง่าย (NIR-RED) และการหารแบบง่าย (NIR/RED) ด้วยสมการที่ 3 และสมการที่ 4³⁰

$$\text{การลบแบบง่าย} = NIR - RED \tag{3}$$

$$\text{การหารแบบง่าย} = \frac{NIR}{RED} \tag{4}$$

โดยที่

NIR คือ ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared: NIR) ของดาวเทียม Landsat 8 OLI

RED คือ ช่วงคลื่นแสงสีแดง (RED) ของดาวเทียม Landsat 8 OLI

4) นำผลของข้อมูลที่วิเคราะห์ได้ข้อ 3 มาหาค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุม Fractional Cover (FC) โดยอ้างอิงจากสมการที่ 5^{31,32}

$$FC = \frac{VI - VI_{soil}}{VI_{forest} - VI_{soil}} \tag{5}$$

โดยที่

FC คือ ค่าสัมประสิทธิ์การปกคลุม

VI คือ ค่าดัชนีพืชพรรณ

VI_{soil} คือ ดัชนีของดิน

VI_{forest} คือ ดัชนีเรือนยอด

การจัดเตรียมข้อมูลภาคสนาม

ในการวิจัยนี้ได้จัดทำแปลงตัวอย่างขนาด 20 เมตร x 20 เมตร (Figure 2) จากพื้นที่สวนผลไม้จำนวน 22 แปลงในพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้แปลงตัวอย่างทั้ง 22 แปลงดังกล่าวเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาจำนวน 72.20 ไร่ จากนั้นได้เก็บข้อมูลชนิดและจำนวนพันธุ์ไม้ใหญ่ (ไม้ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ระดับความสูงเพียงอก (Diameter at Breast Height: DBH) ตั้งแต่ 4.5 เซนติ เมตรขึ้นไป) รวมทั้งวัดความสูงของต้นไม้ โดยข้อมูลที่ได้อาจจากการสำรวจทั้งหมดจะถูกนำมาบันทึกลงในแบบบันทึกข้อมูล

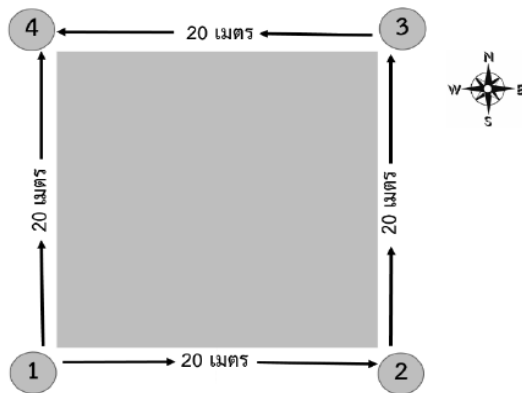


Figure 2 Sample plot

จากนั้นจึงได้ใช้สมการแอลโลเมตรี (Allometric equation) (สมการที่ 6) มาทำการคำนวณหามวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน⁶

$$\begin{aligned}
 W_s &= 0.0389(D^2H)^{(0.9417)} & r^2 &= 0.9106 \\
 W_b &= 0.0678(D^2H)^{(0.6618)} & r^2 &= 0.8347 \\
 W_l &= 0.0084(D^2H)^{(0.7660)} & r^2 &= 0.9109
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

โดยที่

W_s คือ มวลชีวภาพของลำต้น

W_b คือ มวลชีวภาพของกิ่ง

W_l คือ มวลชีวภาพของใบ

การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประมาณหาค่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI มีการดำเนินการ ดังนี้

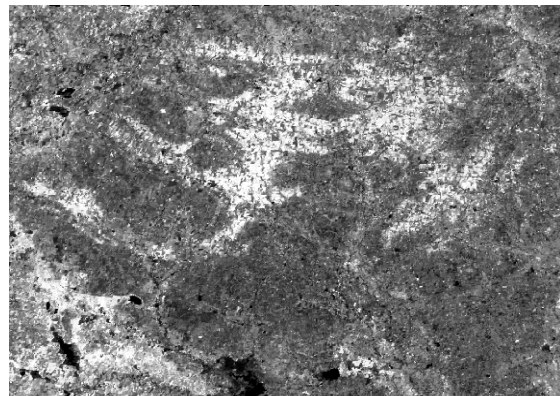
- 1) วิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดินกับการสะท้อนช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณจากข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 OLI ด้วยการลบแบบง่าย NIR-RED และการหารแบบง่าย NIR/RED
- 2) ทำการเปรียบเทียบผลของข้อมูลและทำการหาสมการที่เหมาะสมที่สุดในการประมาณค่าการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนผลไม้ในตำบลสร้างค้อ อำเภอภูพาน จังหวัดสกลนคร

ผลการดำเนินงาน

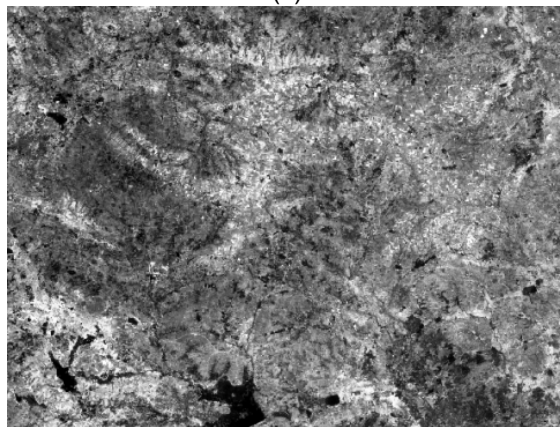
ผลการจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 OLI

สำหรับผลการปรับแก้ค่า Top of Atmosphere (ToA) Reflectance เพื่อลดความผิดพลาดของพลัง งานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลจากสภาพแวดล้อม

ที่อยู่รอบข้าง ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูล สามารถแสดงได้ดัง Figure 3



(a)



(b)

Figure 3 (a) Before Top of Atmosphere (b) After Top of Atmosphere

ผลการการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการหาความสัมพันธ์ของข้อมูลทางสถิตินั้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ร่วมกับข้อมูลภาคสนามเพื่อสร้างสมการเพื่อประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดิน ทั้งนี้ผลจากการศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้ ด้วยวิธีลบอย่างง่าย (NIR-RED) ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.3184e^{0.0482x}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.845$ (Figure 4) ทำให้สามารถคำนวณปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเป็นปริมาณ 213.176 ตันต่อไร่ จากพื้นที่ศึกษาจำนวน 72.20 ไร่

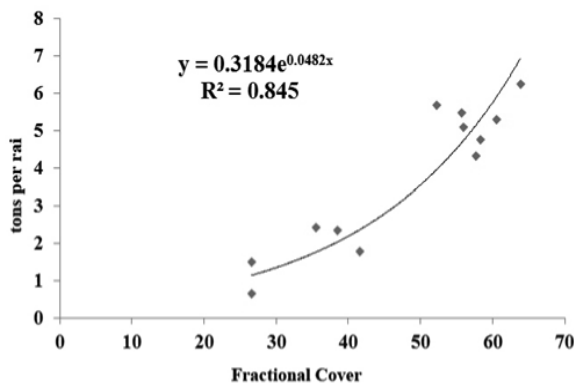


Figure 4 Relationship equation of NIR-RED

ด้วยวิธีหารอย่างง่าย NIR/RED ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8900e^{0.047x}$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.774$ (Figure 5) ทำให้สามารถคำนวณปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเป็นปริมาณ 224.229 ตันต่อไร่ จากพื้นที่ศึกษาจำนวน 72.20 ไร่

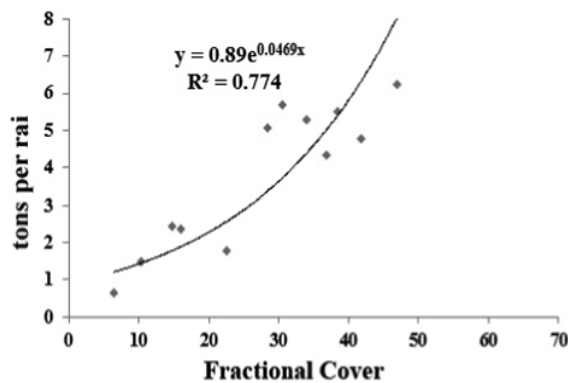


Figure 5 Relationship equation of NIR/RED

สรุปผล

จากการศึกษาการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินด้วยข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI และดัชนีพืชพรรณ วิธีลบบอย่างง่าย NIR-RED และวิธีหารอย่างง่าย NIR/RED ของสวนผลไม้ในตำบลสร้างค้อ อำเภอภูพาน จังหวัดสกลนคร โดยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บคาร์บอนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ตัวแปรตาม) กับค่าดัชนีพืชพรรณ วิธีลบบอย่างง่าย NIR-RED และวิธีหารอย่างง่าย NIR/RED จากข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 OLI (ตัวแปรอิสระ) มาทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย ทำให้ได้สมการในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินจำนวน 2 สมการ โดยวิธีการที่เหมาะสมที่สุดคือวิธีลบบอย่างง่าย NIR-RED ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.3184e^{0.0482x}$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.845$ ทำให้สามารถคำนวณ

ปริมาณคาร์บอนเหนือพื้นดินคิดเป็นปริมาณ 213.176 ตันต่อไร่ จากพื้นที่ศึกษาจำนวน 72.20 ไร่ โดยผลของการวิจัยดังกล่าวเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยเรื่อง Estimating Tree Biomass via Remote Sensing, MSAVI 2, and Fractional Cover Model³¹ งานวิจัยเรื่อง Estimating Above Ground Carbon Capture Using Remote Sensing Technology in Small Scale Agro Forestry Areas³² งานวิจัยเรื่อง Carbon Stock Assessment Using Remote Sensing and Forest Inventory Data in Savannakhet, Lao PDR³³ และงานวิจัยเรื่อง Mapping Global Forest Above ground Biomass with Spaceborne LiDAR, Optical Imagery, and Forest Inventory Data³⁴ นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความถูกต้องทางสถิติด้วยวิธี (Pair Sample T-test) ก็ยังพบว่าวิธีลบบอย่างง่าย NIR-RED นี้ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสามารถนำเสนอสมการดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการประมาณการกักเก็บคาร์บอนเหนือพื้นดินของสวนผลไม้ในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศไทยได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ พ่อเนาวิ บัวแก้ว และกลุ่มเกษตรกรในเครือข่ายชุมชนอินแปลง ตำบลสร้างค้อ อำเภอภูพาน ที่เข้าร่วมโครงการวิจัย ขอขอบคุณ คุณสิริธร ดำรงสุกิจ ภาควิชาการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และคุณ กุสุมา อาษาสนา สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สำหรับการสำรวจข้อมูลภาคสนามมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Office of Environmental Policy and Planning. Thailand's national greenhouse gas inventory 1994. Ministry of Science Technology and Environment. Bangkok. 2000.
- IPCC. Climate change, IPCC fourth assessment report (AR4). In: Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tigora M, Miller HL (eds.). The physical science basis. Cambridge University Press, Cambridge. UK/New York. 2007.
- Jundang, W., Puangchit, L., and Diloksumpun, S. Carbon Storage of Dry Dipterocarp Forest and Eucalypt Plantation at Mancha Khiri Plantation, Khon Kaen Province. Thai Journal of Forestry. 2010; 3: 36-44.

4. นฐปัทม์ จิตพิทักษ์. มาตรการป้องกันเพื่อลดก๊าซเรือนกระจก. วารสารสิ่งแวดล้อม. 2542; 2 (11): 43-50.
5. อุษา กลิ่นหอม, ชีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ, พรชัย อุทริักษ์, ฤทธิรงค์ จังโกฏี, เพ็ญแข ธรรมเสนานุภาพ และคมกริช วงศ์ภาคคำ. การชดเชยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในภาคป่าไม้. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ภายใต้แผนงานวิจัยเรื่องการศึกษาวิธีการตรวจวัดการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพื้นที่ปลูกป่าและพื้นที่ฟื้นฟูสภาพป่า. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ, 2554.
6. Ogawa, H., Yoda, K., Ogini, K. and Kira, T. Comparative Ecological Study on Three Main Type of Forest Vegetation in Thailand. *Nature and Life in Southeast Asia*. 1965;4:49-80.
7. Senpaseuth, P., Navanugraha, C., and Pattanakiat, S. The Estimation of Carbon Storage in Dry Evergreen and Dry Dipterocarp Forests in Sang Khom District, Nong Khai Province, Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*. 2009;2:1-11.
8. UNFCCC. Clean development mechanism: methodologies: afforestation/ Reforestation methodologies. Approved A/R Methodologies. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก http://cdm.unfccc.int/methodologies/ARmethodologies/approved_ar.html. 2015.
9. UNFCCC. Clean development mechanism: methodologies: small scale Afforestation/ reforestation CDM methodologies. Methodologies for small scale A/R CDM project activities. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCAR/approved.html>. 2015.
10. Chicago Climate Exchange. Forestry carbon sequestration offsets. Available from <https://www.theice.com/ccx>. 2014.
11. Campbell, J.B. *Introduction to Remote Sensing*. Taylor & Francis, London. 1996.
12. ชีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ. เทคโนโลยีอวกาศประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาสารคาม : ตักศิลาการพิมพ์. 2557.
13. Charles Elachi, Jakob Van Zy. *Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2006.
14. Arbind Kumar Shah. Remote sensing- A part of an Applied Physics. *The Himalayan Physics*. 2013; 4(4):102-108.
15. Rees, W. G. *Physical Principles of Remote Sensing*. Cambridge University Press. 2013.
16. Deekshatulu, B.L. and Bajpai, O.P. *Physics of Remote Sensing*, *Current Science*.1983; 51(24);1132-1143.
17. Purdue University.. *Geomatics Engineering*. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก: <https://engineering.purdue.edu/CE/Academics/Groups/Geomatics>. 2016.
18. Schlerf, M., Alzberger, C., Hill, J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. *Remote Sens. Environ*. 2005; 95:177-194.
19. Senpaseuth, P., Navanugraha, C., Pattanakiat, S. The Estimation of Carbon Storage in Dry Evergreen and Dry Dipterocarp Forests in Sang Khom District, Nong Khai Province, Thailand. *Environment and Natural Resources Journal*. 2009;7 (2): 1-11.
20. Patel, N.K., Saxena, R.K., Shiwalkar, A. Study of fractional vegetation cover using high spectral resolution data. *J. Indian Soc. Remote Sens*. 2007; 35:73-79.
21. Jundang, W., Puangchit, L., and Diloksumpun, S. Carbon Storage of Dry Dipterocarp Forest and Eucalypt Plantation at Mancha Khiri Plantation, Khon Kaen Province. *Thai Journal of Forestry*. 2010; 3: 36-44.
22. ชีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ, พรชัย อุทริักษ์, อุษา กลิ่นหอม, ซาลี นาวานูเคราะห์, เชษฐพงษ์ บุตรเทพ, เจ เอช สาเม็ก, เดวิด แอล สโคล. การสำรวจและพัฒนาระบบฐานข้อมูลการสะสมคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่วนเกษตรประเทศไทย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 2554;30(4): 403-410.
23. ชีรวรงค์ เหล่าสุวรรณ, ธนัทเดช โรจนกุล. การเฝ้าระวังและติดตามสถานการณ์น้ำด้วยเทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*. 2556; 32(2):246-256.
24. Ling Du, Tao Zhou, Zhenhua Zou, Xiang Zhao, Kaicheng Huang, Hao Wu. Mapping Forest Biomass Using Remote Sensing and National Forest Inventory in China. *Forest*. 2014; 5:1267-1283.
25. Klosterman, S. T., Hufkens, K., Gray, J. M., Melaas, E., Sonnentag, O., Lavine, I., Mitchell, L., Norman,

- R., Friedl, M. A., Richardson. A. D. Evaluating Remote Sensing of Deciduous Forest Phenology at Multiple Spatial Scales Using PhenoCam Imagery. *Biogeosciences*. 2014; 11(2): 4305-4320.
26. ชีวรงค์ เหล่าสุวรรณ, พรชัย อุทวิชัย, อุษา กลิ่นหอม, ชาลี นาวานุเคราะห์,เชษฐพงษ์ บุตรเทพ,เจ เอช สาเม็ก, เดวิด แอล สโคล. ความสำเร็จของเครือข่ายชุมชนอินแปงจากการมีส่วนร่วมในการบรรเทาสภาวะโลกร้อนผ่านทางภาคป่าไม้.วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ. 2556; 16 (2): 44-54.
27. U.S. Geological Survey. Landsat 8. ออนไลน์เข้าถึงได้จาก <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. 2016.
28. Yale University. Converting Digital Numbers to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก:http://www.yale.edu/ce_o/Documentation/Landsat_DN_to_Reflectance.pdf. 2015.
29. Claudio Parente. TOA reflectance and NDVI calculation for Landsat 7 ETM+ images of Sicily. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference. 2013.
30. Harrisgeospatial. Broadband Greenness. ออนไลน์ เข้าถึงได้จาก: <https://www.harrisgeospatial.com/docs/broadbandgreenness.html>. 2016.
31. Teerawong Laosuwan & Pornchai Uttaruk. Estimating Tree Biomass via Remote Sensing, MSAVI 2, and Fractional Cover Model. *IETE Technical Review*. 2014; 31(5): 362-368.
32. Teerawong Laosuwan and Yannawut Uttaruk. Estimating Above Ground Carbon Capture Using Remote Sensing Technology in Small Scale Agro Forestry Areas. *Agriculture & Forestry*. 2016; 62(2):253-262.
33. Phutchard Vicharnakorn, Rajendra P. Shrestha, Masahiko Nagai, Abdul P. Salam and Somboon Kiratiprayoon. Carbon Stock Assessment Using Remote Sensing and Forest Inventory Data in Savannakhet, Lao PDR. *Remote Sens*. 2014; 6: 5452-5479.
34. Tianyu Hu, Yanjun Su, Baolin Xue, Jin Liu, Xiaoqian Zhao, Jingyun Fang and Qinghua Guo. Mapping Global Forest Aboveground Biomass with Spaceborne LiDAR, Optical Imagery, and Forest Inventory Data. *Remote Sens*. 2016; 8: 2-27.

การกักเก็บน้ำในพืชและดินของป่าชุมชนบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่

Water Storages in Plants and Soils of Community Forest around Upland Rice Planting Areas, Mae Wang District, Chiang Mai Province

ฐปรัฎฐ์ สีลอยอ่อนแก้ว^{1*} โอบาส วรวัต²

Taparat Seeloy-ounkaew^{1*}, Opas Worawat²

Received: 7 November 2016 ; Accepted: 10 April 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาการกักเก็บน้ำของพืชและดินในป่าบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูง อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ ใช้วิธีการวิเคราะห์ สังคมพืชโดยวางแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40 x 40 ตารางเมตร พื้นที่ละ 12 แปลง วางแปลงแบบสุ่มให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ วัดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับอกและความสูงต้นไม้ทุกชนิดที่มีความสูง 1.5 เมตร ขึ้นไป ศึกษาความหลากหลายชนิดพรรณ มวลชีวภาพ ปริมาณน้ำในมวลชีวภาพ ดินและระบบนิเวศ พบว่า มีพันธุ์ไม้ทั้งหมด 125 ชนิด (99 สกุล 53 วงศ์) พันธุ์ไม้เรื้อนยอดเด่นคือ สนสามใบ ก่อหมากและก่อเดือย มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดพันธุ์ (SWI) เท่ากับ 3.60 ± 1.08 พันธุ์ไม้ที่มีดัชนีความสำคัญมากที่สุด คือ สนสามใบ มีปริมาณมวลชีวภาพพืช $273.90 \pm 89.06 \text{ Mg ha}^{-1}$ และปริมาณการเก็บกักน้ำในระบบนิเวศของฤดูหนาว ฤดูร้อนและฤดูฝน คือ $3311.47, 1712.02$ และ $4269.21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ตามลำดับ แยกเป็นปริมาณน้ำในมวลชีวภาพและดินในฤดูหนาว เท่ากับ 258.15 และ $3053.32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ฤดูร้อน เท่ากับ 276.86 และ $1435.16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ และฤดูฝน เท่ากับ 297.29 และ $3971.92 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ของการกักเก็บน้ำสูงสุด ตามลำดับ สภาพป่าดั้งเดิม ภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์และการจัดการป่าที่แตกต่างกันทำให้ความหลากหลายชนิดพรรณไม้ มวลชีวภาพและการเก็บกักน้ำในระบบนิเวศป่าชุมชนแตกต่างกัน

คำสำคัญ: มวลชีวภาพพืช ความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้ การเก็บกักน้ำในระบบนิเวศ

Abstract

Water storage in plants and soils of forests around upland rice planting areas, Mae Wang district, Chiang Mai province were studied. Using a method of plant community analysis, 12 plots of 40 x 40 m² in size were set up in forests by a stratified random sampling. Stem girths at breast height and heights of all tree species with height of ≥ 1.5 m were measured. Plant species diversity, biomass, and in water storage ecosystems were investigated. A total of 125 species (99 genera, 53 families) were existed. *Pinus kesiya*, *Quercus brandisiana* and *Castanopsis acuminatissima* were dominant species. The mean value of species diversity index by Shannon-Wiener equation was 3.60 ± 1.08 , and the most important species was *P. kesiya*. The plant biomass was estimated to be $273.90 \pm 89.06 \text{ Mg ha}^{-1}$, and the water storage in ecosystems of cold, hot and raining seasons as $3311.47, 1712.02$ and $4269.21 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, divided into biomass and soil water in cold season as 258.15 and $3053.32 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, Hot season as 276.86 and $1435.16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ and Raining season as 297.29 and $3971.92 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectively. Differences in original plant communities, topographic conditions, forest utilization and management by villagers resulted in plant species diversity, biomass and water storages in the forests.

Keywords: plant biomass, plant species diversity, ecosystem water storage

^{1,2} ศูนย์วิจัยข้าวฉะเชิงเทรา อำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา 24170

^{1,2} Chachoeng Sao Rice Research Center, Bang Nam Brieo District, Chachoeng Sao 24170

* Corresponding author; Taparat Seeloy-ounkaew, Chachoeng Sao Rice Research Center, Bang Nam Brieo District, Chachoeng Sao 24170, taparat.s@rice.mail.go.th

บทนำ

น้ำ (water) เป็นทรัพยากรธรรมชาติอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เป็นของเหลวที่เกิดจากการรวมตัวกันอย่างเหมาะสมระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจน โดยเฉพาะน้ำจืดที่อยู่บนผิวดินจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทที่สามารถกักเก็บทดแทนขึ้นได้ถ้าเรามีการจัดการอย่างดี น้ำเป็นปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่สำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ แสง อุณหภูมิ บรรยากาศ ดิน ธาตุอาหารพืช ฯลฯ ซึ่งทำให้สภาพทางนิเวศวิทยาของพื้นที่ต่างๆ ผันแปรแตกต่างกันออกไป¹⁻³ ส่งผลต่อการขึ้นอยู่อาศัย จำนวนประชากรและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดในพื้นที่ รวมทั้งอิทธิพลที่มีต่อวิถีชีวิตของผู้คนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ข้อมูลที่เกี่ยวกับคุณภาพ ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำที่ออกจากพื้นที่ลุ่มน้ำสามารถใช้แสดงให้เห็นถึงสภาพความอุดมสมบูรณ์หรือเสื่อมโทรมของป่าไม้ สัตว์ป่า ดิน การใช้ที่ดินและการดำรงชีพของประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำได้เป็นอย่างดี

โดยปกติแล้วน้ำจะมีการหมุนเวียนจากท้องทะเลและมหาสมุทรมายังระบบนิเวศบนบก ต่อจากนั้นจะมีการไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของระบบนิเวศลงสู่ที่ต่ำ ขณะที่เคลื่อนย้ายผ่านระบบนิเวศก็จะมีชีวิตต่าง ๆ ใช้ประโยชน์ไป มีการสูญเสียไปกับการคายน้ำของพืชและการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ บางส่วนอาจจะสะสมอยู่บนพื้นดินและในดิน ส่วนที่เหลือจะไหลออกสู่ทะเลต่อไป สำหรับประเทศไทยนั้นฝนที่ตกตามภูเขาสูงที่มีป่าไม้ปกคลุมหนาแน่นในพื้นที่ต้นน้ำจะค่อย ๆ ไหลออกสู่ลำธารโดยกลไกของระบบนิเวศป่าไม้ แต่ถ้าหากป่าไม้ถูกทำลายก็จะทำให้อัตราการไหลของน้ำเกิดขึ้นในอัตราที่รวดเร็ว พื้นที่ต้นน้ำก็จะเหือดแห้งอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง อัตราการไหลที่รวดเร็วพร้อมทั้งปริมาณน้ำที่มากจะก่อให้เกิดการชะกร่อนพังทลายของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่มีการแปรสภาพจากป่าไม้เป็นพื้นที่เกษตร ดังนั้นในการจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศไทยจึงต้องมีการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ต้นน้ำและต้องมีป่าไม้ปกคลุมในสัดส่วนที่มากพอ

สำหรับป่าที่ชาวบ้านใช้ประโยชน์และช่วยกันดูแลรักษาหรือเรียกอีกอย่างว่า ป่าชุมชน (Community forest) ของชุมชนบ้านห้วยข้าวลีบ ตั้งอยู่ที่หมู่ 8 ตำบลแม่วิน อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่ป่าชุมชนประมาณ 1744 ไร่ กระจายตามความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ตั้งแต่ 900-1500 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ยในพื้นที่ 22 องศาเซลเซียส และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในพื้นที่ เท่ากับ 1400 มิลลิเมตร/ปี คนในชุมชนเองใช้ประโยชน์จากป่าและช่วยกันดูแลรักษาป่า โดยแบ่งพื้นที่

ป่าของชุมชนออกเป็น 2 ประเภท คือ ป่าอนุรักษ์ (conservation forest) และป่าใช้สอย (utilization forest) ประชาชนในพื้นที่ประกอบอาชีพการเกษตรเป็นอาชีพหลัก คือ ปลูกข้าวนาที่สูง เป็นพันธุ์ข้าวไวต่อแสง (ข้าวนาปี) โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาแบบนาขั้นบันไดประมาณ 325 ไร่ เกษตรกรปลูกเพื่อบริโภคในครัวเรือนเป็นหลัก ซึ่งการปลูกข้าวนาที่สูง ต้องอาศัยน้ำจากลำธารและน้ำฝนเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นการศึกษาศักยภาพการสะสมน้ำในพื้นที่บริเวณนี้ จึงมีความสำคัญ เพราะข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อวิถีชีวิตและเป็นปัจจัยสำคัญของเกษตรกรในพื้นที่นี้ ตลอดจนเกี่ยวข้องกับความมั่นคงของชาติในเรื่องโภชนาการของประเทศด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อศึกษาศักยภาพการเก็บกักน้ำในระบบนิเวศของป่าชุมชน ประกอบด้วย การเก็บกักน้ำในมวลชีวภาพพืชและในดิน โดยเน้นเกี่ยวกับความสูงสุดของการเก็บกักน้ำ โดยไม่รวมอัตราการเคลื่อนย้ายต่างๆ ในระบบนิเวศ ข้อมูลที่ได้จะเป็นพื้นฐานทำให้ทราบศักยภาพสูงสุดของป่าชุมชนในการเก็บกักน้ำและเป็นข้อมูลสำหรับการจัดการป่าชุมชนเพื่อให้เกิดความยั่งยืนของทรัพยากรธรรมชาติต่อไป ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญอย่างหนึ่งของการจัดการพื้นที่ต้นน้ำลำธาร

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. การสำรวจความหลากหลายชนิดพรรณไม้

ศึกษาความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ในป่าบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวโดยวิธีการวิเคราะห์สังคมพืช (Plant community analysis) เพื่อให้ได้ข้อมูลพันธุ์ไม้เชิงปริมาณและคุณภาพ โดยการวางแปลงสุ่มตัวอย่างขนาด 40x40 ตารางเมตร แบบ Quadrat method ในป่าจำนวน 12 แปลง ให้กระจายครอบคลุมพื้นที่ป่ารอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูง ในแปลงสุ่มตัวอย่างทำการวัดความสูงของต้นไม้และเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับ 1.30 เมตร จากพื้นดินของพันธุ์ไม้ยืนต้นทุกชนิดที่มีความสูงตั้งแต่ 1.50 เมตร คำนวณข้อมูลเชิงปริมาณโดยใช้สมการของ Krebs⁴ ได้แก่ ความถี่ (frequency) ความหนาแน่น (density) ความเด่น (dominance) และดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา (Ecological Importance Value Index, IVI) สำหรับค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (Species Diversity Index) ใช้สมการ Shannon–Wiener Index (SWI)

2. ผลผลิตทางชีวภาพป่าและการเก็บกักน้ำ

2.1 มวลชีวภาพพืช (Plant biomass)

ใช้แปลงตัวอย่างของการศึกษาความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหามวลชีวภาพของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ และราก ตามสมการ

Allometry ที่ศึกษาโดย Tsutsumi⁵ ดังนี้

$$W_S = 0.0509 (D^2H)^{0.919} \quad (r^2 = 0.978)$$

$$W_B = 0.00893 (D^2H)^{0.977} \quad (r^2 = 0.890)$$

$$W_L = 0.0140 (D^2H)^{0.669} \quad (r^2 = 0.714)$$

$$W_R = 0.0323 (D^2H)^{0.805} \quad (r^2 = 0.981)$$

เมื่อ W_S คือ มวลชีวภาพของลำต้น (กิโลกรัม)
 W_B คือ มวลชีวภาพของกิ่ง (กิโลกรัม)
 W_L คือ มวลชีวภาพของใบ (กิโลกรัม)
 W_R คือ มวลชีวภาพของราก (กิโลกรัม)
 D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นไม้ที่ความสูงระดับอก (1.30 เมตร จากพื้นดิน) (เซนติเมตร)
 H คือ ความสูงของต้นไม้ (เมตร)

2.2 การเก็บกักน้ำในมวลชีวภาพ

เก็บตัวอย่างของพันธุ์ไม้เด่นในป่า จำนวน 14 ชนิด แต่ละชนิดเลือกเก็บตัวอย่างจากต้นไม้ที่มีขนาดเส้นรอบวงลำต้นที่ระดับอก (1.3 เมตร จากพื้นดิน) ประมาณ 30, 50 และ 100 เซนติเมตร ขนาดลำต้นละ 3 ต้น แต่ละต้นและแต่ละขนาดแยกเก็บตัวอย่างเนื้อไม้ ในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบ และรากสด (รวมเปลือกสำหรับลำต้นและกิ่ง) บริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูงจำนวน 3 ครั้ง (ฤดูหนาว ฤดูร้อนและฤดูฝน) นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนัก จากนั้นนำพืชตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักที่คงที่ แล้วจึงคำนวณปริมาณน้ำในเนื้อเยื่อพืชส่วนต่างๆ โดยแสดงเป็นร้อยละต่อน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้ง นำค่าร้อยละของน้ำหนักแห้งคูณกับปริมาณมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณหา มวลชีวภาพพืชในส่วนของลำต้น กิ่ง ใบและรากเพื่อหาปริมาณน้ำในมวลชีวภาพต่อพื้นที่

2.3 การสะสมน้ำในดิน

ขุดดินกว้าง ยาวและลึกขนาด 1.5 x 2 x 2 เมตร ในป่าบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวจำนวน 3 หลุม คือ เขิงเขา ไหลเขาและสันเขา เก็บตัวอย่างดินตามชั้นความลึก คือ 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100, 100-120, 120-140, 140-160, 160-180 และ 180-200 เซนติเมตร โดยใช้กระบอกลอยดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และ สูง 5 เซนติเมตร (ชั้นดินละ 3 ซ้ำ) เก็บตัวอย่างดินแบบไม่กระทบกระเทือน (undisturbed soil samples) นำตัวอย่างไปอบแห้งเพื่อคำนวณหาร้อยละของความชื้นในดิน ณ เวลาที่เก็บตัวอย่างและการดูดยึดน้ำสูงสุด (Maximum water holding capacity) หรือ ค่าความจุความชื้น

สนาม (Field water capacity, FC) ในห้องปฏิบัติการและคำนวณปริมาณน้ำในดินต่อพื้นที่จากร้อยละของความชื้นและมวลดิน (soil mass) ต่อพื้นที่⁶⁻⁸

ผลการศึกษา

1. ลักษณะของสังคมพืชในป่า

1.1 ความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้

พื้นที่ป่าบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวนาที่สูงจากการวางแผนสุ่มตัวอย่างในพื้นที่เชิงเขา ไหลเขาและสันเขา ทิศด้านลาดต่างๆ พื้นที่ละ 4 แปลง รวม 12 แปลง พบพันธุ์ไม้ทั้งหมด 125 ชนิด (99 สกุล และ 53 วงศ์) พันธุ์ไม้เรือนยอดเด่นที่พบมาก คือ สนสามใบ (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon) ก่อหมาก (*Quercus brandisiana* Kurz) และ ก่อเดือย (*Castanopsis acuminatissima* Rehd.)

ป่าบริเวณนี้มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดพันธุ์ไม้ตามสมการ Shannon-Wiener index (SWI) มีค่าเฉลี่ยต่อแปลง เท่ากับ 3.60+1.08 ซึ่งเป็นค่าอยู่ในระดับปานกลาง

1.2 ลักษณะเชิงปริมาณของพันธุ์ไม้

1.2.1 ความถี่ของการพบและความหนาแน่นพันธุ์ไม้ที่มีค่าความถี่ในการพบสูง (100%) ในป่าบริเวณนี้ คือ ทะโล้ (*Schima wallichii* Korth.) รองลงมาคือ ก่อเดือยและแข่งกาง (*Wendlandia tinctoria* A. DC.) (91.67%) เกิดดำ (*Dalbergia cultrata* Grah. ex Benth.) และส้มปี (*Vaccinium sprengelii* (G. Don) Sleumer) (83.33%) สนสามใบและพะยอม (*Shorea roxburghii* G. Don) (75.0%) ก่อหมากและก่อขาว (*Lithocarpus thomsonii* Rehd.) (66.67%) พันธุ์ไม้ทั้ง 9 ชนิดนี้เป็นพันธุ์ไม้ที่พบได้ทั่วไปในป่า ส่วนพันธุ์ไม้ที่เหลือมีความถี่ของการพบน้อยกว่า 66.67% โดยมีความหนาแน่นในการพบเฉลี่ย 4,423.31 trees ha⁻¹ พันธุ์ไม้ที่มีค่าความหนาแน่นสูง (202.06-418.75 trees ha⁻¹) คือ ก่อหมาก เคาะ (*Tristania burmanica* Griff.) และสนสามใบ รองลงมาคือ เกิดแดง (*Dalbergia dongnaiensis* Pierre) เหมือนดหลวง พะยอม เกิดดำและ ก่อข้าว (*Castanopsis indica* (Roxb.) A. DC.) มีความหนาแน่น 190.63, 157.81, 114.06, 111.88 และ 109.38 trees ha⁻¹ ตามลำดับ พันธุ์ไม้ชนิดอื่นมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 100 trees ha⁻¹

1.2.2 ความเด่นของพันธุ์ไม้

สนสามใบเป็นพันธุ์ไม้ที่มีค่าความเด่นมากที่สุดในป่าบริเวณนี้ คือ 28.31% ของพันธุ์ไม้ทั้งหมด รองลงมา คือ ก่อเดือย (14.37%) ก่อหมาก (12.18%) ก่อแอบ (7.49%) ก่อขาว (6.31%) ทะโล้ (4.28%) อักไก่อ (2.91%) เกิดดำ (2.66%) เคาะ (1.40%) เหมือนดหลวงและมะม่วงหัวแมงวัน

(1.11%) สารสีน้ำตาลและเกิดแดง (1.09%) เป็นต้น พันธุ์ไม้ชนิดอื่นมีค่าความเด่นน้อยกว่า 1% ของพันธุ์ไม้ทั้งหมด

1.2.3 ดัชนีความสำคัญทางนิเวศวิทยา

พันธุ์ไม้ที่มีค่าดัชนีความสำคัญมากที่สุด คือ สนสามใบ (11.78% ของพันธุ์ไม้ทั้งหมด) รองลงมาคือ ก่อหมาก ก่อเตี้ย ก่อแอบ ก่อขาว เคาะ ทะโล้ เกิดดำ เหมือดหลวง เกิดแดง มีค่า 7.95, 6.62, 4.04, 3.58, 2.96, 2.84, 2.65, 2.29, 2.16% ตามลำดับ พันธุ์ไม้ชนิดอื่นมีค่าน้อยกว่า 2%

2. ปริมาณมวลชีวภาพและการกักเก็บน้ำ

การกักเก็บน้ำในป่าบริเวณรอบพื้นที่ปลูกข้าวแบ่งการศึกษาประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่คือ ในมวลชีวภาพพืชป่าไม้และในดิน สำหรับในอินทรียวัตถุบนพื้นป่า (organic layer) นั้นไม่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้

2.1 ปริมาณมวลชีวภาพป่าไม้

ปริมาณมวลชีวภาพในป่าบริเวณนี้มีค่าเฉลี่ย 273.90 ± 89.06 Mg ha⁻¹ แยกเป็นมวลชีวภาพในลำต้นกิ่ง ใบและราก เท่ากับ 177.10 ± 58.80 , 55.67 ± 21.18 , 4.42 ± 0.71 และ 36.71 ± 8.80 Mg ha⁻¹ ตามลำดับ

2.2 ปริมาณน้ำในมวลชีวภาพพืช

จากการเก็บตัวอย่างพืชที่เป็นพันธุ์ไม้เด่นและพบมากในพื้นที่จำนวน 14 ชนิด ในวันที่ 21 มกราคม 2556 (ฤดูหนาว) วันที่ 30 เมษายน 2556 (ฤดูร้อน) และวันที่ 15 กันยายน 2556 มีน้ำในเนื้อเยื่อพืชต่อน้ำหนักสด (% by fresh weight) (Table 1) ในส่วนของลำต้นเฉลี่ยร้อยละ 48.41 \pm 8.29, 44.27 \pm 6.83 และ 49.74 \pm 4.90 ตามลำดับ ในกิ่ง 51.30 \pm 7.15, 54.51 \pm 6.48 และ 51.95 \pm 6.51 ตามลำดับ ในใบ 49.36 \pm 9.90, 55.14 \pm 7.27 และ 55.38 \pm 6.27 ตามลำดับและในราก 43.42 \pm 7.41, 45.70 \pm 6.52 และ 47.29 \pm 4.54 ตามลำดับ สำหรับค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักแห้ง (% by dry weight) (Table 2) ในส่วนของลำต้นเฉลี่ยร้อยละ 99.16 \pm 36.24, 82.03 \pm 23.07 และ 100.77 \pm 19.89 ตามลำดับ ในกิ่ง 110.50 \pm 38.81, 124.44 \pm 35.23 และ 111.95 \pm 30.80 ตามลำดับ ในใบ 105.54 \pm 45.59, 128.79 \pm 39.57 และ 128.46 \pm 33.62 ตามลำดับและในราก 80.03 \pm 27.31, 86.80 \pm 23.84 และ 91.12 \pm 17.76 ตามลำดับ โดยพันธุ์ไม้เด่นแต่ละชนิดมีอัตราการสะสมที่แตกต่างกัน

เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักแห้งกับปริมาณมวลชีวภาพในพื้นที่ได้ (Table 3) ปริมาณการสะสมน้ำในวันที่ 21 มกราคม 2556 วันที่ 30 เมษายน 2556 และวันที่ 15 กันยายน 2556 เท่ากับ 258.15, 276.86 และ 297.29 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ โดยแยกสะสมในส่วนของลำต้นมากที่สุด คือ 162.71 (63.03%), 155.61 (56.21%) และ 191.52 (64.42%) m³ ha⁻¹ ตามลำดับ รองลงมาสะสมในกิ่ง คือ

59.06 (22.88%), 79.14 (28.58%) และ 63.64 (21.41%) m³ ha⁻¹ ราก คือ 32.11 (12.44%), 35.93 (12.98%) และ 36.48 (12.27%) m³ ha⁻¹ และใบ คือ 4.26 (1.65%), 6.18 (2.23%) และ 5.65 (1.90%) m³ ha⁻¹ ตามลำดับ

สนสามใบมีปริมาณน้ำในมวลชีวภาพมากที่สุดในทุกฤดูที่เก็บ คือ 84.98, 116.42 และ 109.07 m³ ha⁻¹ รองลงมาคือ ก่อเตี้ย ก่อแอบ ทะโล้ ก่อหมาก ก่อขาว ฮักไก่ เกิดดำ และทองหลวงป่า ตามลำดับ

2.3 ปริมาณน้ำในดิน

สมบัติทางกายภาพของดินบริเวณนี้เป็นดินเนื้อละเอียดปานกลางแบบดินร่วนเหนียวปนทรายและดินร่วนปนทราย มีความหนาแน่นของดินค่อนข้างต่ำถึงต่ำมากในดินบนและค่อนข้างต่ำถึงปานกลางในดินที่ลึกลงไป

ป่าบริเวณนี้มีค่าเฉลี่ยความจุของการดูดยึดน้ำสูงสุด (Maximum water holding capacity) หรือความจุความชื้นสนาม (Field capacity, FC) ในชั้นดินลึก 2 เมตร ผันแปรระหว่างร้อยละ 30.13 \pm 5.51-48.64 \pm 20.51 (% by volume) โดยมีความสามารถในการจูนน้ำสูงสุด เท่ากับ 7,305.68 m³ ha⁻¹ ขณะที่ความจุของการเก็บกักน้ำในวันที่ 21 มกราคม 2556 (ฤดูหนาว) วันที่ 30 เมษายน 2556 (ฤดูร้อน) และ วันที่ 15 กันยายน 2556 (ฤดูฝน) มีค่าเฉลี่ย 3053.32; 1435.16 และ 3971.92 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ โดยทั้ง 3 ช่วงเวลา พบว่าปริมาณน้ำในดินลึก 1 เมตร มีการกักเก็บน้ำอัตรา 86.08, 72.27 และ 87.98% ของปริมาณการกักเก็บสูงสุด ตามลำดับ

2.4 ปริมาณน้ำในระบบนิเวศ

ป่าชุมชนแห่งนี้สามารถเก็บกักน้ำในระบบนิเวศ (ในมวลชีวภาพและในดิน) ผันแปรแตกต่างกันตามเวลาและฤดูกาล โดย ฤดูหนาว ฤดูร้อน และฤดูฝน สามารถกักเก็บน้ำในดินลึก 1 เมตรได้ 1854.93, 998.35 และ 2473.58 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ แยกเป็นประมาณน้ำในมวลชีวภาพและดินในฤดูหนาว เท่ากับ 258.15 (13.92% ของการกักเก็บน้ำสูงสุด) และ 1596.78 (86.08%) m³ ha⁻¹ ฤดูร้อน เท่ากับ 276.86 (27.73%) และ 721.49 (72.27%) m³ ha⁻¹ และฤดูฝน เท่ากับ 297.29 (12.02%) และ 2176.29 (87.98%) m³ ha⁻¹ ตามลำดับ

ในดินลึก 2 เมตร สามารถกักเก็บน้ำได้ในฤดูหนาว ฤดูร้อนและฤดูฝน เท่ากับ 3311.47, 1712.02 และ 4269.21 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ แยกเป็นประมาณน้ำในมวลชีวภาพและดินในฤดูหนาว เท่ากับ 258.15 (7.80% ของการกักเก็บน้ำสูงสุด) และ 3053.32 (92.20%) m³ ha⁻¹ ฤดูร้อน เท่ากับ 276.86 (16.17%) และ 1435.16 (83.83%) m³ ha⁻¹ และฤดูฝน เท่ากับ 297.29 (6.96%) และ 3971.92 (93.04%) m³ ha⁻¹ ตามลำดับ (Table 4)

Table 1 Water content by dry weight (%) in different seasons and organs

No.	Plant name	Water content by fresh weight (%) in different organs and season											
		21 January 2013				30 April 2013				15 September 2013			
		Stem	Branch	Leaf	Root	Stem	Branch	Leaf	Root	Stem	Branch	Leaf	Root
1	<i>Anneslea fragrans</i>	54.97	69.46	64.98	50.15	44.41	59.36	60.40	52.36	50.44	56.08	61.73	45.74
2	<i>Aporosa villosa</i>	46.29	53.08	67.56	42.50	48.32	64.59	66.91	46.34	44.36	61.69	66.97	43.38
3	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	41.42	55.41	42.17	38.88	40.83	48.74	59.09	46.18	53.47	51.35	52.82	47.03
4	<i>Castanopsis indica</i>	45.39	46.86	37.05	38.33	50.25	51.02	49.98	42.92	50.45	41.95	56.70	45.17
5	<i>Castanopsis trobaloides</i>	41.42	43.71	48.00	40.36	38.58	49.03	48.98	35.50	41.44	46.31	51.01	44.42
6	<i>Dalbergia cultrata</i>	64.26	54.89	54.63	41.44	44.36	45.99	65.42	53.25	57.51	43.33	56.59	46.36
7	<i>Lithocarpus sootepensis</i>	46.66	48.59	46.71	36.59	36.92	55.59	46.78	39.80	49.02	51.47	52.07	48.96
8	<i>Pinus kesiya</i>	47.72	52.40	54.73	50.82	53.09	67.15	64.45	57.52	55.99	55.85	63.24	55.76
9	<i>Quercus brandisiana</i>	41.09	43.21	36.28	37.50	32.21	53.55	54.88	39.34	46.68	48.48	43.80	43.36
10	<i>Quercus helferiana</i>	51.64	41.23	35.24	37.50	45.08	52.85	43.36	44.01	46.47	49.49	48.56	46.39
11	<i>Schima wallichii</i>	57.10	57.09	49.47	57.31	56.36	56.34	52.32	54.29	52.79	63.66	58.44	54.70
12	<i>Styrax benzoides</i>	42.70	49.03	55.95	41.54	37.92	45.09	49.58	40.18	47.48	48.85	49.25	45.59
13	<i>Tristaniopsis burmanica</i>	36.01	49.28	52.05	37.30	41.17	55.46	55.02	41.78	44.48	58.84	57.87	40.97
14	<i>Wendlandia tinctoria</i>	61.01	54.00	46.24	57.61	50.22	58.40	54.75	46.34	55.82	49.93	56.32	54.18
	Mean	48.41	51.30	49.36	43.42	44.27	54.51	55.14	45.70	49.74	51.95	55.38	47.29
	SD	8.29	7.15	9.90	7.41	6.83	6.48	7.27	6.52	4.90	6.51	6.27	4.54

Table 2 Water content by dry weight (%) in different seasons and organs

No.	Plant name	Water content by dry weight (%) in different organs and season											
		21 January 2013				30 April 2013				15 September 2013			
		Stem	Branch	Leaf	Root	Stem	Branch	Leaf	Root	Stem	Branch	Leaf	Root
1	<i>Anneslea fragrans</i>	122.09	227.44	185.52	100.60	79.87	146.07	152.54	109.91	101.78	127.68	161.33	84.30
2	<i>Aporosa villosa</i>	86.19	113.15	208.24	73.91	93.50	182.37	202.21	86.35	79.74	161.06	202.78	76.60
3	<i>Castanopsis acuminatissima</i>	70.71	124.25	72.92	63.61	69.00	95.07	144.41	85.79	114.90	105.54	111.95	88.79
4	<i>Castanopsis indica</i>	83.13	88.18	58.87	62.16	101.02	104.18	99.91	75.19	101.81	72.27	130.92	82.39
5	<i>Castanopsis trobaloides</i>	70.72	77.66	92.31	67.67	62.81	96.19	96.00	55.04	70.76	86.24	104.14	79.92
6	<i>Dalbergia cultrata</i>	179.76	121.66	120.41	70.77	79.73	85.16	189.16	113.92	135.35	76.45	130.35	86.43
7	<i>Lithocarpus sootepensis</i>	87.48	94.52	87.64	57.69	58.53	125.18	87.91	66.11	96.17	106.07	108.65	95.92
8	<i>Pinus kesiya</i>	91.28	110.09	120.89	103.32	113.18	204.42	181.31	135.42	127.21	126.49	172.01	126.04
9	<i>Quercus brandisiana</i>	69.74	76.09	56.93	60.00	47.51	115.29	121.65	64.85	87.54	94.11	77.92	76.55
10	<i>Quercus helferiana</i>	106.77	70.15	54.42	60.00	82.08	112.08	76.56	78.60	86.81	98.00	94.38	86.54
11	<i>Schima wallichii</i>	133.10	133.06	97.89	134.25	129.17	129.05	109.75	118.79	111.82	175.21	140.61	120.77
12	<i>Styrax benzoides</i>	74.51	96.19	127.01	71.05	61.09	82.13	98.35	67.15	90.41	95.51	97.04	83.80
13	<i>Tristaniopsis burmanica</i>	56.26	97.15	108.54	59.49	69.99	124.53	122.34	71.75	80.11	142.93	137.35	69.42
14	<i>Wendlandia tinctoria</i>	156.51	117.39	86.01	135.93	100.88	140.41	121.01	86.37	126.32	99.74	128.94	118.24
	Mean	99.16	110.50	105.54	80.03	82.03	124.44	128.79	86.80	100.77	111.95	128.46	91.12
	SD	36.24	38.81	45.59	27.31	23.07	35.23	39.57	23.84	19.89	30.80	33.62	17.76

Table 3 Amounts of water storage in January, April and September 2013 in plant biomass

Dominant trees	Water storage in plant biomass (m ³ ha ⁻¹)														
	Stem			Branch			Leaf			Root			Total		
	Jan.	Apr.	Sep.	Jan.	Apr.	Sep.	Jan.	Apr.	Sep.	Jan.	Apr.	Sep.	Jan.	Apr.	Sep.
1. <i>P. kesiya</i>	50.77	62.95	70.76	19.82	36.80	22.77	1.40	2.11	1.99	12.99	14.55	13.54	84.98	116.42	109.07
2. <i>C. acuminatissima</i>	18.67	18.21	30.33	10.36	7.93	8.80	0.44	0.87	0.68	3.40	4.58	4.74	32.86	31.60	44.55
3. <i>Q. helferiana</i>	15.54	11.94	12.63	3.32	5.30	4.63	0.17	0.24	0.29	1.69	2.22	2.44	20.72	19.70	20.00
4. <i>S. wallichii</i>	12.80	12.43	10.76	4.25	4.12	5.60	0.18	0.20	0.26	2.38	2.11	2.14	19.61	18.85	18.75
5. <i>Q. brandisiana</i>	12.02	8.19	15.09	3.79	5.74	4.69	0.33	0.71	0.46	2.50	2.70	3.19	18.64	17.34	23.42
6. <i>C. tribuloides</i>	7.84	6.96	7.84	2.69	3.33	2.98	0.25	0.26	0.28	1.56	1.27	1.84	12.34	11.82	12.95
7. <i>R. succedanea</i>	5.94	4.92	6.04	2.24	2.52	2.27	0.11	0.13	0.13	0.85	0.92	0.96	9.13	8.48	9.40
8. <i>D. cultrata</i>	6.95	3.08	5.23	1.38	0.96	0.86	0.16	0.25	0.17	0.65	1.05	0.79	9.13	5.34	7.06
9. <i>E. suvumbrans</i>	3.05	2.53	3.10	1.25	1.40	1.26	0.04	0.05	0.05	0.37	0.40	0.42	4.70	4.37	4.83
10. <i>B. lanzan</i>	2.33	1.93	2.37	0.87	0.98	0.88	0.05	0.06	0.06	0.34	0.37	0.39	3.60	3.34	3.70
Sub Total (10 species)	135.92	133.14	164.16	49.95	69.08	54.74	3.12	4.88	4.36	26.73	30.17	30.47	215.72	237.27	253.73
Remaining 115 species	26.80	22.47	27.37	9.11	10.06	8.90	1.14	1.31	1.29	5.38	5.76	6.01	42.43	39.59	43.56
Total	162.71	155.61	191.52	59.06	79.14	63.64	4.26	6.18	5.65	32.11	35.93	36.48	258.15	276.86	297.29
% of each organ	63.03	56.21	64.42	22.88	28.58	21.41	1.65	2.23	1.90	12.44	12.98	12.27			

Table 4 Field capacity, moisture contents, maximum capacity and water storage along 2 m soil depth

Soil depth (cm)	Field capacity (% by volume)	Maximum water holding capacity (m ³ ha ⁻¹)	Water storage (m ³ ha ⁻¹)					
			Jan.	%	Apr.	%	Sep.	%
0-5	37.32±8.65	186.58±43.26	82.04±3.41	43.97	66.45±6.12	35.61	135.18±5.08	72.45
5-10	48.64±20.51	243.21±102.53	87.20±3.17	35.85	64.57±13.24	26.55	126.21±4.81	51.89
10-20	47.79±8.30	477.93±83.03	179.20±4.71	37.50	110.37±17.02	23.09	248.11±4.54	51.91
20-30	46.31±20.63	463.12±206.34	169.08±4.56	36.51	115.77±21.76	25.00	228.13±6.19	49.26
30-40	30.13±5.51	301.28±55.09	163.57±7.62	54.29	76.97±22.69	25.55	220.80±3.73	73.29
40-60	36.48±8.87	729.68±177.50	322.57±11.12	44.21	96.63±24.01	13.24	426.04±9.89	58.39
60-80	32.93±10.11	658.68±202.21	297.83±9.01	45.22	91.18±21.17	13.84	414.73±28.24	62.96
80-100	35.33±7.63	706.65±152.60	295.28±4.29	41.79	99.56±11.52	14.09	377.09±7.95	53.36
100-120	36.37±6.57	727.37±131.46	318.40±8.16	43.77	89.98±12.27	12.37	370.60±5.40	50.95
120-140	34.48±11.55	689.66±231.06	304.83±8.71	44.20	104.58±10.59	15.16	373.09±11.51	54.10
140-160	35.00±10.01	699.99±200.11	297.13±8.29	42.45	153.14±21.18	21.88	363.16±14.94	51.88
160-180	37.14±8.26	742.73±156.20	265.83±2.79	35.79	166.75±37.96	22.45	353.64±35.45	47.61
180-200	33.94±6.20	678.79±123.90	270.36±10.11	39.83	199.22±52.59	29.35	335.14±22.18	49.37
Total (1m)		3,767.13	1,596.78	42.39	721.49	19.15	2,176.29	57.77
Total (2m)		7,305.68	3,053.32	41.79	1,435.16	47.00	3,971.92	54.37

วิจารณ์และสรุปผล

ป่าชุมชนแห่งนี้บริเวณพื้นที่ไหล่เขาและสันเขาเป็นป่าสนผสมป่าดิบเขาและตามหุบเขาเป็นป่าดิบเขา คนในชุมชนใช้ประโยชน์จากป่าทั้งที่เป็นเนื้อไม้ (Direct benefits) และไม่ใช่เนื้อไม้ (Indirect benefits) เช่น ไม้สำหรับก่อสร้างบ้านเรือน ใช้สำหรับอุปกรณ์การเกษตร ไม้สำหรับการหุงต้มอาหาร รวมทั้งเป็นสถานที่นันทนาการต่างๆ

ค่าดัชนีความหลากหลายของชนิดพรรณไม้ในป่าแห่งนี้มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการศึกษาที่ใช้สมการเดียวกันในป่า

ชุมชนบ้านหนองเต่า ซึ่งมีพื้นที่ใกล้เคียงกับป่าบริเวณนี้ไปทางทิศใต้ประมาณ 8 กิโลเมตร ที่แบ่งพื้นที่ออกเป็นป่าอนุรักษ์และใช้สอยพบว่ามีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ไม้เท่ากับ 6.19 และ 4.16 ตามลำดับ⁹⁻¹⁰

ปริมาณการกักเก็บน้ำในมวลชีวภาพพืชป่าที่เป็นไม้ยืนต้นนั้น ถูกลดลงเพียงเล็กน้อยต่อการกักเก็บน้ำ โดยพืชชนิดที่มีมวลชีวภาพและพื้นที่ของผิวมาก (ผิวลำต้น กิ่งและใบ) ก็จะมีความสามารถในการกักเก็บน้ำไว้ได้มาก แต่มีความผันแปรไปตามชนิดและอายุไม้ เช่น ไม้หนุม ไม้แก่ ไม้เนื้ออ่อน

และไม้เนื้อแข็ง ส่วนปริมาณน้ำที่เก็บเก็บในดินนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ชนิดเนื้อดิน (Texture) ความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk density) ความชื้นในดิน (Soil moisture) และอนุภาคดิน (Soil particle) เป็นต้น โดยดินเนื้อหยาบจะประกอบด้วยช่องว่างขนาดใหญ่ เนื่องจากอนุภาคดินมีขนาดใหญ่แต่จะมีสัดส่วนของช่องขนาดเล็กน้อยดินเนื้อหยาบจึงระบายน้ำและอากาศดีแต่อุ้มน้ำได้น้อย ตรงกันข้ามกับดินเนื้อละเอียดจะมีช่องขนาดใหญ่เป็นสัดส่วนที่น้อย เนื่องจากอนุภาคดินมีขนาดเล็ก แต่จะมีสัดส่วนของช่องขนาดเล็กอยู่มาก ดินเนื้อละเอียดจึงระบายน้ำและอากาศไม่ดีแต่อุ้มน้ำได้มาก หารับดินเนื้อปานกลางจะมีสัดส่วนของช่องขนาดใหญ่ต่ำกว่าดินเนื้อหยาบแต่สูงกว่าดินเนื้อละเอียดจึงระบายน้ำและอากาศได้ปานกลาง นอกจากนี้ดินเนื้อปานกลางมีช่องขนาดเล็ก (micro pores) ค่อนข้างมากและมีช่องเล็กที่เหลือ (residual pores) ค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับดินเนื้อละเอียด ดังนั้นช่องบรรจุน้ำที่เป็นประโยชน์ (storage pores) ของดินเนื้อปานกลางจึงมากกว่าดินเนื้อละเอียด รวมทั้งมากกว่าดินเนื้อหยาบด้วย¹¹ ส่วนฤดูกาลนั้นเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำฝนและความร้อนของแต่ละปี ซึ่งหากปีใดมีปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่มากและระยะเวลาสั้น ก็ทำให้ดินสามารถกักเก็บน้ำจากการอุ้มน้ำในดินได้มากและหากปีใดมีอุณหภูมิร้อนมากก็ส่งผลต่อการคายระเหยของน้ำ ทำให้สูญเสียน้ำจากดินได้เร็ว

การศึกษาในลักษณะนี้ในพื้นที่อื่นๆ มีการรายงานคือ Suwanwong¹² ศึกษาศักยภาพการสะสมน้ำในระบบนิเวศในวนเกษตรป่าเมี่ยง ซึ่งเป็นป่าดิบเขาที่ชุ่มชื้น พื้นที่ 1 และ 2

อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีการสะสมน้ำในระบบนิเวศเท่ากับ 9569.23 และ 9416.73 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ

สำหรับในระบบนิเวศป่าปลูกนั้น Sumanochitraporn¹³ ศึกษาการสะสมน้ำในระบบนิเวศป่าไม้สักที่มีอายุ 22 ปี บริเวณโครงการพัฒนาตอยตุง อันเนื่องมาจากพระราชดำริของสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี จังหวัดเชียงราย พบว่าสามารถสะสมได้ถึง 7383.06 m³ ha⁻¹ โดยแยกสะสมในมวลชีวภาพและในดินเท่ากับ 298.25 และ 7084.81 m³ ha⁻¹ ตามลำดับ ซึ่งพบว่าพื้นที่ทั้ง 2 แห่งมีปริมาณการกักเก็บน้ำมากกว่าในพื้นที่ศึกษาถึง 2 เท่า แต่ปริมาณการกักเก็บน้ำในมวลชีวภาพมีแนวโน้มเดียวกัน

สำหรับปริมาณน้ำที่กักเก็บไว้ในมวลชีวภาพพืชและในดินถือได้ว่าเป็นธนาคารน้ำในพื้นที่ ซึ่งเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมปัจจัยอื่นๆ เช่น ความชื้นในบรรยากาศและในดิน ดังนั้นเกษตรกรผู้ปลูกข้าวที่ใช้ประโยชน์ทั้งทางตรงและทางอ้อมในพื้นที่ ควรจะช่วยกันอนุรักษ์ป่าไม้บริเวณนี้ โดยเฉพาะพื้นที่ป่าที่เป็นรอยต่อระหว่างพื้นที่ปลูกข้าวกับป่าชุมชนบริเวณเชิงเขาไม่ให้มีความเสื่อมโทรมลงและควรมีการปลูกต้นไม้ทดแทนหรือทำการเกษตรแบบระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ เช่น การทำคูรับน้ำตามขอบเขา คันดิน ฝายชะลอน้ำ สำหรับการเกษตรในพื้นที่ควรจัดการระบบการปลูกพืชโดยวิธีพืช เช่น การปลูกพืชคลุมดิน การปลูกพืชหมุนเวียนและควรกักเก็บน้ำไว้ใช้น้ำหญ้าแฝกมาใช้ประโยชน์ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ เพื่อให้คงอยู่และยั่งยืนต่อไป

Table 5 Capacities of water storage in the forest ecosystems

Seasons	Water storage in ecosystem (m ³ ha ⁻¹)				
	Plant biomass	%	Soil	%	Ecosystem
Cold	258.15	13.92	1,596.78*	86.08	1,854.93
		7.80	3,053.32**	92.20	3,311.47
Hot	276.86	27.73	721.49*	72.27	998.35
		16.17	1,435.16**	83.83	1,712.02
Rainy	297.29	12.02	2,176.29*	87.98	2,473.58
		6.96	3,971.92**	93.04	4,269.21
Average	277.43		1,498.19*		1,775.62
				2,820.13**	

Remark: * = 1 meter soil depth, ** = 2 meter soil depth

เอกสารอ้างอิง

1. Kimmins, JP. Forest Ecology: A Foundation for Sustainable Management. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
2. Hunter, ML. Fundamentals of Conservation Biology. Blackwell Science, Inc., 2002.
3. Chang, M. Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests. Taylor and Francis Group, 2006.
4. Krebs, CJ. The Ecological World View, CSIRO publishing, Australia, 2008.
5. Tsutsumi, T., Yoda, K., Dhanmanonda P. and Pra-chaiyo B. Chapter 3. Forest: Felling, burning and regeneration. In Shifting Cultivation: An experiment at Nam Phrom, Northeast Thailand and its implications for upland farming in the monsoon tropics. K. Kuma & C. Pairintra (eds.) Kyoto University, Japan, 1983.
6. Israelson, OW., West, FL. Water holding capacity of irrigated soils. Utah State Agricultural Experiment Station Bull. 183: 1-24; 1922.
7. Khamyong, S., Seeloy-ounkaew, T., Anongrak, N. & Sri-ngernyuang, K. Water storages in plants and soils in two community forests of Karen tribe, Northern Thailand. Tropics 23: 111-125; 2014.
8. Veihmeyer, FJ., Hendrickson, AH. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. Soil Science. 32 (3): 181-193; 1931.
9. รุประวิทย์ สีสอยอ่อนแก้ว สุนทร คำยอง และ นิวัติ อนงค์รักษ์. ศักยภาพการสะสมฟอสฟอรัสในระบบนิเวศป่าชุมชนบ้านหนองเต่า อำเภอแม่วาง จังหวัดเชียงใหม่. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2556; 36 (4) 493-502
10. Seeloy-ounkaew, T. Khamyong, S., and Anongrak, N. Differences in Plant Diversity, Forest Conditions and Carbon Stocks in Highland Community Forests of Karen Tribe, Northern Thailand. In the Proceeding of The 1st ASEAN Plus Three Graduate Research Congress (AGRC 2012). 1-2 March 2012. The Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand; 2012.
11. คณาจารย์ภาควิชาปฐพีศาสตร์. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2544.
12. Suwanwong, W., Khamyong, S., and Anongrak, N. Potential of Water Storage in a Highland Tea-based Agroforest Ecosystem in Mae Taeng District, Chiang Mai Province. In the Proceeding of International Graduate Conference (IGRC 2013). 20 December 2013. The Empress convention, the Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand; 2013.
13. Sumanochitraporn, S. Khamyong, S. and Anongrak, N. Roles of a Teak Plantation on Water Storage under the Doi Tung Reforestation Royal Project, Chiang Rai Province, Northern Thailand. In the Proceeding of International Graduate Conference (IGRC 2013). 20 December 2013. The Empress convention, the Empress Hotel, Chiang Mai, Thailand; 2013.

การเพิ่มประสิทธิภาพซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา

The Improvement of Support Vector Regression to Forecast Time Series

ธีร์ธวัช แก้ววิจิตร¹, นิตยา เกิดประสพ², กิตติศักดิ์ เกิดประสพ²

Teetawat Kaewwijit, Nittaya Kerdprasop, Kittisak Kerdprasop

Received: 7 November 2016 ; Accepted: 27 March 2017

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการหาเทคนิคใหม่ในการพยากรณ์ เพื่อให้การพยากรณ์มีความแม่นยำและความเร็วเพิ่มขึ้น โดยการคิดค้นเทคนิคใหม่ หรือการนำหลาย ๆ เทคนิคมาผสมกัน งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา โดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำให้กับตัวแบบ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลอนุกรมเวลาทั้งหมด 5 ชุดข้อมูลประกอบไปด้วยชุดข้อมูลอุณหภูมิรายวันของแม่น้ำฟิชเชอร์ ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำนมของวัวในแต่ละเดือน ข้อมูลค่าความดันที่ระดับน้ำทะเลที่เมืองดาร์วิน ข้อมูลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภูเขาไฟเมานาโลอา และข้อมูลค่าดัชนีที่คำนวณจากค่าความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุดในตาฮีตีและดาร์วิน โดยการเปรียบเทียบความแม่นยำของเทคนิคใหม่จะทำการเปรียบเทียบกับเทคนิค 2 แบบคือเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันดั้งเดิม และเทคนิค ARIMA และวัดค่าโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบพบว่าเทคนิคใหม่สามารถเพิ่มความแม่นยำให้กับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันได้

คำสำคัญ : ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน ข้อมูลอนุกรมเวลา ค่าความคลาดเคลื่อน

Abstract

Currently, there are efforts to find new techniques in forecasting in order to improve precision and speed. The improvement is achieved by using new technique or a combination of techniques. This research aims to optimize support vector regression in forecasting time series by using the error to increase the accuracy of the model. The five datasets used in time series analysis are the daily temperature of the Fisher River, monthly milk production, the sea level pressure data at Darwin, carbon dioxide concentration at Mauna Loa mountain, and the atmospheric pressure difference between Tahiti and Darwin. The precision of the proposed model is compared against the traditional support vector regression and the ARIMA models using the root mean squared error and the mean absolute error metrics. From the experimental results, the proposed method can improve precision of the support vector regression technique.

Keywords : Support vector regression, Time Series, Error

บทนำ

การทำนาย ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 หมายถึง “การบอกเหตุการณ์หรือความเป็นไปที่จะเกิดในเบื้องหน้า” ซึ่งการทำนายนั้นได้มีมาตั้งแต่สมัยอดีต โดยการทำนายจะถูกใช้โดยผู้ทำพิธี ซึ่งอาจจะเป็หมอดู พระ นักบวช

คนทรง เป็นต้น โดยสิ่งที่ทำนายนั้นมักจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับชีวิต ความรัก ความเป็นอยู่ ผลลัพธ์การพนันต่าง ๆ เป็นต้น โดยผลลัพธ์ในการทำนายนั้นอาจจะถูกต้องหรือไม่ถูกต้องก็ได้ เมื่อเวลาผ่านไปการทำนายได้มีการพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการต่าง ๆ เข้ามาช่วยเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายเรียก

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ²รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, อ.เมือง, จ.นครราชสีมา

¹ Master degree student, ²Associate Professor, Computer Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima

* Corresponding author : starsskillers@gmail.com

ว่าการพยากรณ์ โดยตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 หมายถึง “ทำนายหรือคาดการณ์โดยอาศัยหลักวิชา” ซึ่งหลักวิชาที่ว่านี้คือเทคนิคต่าง ๆ ที่มาช่วยในการพยากรณ์ โดยทางสถิติและคอมพิวเตอร์คือการนำข้อมูลต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับสิ่งที่ต้องการพยากรณ์มาช่วยในการหาค่าพยากรณ์ ซึ่งค่าที่นิยมใช้ในการพยากรณ์จะเป็นค่าข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ย้อนหลัง โดยลักษณะของข้อมูลที่จะอยู่ในรูปแบบของอนุกรมเวลา (Time series) และมีการใช้เทคนิคต่าง ๆ ในการพยากรณ์ โดยเทคนิคที่นิยมใช้คือ เทคนิคสมการเชิงเส้นทั่วไป (Generalized Linear) เทคนิค ARIMA เทคนิคการถดถอย (Regression) เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน (Support Vector Regression) เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ซึ่งเทคนิคที่ได้กล่าวมานั้นเป็นเทคนิคที่ให้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำสูง แต่ก็ยังมีความต้องการที่จะให้การพยากรณ์ที่ได้มีความแม่นยำที่สูงขึ้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีนักวิจัยพัฒนาเทคนิคใหม่ ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีเดิม โดยมีการนำเทคนิคหลาย ๆ วิธีมาใช้ร่วมกัน เช่นการนำเทคนิควิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ในตัวแบบ (Model) เพื่อให้ได้ตัวแบบที่ดีที่สุด เป็นต้น เทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจ และนำมาใช้ในการเพิ่มความแม่นยำคือการนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากตัวแบบมาพิจารณาในการสร้างตัวแบบใหม่ โดยได้มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิค ARIMA ในการสร้างตัวแบบ และนำเทคนิคเครือข่ายประสาทเทียมมาสร้างตัวแบบจากค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากเทคนิค ARIMA จากนั้นนำตัวแบบทั้ง 2 มาสร้างเป็นตัวแบบใหม่ ซึ่งแนวคิดของงานวิจัยนี้คือตัวแบบนั้นประกอบด้วยส่วนที่เป็นเชิงเส้นและส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยใช้เทคนิค ARIMA ในการพยากรณ์ส่วนที่เป็นเชิงเส้น และเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้ในการพยากรณ์ส่วนที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยตั้งชื่อเทคนิคว่าไฮบริด¹ (Hybrid) ซึ่งเทคนิคนี้ได้มีการพัฒนาต่อโดยการเปลี่ยนแปลงเทคนิคที่ใช้ เช่น Chen และ Wang² เสนอเทคนิคที่ดัดแปลงมาจากเทคนิคไฮบริด ซึ่งเป็นกรรวมเทคนิคของ ARIMA และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน โดยกำหนดให้ตัวแบบแรกใช้เทคนิค ARIMA จากนั้นนำค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายมาใช้ในตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการพยากรณ์ขั้นสุดท้าย นอกจากนี้ยังได้มีการใช้เทคนิควิธีเชิงพันธุกรรมช่วยในการค้นหาค่าพารามิเตอร์ของซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน Wang และคณะ³ เสนอเทคนิคที่ดัดแปลงมาจากเทคนิคไฮบริดของ Zhang¹ โดยการใช้เทคนิค ARIMA ขั้นตอนเริ่มต้นจากการพยากรณ์โดยใช้เทคนิค ARIMA ก่อน แล้วจึงนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาทำการสร้างตัวแบบ ARIMA อีกครั้ง

จากนั้นนำตัวแบบทั้งสองตัวไปใช้ในการพยากรณ์ Khandelwal และคณะ⁴ ได้มีการนำวิธีไฮบริดมาใช้ในการพยากรณ์ร่วมกับวิธีการแปลงข้อมูล Discrete Wavelet Transform (DWT) โดยการใช้ DWT มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกข้อมูลออกเป็นข้อมูลความถี่สูงและความถี่ต่ำ จากนั้นนำวิธีไฮบริดมาใช้ในการพยากรณ์ Oliveira และ Ludermir⁵ ได้เสนอวิธีการเพิ่มเติมโดยการนำขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) มาช่วยในการหาลดค่าที่ดีที่สุด และนำเทคนิคไฮบริดมาใช้ในการพยากรณ์ จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าปัจจุบันได้มีความพยายามในการหาเทคนิคใหม่ ๆ เพื่อนำมาใช้ในการเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคใหม่ โดยนำเทคนิคไฮบริดมาดัดแปลงใหม่ โดยมีสมมติฐานที่ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้นั้นเป็นค่าความสัมพันธ์ที่ขาดหายไปในการพยากรณ์ครั้งแรก ดังนั้นเพื่อที่จะทำให้การพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้นจึงได้ทำการนำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาทำการพยากรณ์อีกครั้ง เพื่อเติมความสัมพันธ์ที่ขาดหายไป ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการทดลองคือเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน และได้มีการเปรียบเทียบความแม่นยำกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันดั้งเดิม และเทคนิค ARIMA โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำ คือ ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error : RMSE) และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Error : MAE)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มความแม่นยำให้กับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันดั้งเดิม โดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการสร้างตัวแบบ
2. เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการพยากรณ์ของเทคนิคที่นำเสนอกับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันดั้งเดิม และเทคนิค ARIMA ด้วยค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อเพิ่มค่าความแม่นยำในการพยากรณ์ค่าให้กับตัวแบบโดยใช้ค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการสร้างตัวแบบ ซึ่งตัวแบบที่ใช้ในการพยากรณ์สร้างโดยวิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน ซึ่งมีวิธีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน

ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน⁶ (Support Vector Regression : SVR) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้พยากรณ์ค่าที่ได้รับ

ความนิยมอย่างมาก และมีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากค่าที่พยากรณ์นั้นมีความแม่นยำสูง เป็นการดัดแปลงมาจากวิธีซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีนโดยมีสมการดังนี้

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b \tag{1}$$

โดยที่ $w \in X, b \in \mathbb{R}, \langle, \rangle$ คือการกระทำดอทโปรดักต์ระหว่าง w และ x โดย w คือค่าน้ำหนักของซัพพอร์ตเวกเตอร์ และ b คือค่าคงที่ ข้อมูลที่ใช้ในการพยากรณ์จะอยู่ในรูปแบบของ $\{(x_1, y_1), \dots, (x_l, y_l)\} \subset X \times \mathbb{R}$ โดยที่ X คือขนาดชนิดของข้อมูลนำเข้าและ \mathbb{R} คือจำนวนจริง โดยเป้าหมายที่ต้องการคือหาค่าฟังก์ชัน $f(x)$ โดยสามารถหาค่าได้โดยการใช้สมการของลากรานจ์ (Lagrange function) โดยจะมีการเพิ่มตัวแปรในสมการซึ่งเรียกว่า ตัวคูณลากรานจ์ (Lagrange multipliers) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีสมการดังสมการที่ 2

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) \langle x_i, x \rangle + b \tag{2}$$

โดยที่ α_i และ α_i^* คือตัวคูณลากรานจ์แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทำการพยากรณ์ข้อมูลได้ใน 2 มิติจะมีการนำเคอร์เนลเข้ามาช่วย โดยมีสมการดังสมการที่ 3

$$f(x) = \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \alpha_i^*) k(x_i, x) + b \tag{3}$$

โดยที่ $k(x_i, x)$ คือค่าเคอร์เนล

2. ARIMA

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) เป็นเทคนิคการพยากรณ์ที่เสนอโดยบ็อกซ์และเจนกินส์⁷ ในปี 1976 โดยเทคนิคแรกที่ถูกเสนอเรียกว่า ARMA โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ Autoregressive (AR) และ Moving average (MA) โดยข้อมูลที่จะนำมาสร้างตัวแบบ ARMA จำเป็นต้องมีลักษณะนิ่ง (Stationary) ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาเทคนิค ARIMA ขึ้นมาโดยพัฒนาให้เทคนิค ARMA สามารถทำงานได้กับข้อมูลที่มีลักษณะไม่นิ่งได้ ซึ่งเทคนิค ARIMA เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมสูงเนื่องจากให้ผลการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำ

2.1 Autoregressive (AR) เป็นรูปแบบที่กำหนดว่าค่าพยากรณ์ที่เวลาใด ๆ ขึ้นอยู่กับค่าสังเกตก่อนหน้า โดยกำหนดว่าค่าจริง Y_t ที่เวลา t ใด ๆ จะขึ้นกับค่าจริงที่เวลา

$t-1, t-2, t-3, \dots, t-p$ โดยที่ค่า p คือค่าคาบเวลาที่ล่าช้า ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ 4

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \tag{4}$$

เมื่อ Y_t คือ ค่าจริงที่เวลา t ใด ๆ
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ คือ พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก
 ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา t

2.2 Moving average (MA)

เป็นรูปแบบที่กำหนดว่าค่าพยากรณ์ที่เวลาใด ๆ ขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนก่อนหน้า โดยกำหนดว่าค่าสังเกต Y_t ที่เวลา t ใด ๆ จะขึ้นกับค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา $t-1, t-2, t-3, \dots, t-q$ โดยที่ค่า q คือค่าคาบเวลาที่ล่าช้า ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังสมการที่ 5

$$Y_t = \theta_0 + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{5}$$

เมื่อ Y_t คือ ค่าจริงที่เวลา t ใด ๆ
 θ_0 คือ ค่าคงที่
 $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ คือ พารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนัก
 ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา t

โดยเมื่อทำการรวม AR(p) และ MA(q) จะได้เทคนิคที่เรียกว่า ARMA(p,q) โดยมีสมการดังสมการที่ 6

$$Y_t = \theta_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \theta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \tag{6}$$

2.3 ตัวแบบ ARIMA

ตัวแบบ ARIMA หรือ ARIMA(p,d,q) เป็นเทคนิคที่พัฒนามาจาก ARMA โดยทำให้สามารถใช้กับข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีลักษณะนิ่งได้โดยทำการแปลงข้อมูลอนุกรมเวลาเดิม Y_t ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่นิ่งให้เป็นอนุกรมเวลาค่าใหม่ Z_t ซึ่งเป็นข้อมูลที่นิ่ง โดยใช้การหาค่าผลต่างระหว่างค่าสังเกตในอนุกรมเวลาเดิม ดังสมการที่ 7

$$Z_t = \nabla^d Y_t \tag{7}$$

ถ้าให้ $d = 1$ จะได้ $Z_t = \nabla^1 Y_t = Y_t - Y_{t-1}$

ถ้าให้ $d = 2$ จะได้

$$Z_t = \nabla^2 Y_t = \nabla^1 Y_t - \nabla^1 Y_{t-1} = (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) = Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2}$$

3. เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดความแม่นยำของตัวแบบ

3.1 ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

สองเฉลี่ย

ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Squared Error : RMSE) เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนแบบมาตรฐาน ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีสมการดังสมการที่ 8 ในการวัดค่าความแม่นยำจากวิธีการนี้ยิ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าตัวแบบที่ได้มีความแม่นยำในการทำนายสูง

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2} \tag{8}$$

โดยที่ RMSE คือค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

Y_t คือ ค่าจริงที่เวลา t ใด ๆ

\hat{Y}_t คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ที่เวลา t ใด ๆ

3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (Mean Absolute Deviation : MAD) หรือ (Mean Absolute Error : MAE) เป็นวิธีการวัดค่าความคลาดเคลื่อนที่นิยมอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งวิธีนี้จะช่วยบอกถึงขนาดของความคลาดเคลื่อนรวมได้ โดยมีสมการดังสมการที่ 9 ในการวัดค่าความแม่นยำจากวิธีการนี้ยิ่งค่าที่ได้มีค่าน้อยแสดงว่าตัวแบบที่ได้จะมีความแม่นยำมาก

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t| \tag{9}$$

โดยที่ MAE คือค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย

n คือ จำนวนข้อมูลที่ใช้

Y_t คือ ค่าจริงที่เวลา t ใด ๆ

\hat{Y}_t คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ที่เวลา t ใด ๆ

4. กรอบแนวคิดของงานวิจัย

แนวคิดของงานวิจัยนี้เกิดจากความต้องการที่จะเพิ่มความแม่นยำให้กับพยากรณ์ โดยการใช้เทคนิค

ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน และเพิ่มความแม่นยำโดยการหาค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งกรอบแนวคิดในการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำชุดข้อมูลอนุกรมเวลาไปใช้ในการสร้างตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน
2. นำตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันที่ได้มาหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับชุดข้อมูลอนุกรมเวลาที่ใช้ในการสร้างตัวแบบ
3. นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้มาสร้างตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน
4. สร้างตัวแบบผสมโดยใช้ตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์ รีเกรสชันจากชุดข้อมูล และตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์ รีเกรสชันจากค่าความคลาดเคลื่อน

ซึ่งสามารถแสดงกรอบแนวคิดได้ดัง Figure 1

จาก Figure 1 ได้แสดงรายละเอียดของกรอบแนวคิดและขั้นตอนในการวิจัย ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

4.1 การแบ่งข้อมูลฝึกสอนและทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งชุดข้อมูลอนุกรมออกเป็น 2 ส่วน โดยในส่วนแรกเป็นข้อมูลฝึกสอน โดยใช้อัตราส่วน 70% ของข้อมูลทั้งหมด และส่วนที่สองเป็นข้อมูลทดสอบ โดยใช้อัตราส่วน 30% ของข้อมูลทั้งหมด เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่นิยมใช้ในงานสถิติ

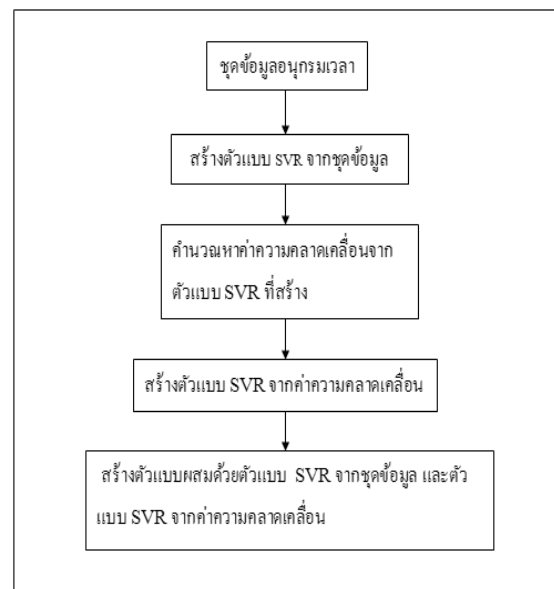


Figure 1 A framework of research methodology

4.2 การสร้างตัวแบบด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน

ในการสร้างตัวแบบด้วยเทคนิคซัพพอร์ต

เวกเตอร์รีเกรสชันนั้นจำเป็นต้องกำหนดสมการที่ใช้ เนื่องจากข้อมูลมีลักษณะเป็นอนุกรมเวลาที่ใช้ช่วยในการพยากรณ์คือค่า วัน เดือน ปี โดยกำหนดให้มีสมการดังสมการที่ 10

$$\hat{Y}_t = f(x) = \langle w, x \rangle + b \tag{10}$$

โดยที่ค่า \hat{Y}_t คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ x คือ ข้อมูลนำเข้าประกอบด้วยข้อมูล วัน เดือน ปี และผลลัพธ์ (Y_t)

b คือ ค่าคงที่

โดยในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้ใช้ค่าเคอร์เนลเป็นเรเดียลเบสิคฟังก์ชัน ค่าแกมมาเป็น 1/จำนวนมิติของข้อมูล ค่าคอสเป็น 1 ค่าเอปซิลอนเป็น 0.1 เพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้ข้อมูลฝึกสอนในการสร้างตัวแบบ และเมื่อนำค่าที่ได้จากการพยากรณ์และค่าจริงจากข้อมูลฝึกสอนมาหาผลต่างจะได้ค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งหากค่าจริงมากกว่าค่าพยากรณ์ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าเป็นบวกและเป็นลบในกรณีตรงกันข้าม ดังสมการที่ 11

$$\text{error} = |Y_t - \hat{Y}_t| \tag{11}$$

4.3 การนำค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำ

การนำค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการเพิ่มความแม่นยำนั้นทำได้โดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ยังคงมีลักษณะเป็นอนุกรมเวลาอยู่ โดยมีสมการดังสมการที่ 12

$$\hat{Y}_{\text{error}} = f(x) = \langle w, x \rangle + b \tag{12}$$

โดยที่ค่า \hat{Y}_{error}

คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์

x คือ ข้อมูลนำเข้าประกอบด้วยข้อมูล วัน เดือน ปี และค่าความคลาดเคลื่อน

b คือ ค่าคงที่

โดยค่าอื่น ๆ ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเป็นค่าเดียวกับที่ใช้สร้างตัวแบบด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน โดยผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะเป็นตัวแบบที่ได้จากค่าความคลาดเคลื่อน ซึ่งจากสมมติฐานที่ว่าค่าความคลาดเคลื่อนคือค่าความสัมพันธ์ที่ขาดหายไป ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำให้ตัวแบบที่สร้างด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์ รีเกรสชันดั้งเดิมจึงได้นำตัวแบบที่ได้จากค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วย

ในการพยากรณ์ ซึ่งตัวแบบใหม่ที่ได้แสดงดังสมการที่ 13 โดยเรียกตัวแบบนี้ว่าตัวแบบผสม (combine)

$$\hat{Y}_p = \hat{Y}_t + \hat{Y}_{\text{error}} \tag{13}$$

โดยที่ค่า \hat{Y}_p คือ ค่าที่ได้จากการพยากรณ์ด้วยตัวแบบผสม

4.4 การทดสอบความแม่นยำของตัวแบบ

ในการทดสอบความแม่นยำของตัวแบบนี้ ข้อมูลที่ใช้คือข้อมูลทดสอบ โดยใช้ตัวแบบผสมในการพยากรณ์ค่าซึ่งวัดค่าโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย และค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย โดยทำการเปรียบเทียบเทคนิคทั้งหมด 3 ชนิดคือ เทคนิค ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันดั้งเดิม เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันที่เพิ่มความแม่นยำด้วยค่าความคลาดเคลื่อน และเทคนิค ARIMA

5. ข้อมูลที่ใช้

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของอนุกรมเวลา โดยเป็นข้อมูลจาก Data Market⁸ (<https://datamarket.com/data/>) และ Duke University⁹ (http://www2.stat.duke.edu/~mw/ts_data_sets.html) ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้มีทั้งหมด 5 ชุด ประกอบไปด้วยชุดข้อมูลอุณหภูมิรายวันของแม่น้ำพีชเชอร์ (TEMP) ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำนมของวัวในแต่ละเดือน (MILK) ข้อมูลค่าความดันที่ระดับน้ำทะเลที่เมืองดาร์วิน (SLP) ข้อมูลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภูเขาไฟเมานาโลอา (CO2) และข้อมูลค่าดัชนีที่คำนวณจากค่าความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุดในตาฮีตีและดาร์วิน (SOI)

ผลการทดลอง

จาก Table 1 และ Table 2 พบว่าเมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการทำนาย ทำให้โมเดลเข้าใจค่าของข้อมูลฝึกสอนมากขึ้น โดยทุกข้อมูลให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นทั้งหมดจากตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือ เทคนิคใหม่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 3 ชุดข้อมูล เทคนิค ซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุดข้อมูล และเทคนิค ARIMA ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุด ซึ่งเมื่อทำการเทียบเฉพาะเทคนิคใหม่และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์รีเกรสชัน

Table 1 A comparison of RMSE from the training dataset

data	SVR	Proposed method	% Improvement
temp	5.15720	5.11310	0.855115179
milk	22.4174	21.4962	4.109307948
SLP	1.0115	1.0099	0.158180919
co2	0.4751	0.434	8.650810356
SOI	1.5845	1.5772	0.460713159

Table 2 A comparison of MAE from the training dataset

data	SVR	Proposed method	% Improvement
temp	3.96800	3.90040	1.703629032
milk	16.9748	15.1543	10.72472135
SLP	0.7916	0.7864	0.656897423
co2	0.3925	0.3262	16.89171975
SOI	1.2274	1.2123	1.23024279

พบว่าเทคนิคใหม่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 4 ชุดข้อมูล และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุดข้อมูล เมื่อทำการเทียบผลลัพธ์เทคนิคใหม่และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันพบว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิรายวันของแม่น้ำพิซเซอร์ให้ผลดีขึ้น 1.34% ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำมันของวัวในแต่ละเดือนให้ผลดีขึ้น 17.15% ข้อมูลค่าความดันที่ระดับน้ำทะเลที่เมืองดาร์วินให้ผลดีขึ้น 3.86% ข้อมูลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภูเขาไฟเมานาโลอาให้ผลดีขึ้น 4.31% และข้อมูลค่าดัชนีที่คำนวณจากค่าความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุดในตาฮีตีและดาร์วินให้ผลแย่ง 1.99% จากตารางที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ เทคนิคใหม่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 3 ชุดข้อมูล เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุดข้อมูล และเทคนิค ARIMA ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุด ซึ่งเมื่อทำการเทียบเฉพาะเทคนิคใหม่และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันพบว่าเทคนิคใหม่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 4 ชุดข้อมูล และ

Table 3 A comparison of RMSE from the test dataset

data	SVR	Proposed method	ARIMA	% Improvement
temp	10.56466	10.42317	15.31096	1.33928
milk	60.28028	49.94115	85.42048	17.15176
SLP	1.921235	1.846996	2.548502	3.86413
co2	6.510226	6.229361	2.930608	4.31421
SOI	1.918531	1.956628	1.984341	-1.98574

Table 4 A comparison of MAE from the test dataset

data	SVR	Proposed method	ARIMA	% Improvement
temp	9.07392	8.96033	12.73791	1.25183
milk	48.35438	39.37634	66.36006	18.56717
SLP	1.57495	1.48809	2.155819	5.51510
co2	5.58294	5.27019	2.42601	5.60189
SOI	1.45858	1.49647	1.530834	-2.59773

เทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด 1 ชุดข้อมูล เมื่อทำการเทียบผลลัพธ์เทคนิคใหม่และเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันพบว่าชุดข้อมูลอุณหภูมิรายวันของแม่น้ำพิซเซอร์ให้ผลดีขึ้น 1.25% ข้อมูลปริมาณการผลิตน้ำมันของวัวในแต่ละเดือนให้ผลดีขึ้น 18.57% ข้อมูลค่าความดันที่ระดับน้ำทะเลที่เมืองดาร์วินให้ผลดีขึ้น 5.52% ข้อมูลปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ภูเขาไฟเมานาโลอาให้ผลดีขึ้น 5.60% และ ข้อมูลค่าดัชนีที่คำนวณจากค่าความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุดในตาฮีตีและดาร์วินให้ผลแย่ง 2.60%

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์เรกเรชันดั้งเดิม โดยการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาช่วยในการสร้างตัวแบบสามารถทำได้ เนื่องจากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมาใช้ในการสร้างโมเดลจะทำให้โมเดลที่ได้นั้นเข้าใจตัวข้อมูลฝึกสอนมากขึ้น ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำไปใช้กับข้อมูลทดสอบได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่ในกรณีของข้อมูลค่าดัชนีที่คำนวณจากค่าความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างจุด 2 จุดในตาฮีตีและดาร์วินที่ให้ผลลัพธ์แย่ง อาจเนื่องมาจากเกิดการโอเวอร์ฟิตติ้ง (Overfitting) ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่โมเดลสามารถให้ผลลัพธ์ได้ดีมากในข้อมูลฝึกสอนแต่ให้ผลลัพธ์ที่แย่งกับข้อมูลทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- Zhang, G. Peter. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing*. 2003;50:159-175.
- Chen, Kuan-Yu, and Cheng-Hua Wang. A hybrid SARIMA and support vector machines in forecasting the production values of the machinery industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications*. 2007;32.1 :254-264.

3. Wang, Yuanyuan, et al. Application of residual modification approach in seasonal ARIMA for electricity demand forecasting: a case study of China. *Energy Policy*. 2012;48:284-294.
4. Khandelwal, Ina, Ratnadip Adhikari, and Ghanshyam Verma. Time Series Forecasting Using Hybrid ARIMA and ANN Models Based on DWT Decomposition. *Procedia Computer Science*. 2015;48:173-179.
5. de Oliveira, João FL, and Teresa B. Ludermir. A hybrid evolutionary decomposition system for time series forecasting. *Neurocomputing*. 2016;180:27-34.
6. Smola, Alex J., and Bernhard Schölkopf. A tutorial on support vector regression. *Statistic and computing*. 2004;14.3:199-222
7. BOX, George EP; JENKINS, Gwilym M. Time series analysis, control, and forecasting. San Francisco, CA: Holden Day. 1976;3226.3228:10.
8. DataMarket [Internet]. Iceland:DataMarket; 2008 [cited 2016 April 17]. Available from: [https:// datamarket.com/data/](https://datamarket.com/data/)
9. SOME TIME SERIES DATASETS [Internet]. America: Duke University [cited 2016 April 17]. Available from: http://www2.stat.duke.edu/~mw /ts_data_sets.html

ระยะห่างแหวนจิกที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนคิง The V-ring Distance on Workpieces Quality in Fine Blanking Process

นัฐราช แสนมีมา,¹ บพิท บุปผโชติ^{2*}

Nattarat Sanmeema,¹ Bopit Bubphachot^{2*}

Received: 7 November 2016 ; Accepted: 10 April 2016

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างของแหวนจิกต่อแรงตัดในกระบวนการไฟน์แบลนคิงด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกำหนดชิ้นงานในแบบจำลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S45C) มีความหนา 4 mm. ภายใต้รูปร่างแหวนจิกที่ระยะห่าง 2.0, 2.8 และ 3.5 mm แม่พิมพ์ดายมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 20 mm. จากผลการศึกษาพบว่า ระยะห่างแหวนจิกที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าแรงตัด และการไหลตัวของเนื้อวัสดุในชิ้นงานลดลง อย่างไรก็ตามระยะห่างของแหวนจิกที่เหมาะสมในการศึกษาค้างนี้มีค่าเท่ากับ 2.8 mm.

คำสำคัญ: ระยะห่างแหวนจิก ความเค้นประสิทธิผล กระบวนการไฟน์แบลนคิง

Abstract

This research studies the effect of v-ring distance on blanking force in fine blank process by using finite element method. In simulation model, the workpiece materials were medium carbon steel (S45C) with thickness of 4 mm. The v-ring shape was used with distance of 2.0, 2.8 and 3.5 mm. and die diameter of 20 mm. From the simulation results, the v-ring shapes at increased distances have effects on decrease of blanking force value and the material flow. However, the optimum of v-ring distance in this study was 2.8 mm.

Keywords: The v-ring distance, Effective stress, Fine blanking process.

บทนำ

เทคโนโลยีการตัดโลหะด้วยกระบวนการตัดละเอียด (Fine blanking process) เป็นกระบวนการตัดชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่รวดเร็วและต้นทุนที่ต่ำเนื่องมาจากการได้มาซึ่งผิวชิ้นงานตัดที่เรียบตรง และมีความเที่ยงตรงสูงโดยปราศจากรอยแตก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นในการทำการตกแต่งผิวงานตัดในกระบวนการถัดไป เช่นกระบวนการตกแต่งรอยตัดจากข้อได้เปรียบเหล่านี้จึงทำให้เทคโนโลยีการตัดละเอียดได้

ได้รับความสนใจและถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายมากในหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น จากข้อดีของกระบวนการตัดละเอียดที่ดีกว่ากระบวนการตัดทั่วไปนั้น เป็นผลเนื่องมาจากสภาวะเงื่อนไขในการตัดที่แตกต่างกันกล่าวคือ ในกระบวนการตัดละเอียดนั้นจะใช้แรงในการกดยึดชิ้นงาน และแรงต้านการเคลื่อนที่ของพันธที่มีค่ามากกว่าการตัดทั่วไปมากกว่ารวมทั้งใช้แหวนจิก รูปตัว วี (V-ring) ที่มีขนาดรูปร่างแตก

¹ วิศวกร, สำนักงานคณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² รองศาสตราจารย์, หน่วยวิจัยการออกแบบท่อความร้อนและเครื่องมือทางความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Engineer, Faculty Administrative office, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

² Associate Professor, Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

* Corresponding : Bopit bubphachot Heat Pipe and Thermal Tools Design Research Unit (HTDR), Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. E-mail : bopit.b@msu.ac.th

ต่างกันซึ่งการเลือกใช้ค่าต่างๆ เหล่านี้ก็จะส่งผลต่อการไหลของเนื้อวัสดุในชิ้นงาน และส่งผลกระทบต่อแรงที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานให้ขาดจากกัน^{1,2} ดังแสดงค่าแนะนำรูปร่างแหวนจิกใน Figure 1. และ Table 1.

ในปี 2545 ศุภกฤษณ์³ ได้ทำการศึกษาระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัดที่เหมาะสมที่มีต่อคุณภาพชิ้นงานอลูมิเนียมบริสุทธิ์ (A1100-O) หนา 4 mm โดยกำหนดระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัด 4 ระยะคือ 2.5 2.8 3.0 และ 3.5 mm พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีแหวนจิก จากการทดลองทำการเก็บผล ของคุณภาพขอบตัด ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดและระยะทางในการตัด ผลการวิจัยพบว่าระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัด 2.8 mm จะทำให้ ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพที่ดีที่สุด และ เมื่อใช้แหวนจิกที่อยู่ใกล้ขอบตัดมากและเมื่อใช้แหวนจิก จะใช้แรงในการตัดมากกว่าในกรณีไม่มีใช้แหวนจิก นอกจากนี้พบว่าผลที่ได้จาก โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ (Deform2D) ก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลการทดลอง และในปี 2554 ณัฐศักดิ์, คมกริช และ ภาสพิรุฬห์⁴ ได้ประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในแม่พิมพ์ตัดวัสดุที่ทำการศึกษาคือ เหล็กกล้าไร้สนิม (AISI 430) หนา 2 mm ที่ระยะห่างจากขอบตัดชิ้นงาน 2.5 mm และมีความ สูงของแหวนจิกต่างกันคือ 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 mm โดยพบว่าความสูงของแหวนจิกเพิ่มขึ้น จะมีผลให้ ระยะความสูงของครีบ รอยฉีกขาด ส่วนโค้งมน มีค่าลดลง และ ระยะความสูงของส่วนเรียบตรงเพิ่มขึ้น แผ่นกดจับชิ้นงานที่มีแหวนจิกช่วยเพิ่มคุณภาพของขอบตัดชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 430

จากงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งการทดลองและแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของอิทธิพลระยะห่างของแหวนจิกที่มีผลต่อคุณภาพชิ้น จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนชนิดของวัสดุชิ้นงานในการตัดด้วยกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง จำเป็นต้องมีการออกแบบระยะห่างของแหวนจิกให้เหมาะสมกับวัสดุชนิดนั้น เนื่องจากแหวนจิกจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพชิ้นงาน⁶ และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตในการศึกษาระยะห่างแหวนจิกในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง โดยเน้นไปที่การทำการทดลองที่ต้องใช้งบประมาณค่าใช้จ่ายในการศึกษาสูง และใช้เวลานาน^{1-4, 6} การที่จะทำงานศึกษาที่ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลา ซึ่งแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้⁷⁻⁹ ดังนั้นการศึกษานี้มุ่งเน้นที่จะนำแบบจำลองมาใช้ในการศึกษาระยะห่างของแหวนจิกที่มีผลต่อรอบตัดเฉือนเกิดขึ้นในชิ้นงาน ในกระบวนการตัดละเอียดด้วยแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาระยะห่างแหวนจิก (V-ring) ที่มีผลต่อค่าความดันประสิทธิภาพในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง
2. เพื่อศึกษาระยะห่างแหวนจิก (V-ring) ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาดังกล่าวจะพิจารณาอิทธิพลระยะห่างของแหวนจิกที่มีผลต่อค่าความดันประสิทธิภาพ และคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลนดิ่ง งานวิจัยนี้จะใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Deform2D) เพื่อง่ายและประหยัดเวลาในการคำนวณ แบบจำลองที่ใช้เป็นแบบ 2 มิติอย่างง่าย ดังแสดงใน Figure 2 โดยจะศึกษา ระยะห่างของแหวนจิกที่ทำการศึกษา 3 ระดับ คือ 2.0, 2.8 และ 3.5 mm ชิ้นงานที่จะทำการตัดเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางรีดเย็น (JIS S45C) ขนาดความหนา 4 mm โดยสมการคอนสตีดูตีฟว์ของวัสดุได้มาจากการทดสอบแรงดึง ดังแสดงใน Table 2 สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางของดายที่ทำการศึกษามีขนาด 20 mm โดยมีช่องห่างระหว่างแม่พิมพ์เท่ากับ 0.5 %t กำหนดให้วัสดุชิ้นงานเป็นแบบอีลาสติก พลาสติก (Elasto-plastic) ชุดแม่พิมพ์ประกอบด้วย พันช์ (Punch), ดาย (Die), แหวนจิก (V-ring) และเคาเตอร์พันช์ (Counter punch) กำหนดให้เป็นแบบของแข็ง (Rigid) สำหรับจำนวนการแบ่งเอลิเมนต์ที่ใช้สำหรับชิ้นงานใช้ 3,000 เอลิเมนต์ เป็นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อให้เกิดการแตกหักของวัสดุในแบบจำลอง จึงต้องกำหนดค่าการแตกหักวิกฤต (Critical value, C) ดังสรุปค่าต่างใน Table 2

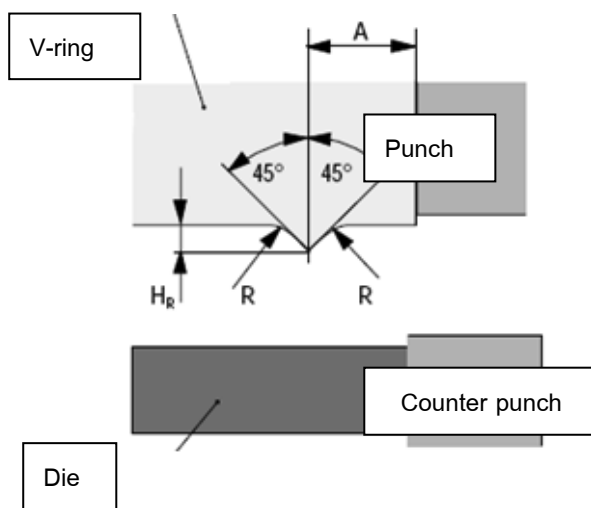


Figure 1 V-ring shapes^{5, 9}

Table 1 The V-ring design (dimension in mm and angle in degree)^{5, 9}

Thickness	A	H _R	R
1.0 – 1.7	1.0	0.3	0.2
1.8 – 2.2	1.4	0.4	0.2
2.3 – 2.7	1.7	0.5	0.2
2.8 – 3.2	2.1	0.6	0.2
3.3 – 3.7	2.5	0.7	0.2
3.8 – 4.5	2.8	0.8	0.2

Table 2 Simulation conditions

Simulation model	Equation/Constant
Material type	Wopkpiece: Elasto-plastic Mold: Rigid
Material	JIS:S45C (หนา 4 mm)
Flow stress	$\bar{\sigma} = 185.03\bar{\epsilon}^{0.5338} + 640$
Diameter	∅ 20 mm
Clearance	0.5%t
Speed	0.1%/sec
Fracture	Rice&Tracy (α:1)
Critical value(C)	0.25
Friction (μ)	0.1

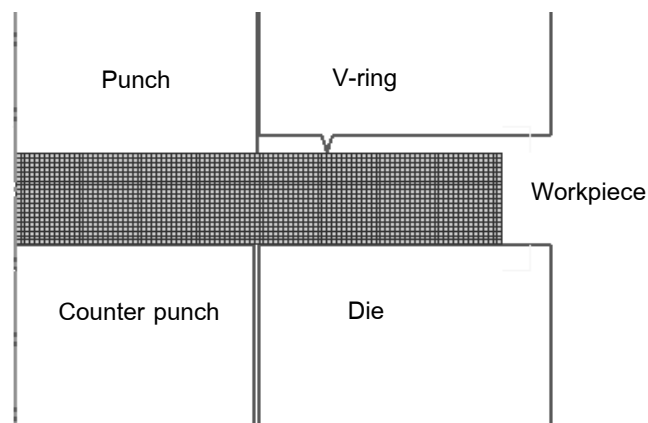


Figure 2 Simulation model in fine blanking process by the Deform 2D

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ค่าความเค้นประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลอง

จากการใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ Deform2D ในการศึกษาพบว่าความเค้นประสิทธิผลของวัสดุจะมีไม่เท่ากันตามการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของแหวนจิก ซึ่งมีผลต่อการกระจายตัวของค่าความเค้นประสิทธิผลในเนื้อวัสดุ เมื่อ

ระยะห่างของแหวนจิกมีค่าน้อยจะมีผลทำให้เกิดแหวนจิกไปเพิ่มความเค้นให้กับแนวตัดเฉือนของกระบวนการทำการตัดสูงขึ้น และจะลดลงตามระยะห่างของแหวนจิกที่เพิ่มขึ้นทุกวัสดุที่ทำการศึกษาดังกล่าว โดยได้ทำการบันทึกค่าความเค้นประสิทธิผลจะลดลงตามระยะห่างจิก 3 ระดับ คือ 25 50 และ 75%t ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 3

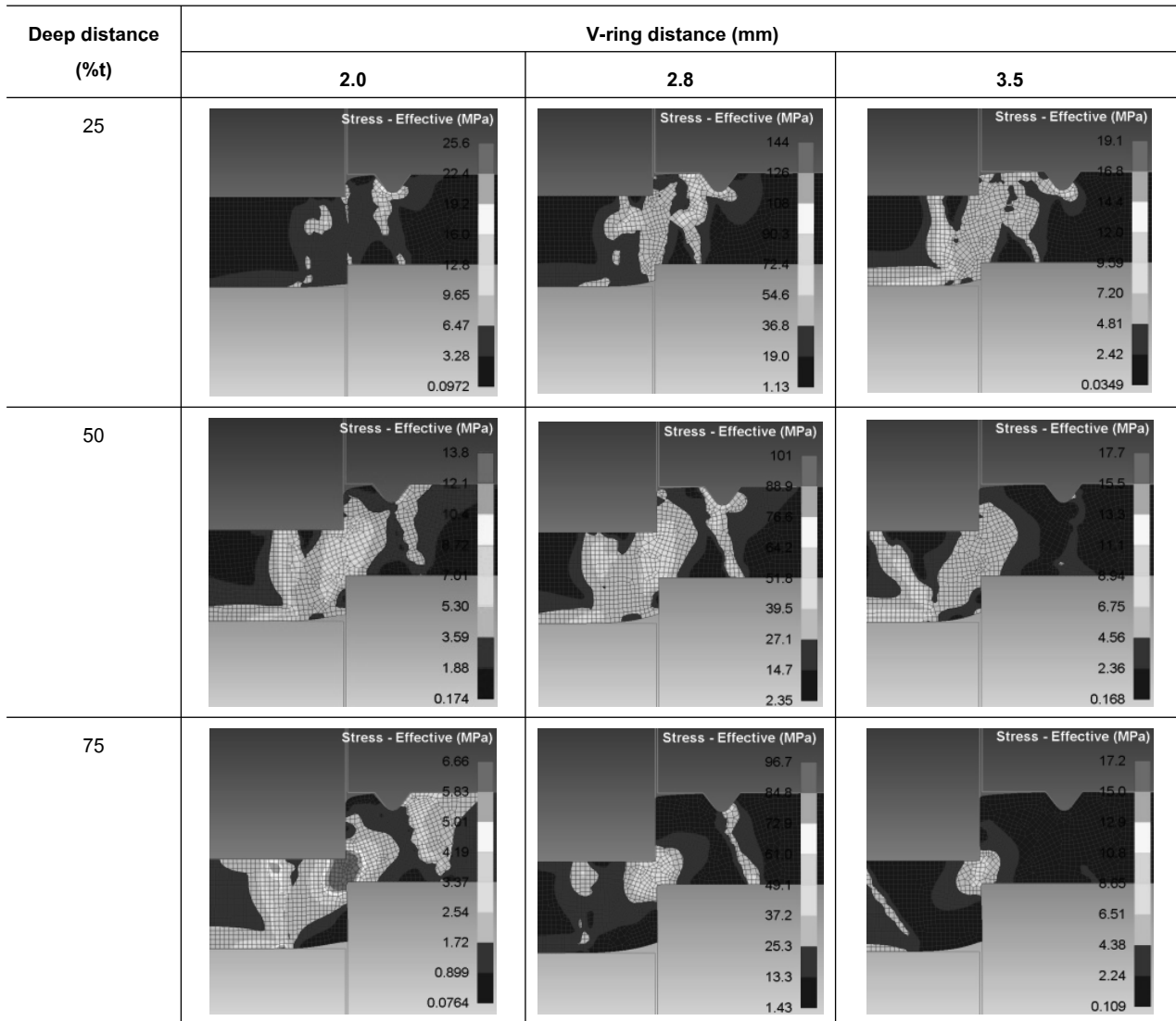


Figure 3 The effective stresses at difference of deep and v-ring distance

ค่าการไหลตัวของวัสดุที่ได้จากแบบจำลอง

ความเร็วการไหลตัวของเนื้อวัสดุทุกเงื่อนไขในการทดลองจะมีการไหลตัวที่เท่ากันที่ระยะพันซ์ดลิก 25 %t แต่เมื่อพันซ์เคลื่อนที่กดลิกมากกว่า 50 %t ที่ระยะห่างแหวนจิก 2.8 mm จะมีทิศทางของการไหลตัวของเนื้อวัสดุเข้าสู่แนวตัด

เงื่อนไขสูงกว่าระยะห่างแหวนจิก 2.0 และ 3.5 mm ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นระยะห่างของแหวนจิก 2.8 mm เป็นระยะห่างที่เหมาะสมที่สุดที่จะได้ชิ้นงานมีคุณภาพรอยตัดเฉือนดีที่สุดใน การศึกษานี้ ดังแสดงใน Figure 4

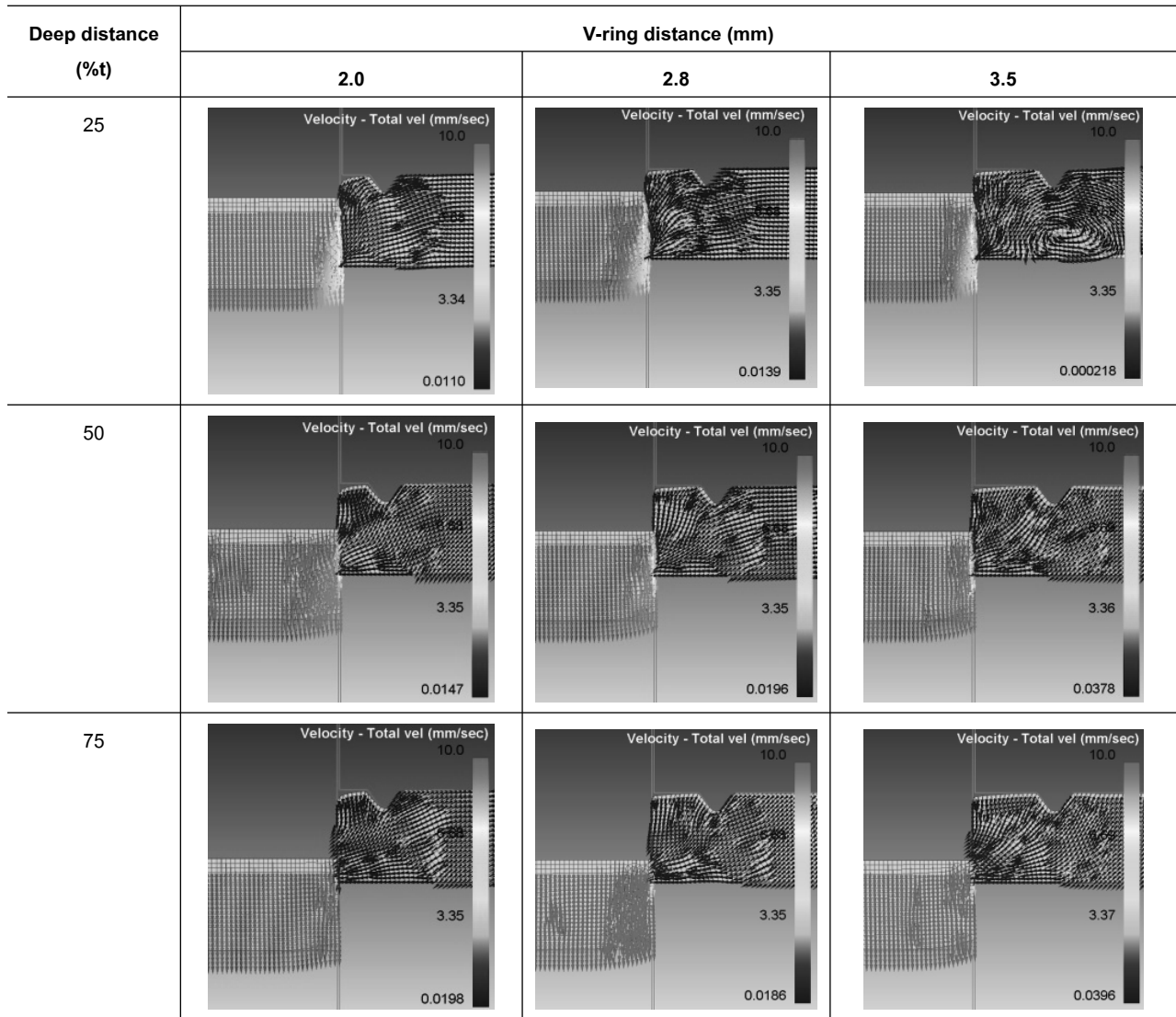


Figure 4 The material flow at difference of deep and v-ring distance

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของค่าแรงตัดชิ้นงานและทิศทางการไหลตัวของวัสดุ ที่ระยะห่างและรัศมีของแหวนจิก (V-ring) แตกต่างกันโดยใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงการศึกษานี้สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแหวนจิก (V-ring) ที่ระยะห่างแตกต่างกัน มีผลต่อความเค้นประสิทธิผลในชิ้นงานและแนวการตัดเฉือนชิ้นงาน
2. ผลการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของแหวนจิก (V-ring) ที่ระยะห่างแตกต่างกัน มีผลต่อทิศทางการไหลตัวของวัสดุในกระบวนการและส่งผลให้ความเค้นอัดภายในเนื้อวัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับงานวิจัย สุทัศน์ และ คณะ (2550, หน้า 298)^๑ ซึ่งมีผลทำให้เกิดรอยแตกที่แนวตัดเฉือนได้
3. ระยะห่างแหวนจิก(V-ring) ที่เหมาะสมจากการศึกษานี้คือ 2.8 mm

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุน และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรมในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

1. K. Maitri and D. Surangsee, "Sheet Metal Forming Process Optimization Using FEM Analysis," The 21th Conference of the Mechanical Engineering, Chonburi, pp. 970-975, 17-19 Oct 2007 (in Thai).
2. P. Natthasak, L. Komgrit, and S. Bhadpiroon, "Application of Vee-Ring for Quality Increase the workpiece in Blanking Die," IE Network Conference 2011, Chonburi, pp. 1062-1066, 20-21 Oct 2011 (in Thai)

3. ศุภกฤษณ์ ศรีสำเร็จ. การศึกษาระยะห่างของแหวนจิกจากขอบตัดที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพ ของชิ้นงานในงานไฟน์แบลนค์. กรุงเทพมหานคร: ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย; 2545.
4. ณิชศักดิ์ พรพุดศิริ, คมกริช ละวรรณวงษ์, ภาสพิรุฬห์ ศรีสำเร็จ. การประยุกต์ใช้แหวนจิกเพื่อเพิ่มคุณภาพชิ้นงานในงานแม่พิมพ์ตัด. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2554 ; 20 – 21 ตุลาคม 2554. ชลบุรี
5. บพิช บุปผาโชติ. กระบวนการตัดเฉือน. ตำรากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2556. 115 – 132.
6. พิสิษฐ์ ศรีน้อย, ศิริชัย ต่อสกุล. การศึกษาอิทธิพลแหวนจิกในกระบวนการตัดไฟน์แบลนค์กึ่งโดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2557;24(1): 75-86.
7. สุทัศน์ ทิพย์ปรักมาศ, มาซาฮิโกะ จิน, มาซาโอะ มุราคาวา. การวิเคราะห์การไหลของเนื้อวัสดุของรอยฉีกขาดในงานตัดไฟน์แบลนค์. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2550;30(2): 293-300.
8. สุรวุฒิ ยะนิล, ชาญ ถนัดงาน, ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์. การวิเคราะห์หาแรงในการไฟน์แบลนค์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2546;13(3): 75-86
9. Schuler, "Metal Forming Handbook", Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998.

แบบจำลองเชิงพื้นที่สำหรับวิเคราะห์การแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในพื้นที่ต้นแบบ จังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมา

Spatial Model to Analyze Concentration Dispersion of Particle Matter with a Diameter of Less Than 10 Micron in Loei, KhonKaen and Nakhon Ratchasima Province

ปฏิวดี ฤทธิเดช¹

Patiwat Littidej¹

Received: 28 September 2016 ; Accepted: 18 January 2017

บทคัดย่อ

อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลความเข้มข้นพื้นฐานจากสถานีตรวจวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS ที่ครอบคลุมพื้นที่ต้นแบบจังหวัด ขอนแก่น เลยและนครราชสีมา รวมทั้งแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับสร้างแผนที่ความเข้มข้นมลพิษ โดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ 1) เพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนกับข้อมูลของสถานีวัด 2) เพื่อสร้างแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนและวิเคราะห์การแพร่กระจายโดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวจากชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 หาความสัมพันธ์กับข้อมูลปริมาณ PM_{10} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจำนวน 3 สถานีของทั้ง 3 จังหวัดด้วยสมการถดถอย 3 แบบ ได้แก่แบบจำลองถดถอยแบบคิวบิกแบบจำลองถดถอยแบบเอ็กโปเนนเชียลและการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุผลการวิจัยพบว่าการใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวสมการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุให้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) สูงที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.742 โดยสร้างแบบจำลองจากแบนด์ 3 และแบนด์ 4 และเมื่อนำสมการไปคำนวณกับค่าความสว่างของภาพถ่ายดาวเทียมแล้วและประเมินความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นมลพิษที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่วัดได้จริงด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีความสัมพันธ์กัน

คำสำคัญ: การสร้างแบบจำลองเชิงพื้นที่ อนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ภาพถ่ายดาวเทียมTerra/Aqua

Abstract

Particulate matter diameter of less than 10 micron (PM_{10}) is one of the most important air quality concerns in northeastern Thailand. In this study we integrate ground-based measurements and satellite data to map temporal PM_{10} concentrations for the entire provinces of Khon Kaen, Loei, and Nakhon Ratchasima. We specifically used MODIS Aqua and Terra data and Geographic Weighted Regression (GWR) models for mapping and extending the ground-based PM concentrations. The purposes of this study were 1) devise spatial modeling for PM_{10} concentration assessment 2) PM_{10} concentration mapping. The method used surface reflectance which can be obtained from MODIS product MOD09, in correlation with PM_{10} values obtained from 3 ground measurement stations of the Pollution Control Department (PCD) by using 3 regression types: cubic models, exponential models and multiple linear models. The result shows that (R^2) calculated by multiple linear models between 2 bands (3 and 4) of surface reflectance and

¹ อาจารย์, หลักสูตรภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

¹ Lecturer, School of Geo-informatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand. Corresponding author; PatiwatLittidej, School of Geo-informatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, patiwat_noof@hotmail.com. Mobile: 085-8587011

PM₁₀ values, has a high value of 0.742 and is highly correlated using regression. RMSE calculation and verification of the concentration values obtained from the equations with the values from ground measurement was conducted. In consequence, the generated PM₁₀ is correlated with the values from ground measurement.

Keywords: Spatial modeling, Particulate matter diameterless than 10 micron, Terra/Aqua imagery

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยประสบปัญหา มลภาวะหมอกควันในช่วงฤดูแล้งของทุกปีจากสถานการณ์ มลพิษในอากาศที่ผ่านมามีภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็น พื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองในอากาศมากเป็นอันดับสองรอง จากภาคเหนือสภาวะหมอกควันปกคลุมพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นบริเวณกว้างอีกทั้งสภาพภูมิประเทศของบาง จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีภูเขาล้อมรอบถ้าหากมี กิจกรรมการเผาจะทำให้มลพิษต่างๆ และฝุ่นละอองจะถูกกักขัง ในพื้นที่นั้นนานขึ้นซึ่งเกิดจากการเผาพื้นที่เกษตรกรรมเพื่อ เตรียมดินทำการเกษตรและสถานการณ์ไฟไหม้ป่าทำให้เกิด หมอกฝุ่นควันขึ้นมีผลกระทบต่อทัศนวิสัยในการมองเห็นและ ทำให้มีผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจสูงขึ้นมาก^{1,2} ปริมาณฝุ่น ละอองในอากาศจัดเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลภาวะ ทางอากาศที่สามารถวัดได้จากค่า PM₁₀ ซึ่งในปี 2552 ตรวจ พบปริมาณ PM₁₀ ในอากาศที่ในจังหวัดเลยสูงสุดเกินมาตรฐาน ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2552 ซึ่งสูงถึง 268 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร¹ และในปี 2553 ตรวจพบปริมาณ PM₁₀ ใน อากาศในปริมาณสูงที่สุดในจังหวัดหนองบัวลำภูในช่วงกลาง เดือนมีนาคม 2553 ซึ่งสูงถึง 318.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร¹ การตรวจวัดดังกล่าวเป็นการตรวจวัดโดยสถานีตรวจวัด คุณภาพอากาศภาคพื้นดินซึ่งพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีทั้งหมด 3 สถานีแต่ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเพียงบางจุดและไม่ ครอบคลุมทั้งพื้นที่และบางครั้งอาจได้รับข้อมูลไม่ครบถ้วน เนื่องจากระบบสื่อสารขัดข้องและอาจเกิดความล่าช้าในการได้ มาซึ่งข้อมูลหากใช้ข้อมูลดาวเทียมในการประเมินปริมาณ PM₁₀ ในอากาศจะทำให้ได้ผลการตรวจปกคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ทั้งยังเป็นข้อมูลสนับสนุนการจัดการทรัพยากรอากาศหรือ เตือนภัยพิบัติจากสถานการณ์หมอกควันแก่ประชาชนได้โดย ดาวเทียมที่โคจรผ่านประเทศไทยทุกวันและถ่ายภาพครอบคลุม ทั้งประเทศมีหลายประเภทด้วยกันโดยในการศึกษานี้เน้น เฉพาะดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectra radiometer) ซึ่งเป็น เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัมที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม Terra และ Aqua ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูล ทรัพยากรธรรมชาติและสามารถบันทึกข้อมูลครอบคลุมพื้นที่ ทั่วโลกได้ภายใน 2 วัน³ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการ

ตรวจหาปริมาณ PM₁₀ จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าว การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมเพื่อ ตรวจหาปริมาณ PM₁₀ สำหรับพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพิจารณาความสัมพันธ์กันของข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจ วัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมโดย การใช้สมการถดถอยเพื่อให้ได้มาซึ่งแบบจำลองที่มีความ เหมาะสมต่อการตรวจหาปริมาณ PM₁₀ และใช้เทคนิควิธีทาง ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการจัดการข้อมูลและ สร้างแผนที่แสดงปริมาณ PM₁₀ ในอากาศต่อไป งานวิจัยที่ผ่าน มามีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS มาใช้ศึกษาถึงความสัมพันธ์กับ ปริมาณ PM₁₀ ของสถานีตรวจวัด⁴ ได้ศึกษาหาปริมาณมลภาวะ ในอากาศในประเทศมาเลเซียได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และ โอโซน (O₃) ด้วยการ หาความสัมพันธ์กันระหว่างผลการตรวจวัดมลภาวะทางอากาศ จากสถานีภาคพื้นดิน กับค่าการสะท้อนของดาวเทียม NOAA-14 AVHRR แบนด์ 1 และ แบนด์ 2 โดยใช้สมการถดถอย 8 แบบ ได้แก่ linear, logarithmic, quadratic, cubic, power, S-curve, exponential, และ multiple linear ซึ่งพบว่า การหาปริมาณ PM₁₀, SO₂, NO₂ ใช้สมการถดถอยแบบ cubic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 33, 18 และ 11 ตามลำดับ ส่วนการหาปริมาณ CO ใช้ สมการถดถอยแบบ Power ให้ค่า RMSE เท่ากับ 13 และการ หาปริมาณ O₃ ใช้สมการถดถอยแบบ Quadratic ให้ค่า RMSE เท่ากับ 10 แล้วจึงนำสมการที่ได้ ร่วมกับเทคนิคทางภูมิ สารสนเทศ สร้างแผนที่ปริมาณมลพิษในอากาศเพื่อสามารถ ประเมินปริมาณมลพิษในอากาศในบริเวณกว้างได้⁵ ได้ทำ แผนที่ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณ เมือง Lisbon โดยใช้ความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศ ที่ได้รับจาก ดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS Level 1B และปริมาณ PM₁₀ ที่ได้รับจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน โดยการ หาความสัมพันธ์กันของข้อมูลจากสมการเชิงเส้นตรง และทำ แผนที่ปริมาณ PM₁₀ ด้วยการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ซึ่งการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นของ ข้อมูลนั้น ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบนด์ 1 ที่มีความยาว คลื่น 620 – 670 นาโนเมตร และมีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250

เมตร ความสัมพันธ์ของแบบจำลองมีค่า $R^2 = 0.77$ และทำแผนที่ปริมาณ PM_{10} ในอากาศด้วยการประมาณค่าข้อมูลด้วยวิธี Ordinary kriging พบว่าค่า PM_{10} ที่สูงๆ ส่วนใหญ่จะกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นแอ่งและห้อมล้อมด้วยภูเขา⁶ หากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างข้อมูลช่วงคลื่นความร้อนของดาวเทียม Landsat 5 TM และข้อมูลที่วัดได้จากภาคพื้นดินโดยใช้สมการถดถอยในการเชื่อมความสัมพันธ์กันของค่า Digital Number (DN Value) และค่าปริมาณ PM_{10} ที่วัดได้ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า ค่าทั้งสองมีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างค่า (RMSE) ที่ค่า⁷ ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance, SR) และค่าความลึกเชิงแสง (Aerosol Optical Thickness, AOT) ของภาพดาวเทียม Terra/Aqua ระบบเซ็นเซอร์ MODIS กับปริมาณ PM_{10} เปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดมลพิษในอากาศภาคพื้นดินจำนวน 5 สถานี ในพื้นที่ จากการศึกษาพบว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลทั้ง SR และ AOT เปรียบเทียบกับข้อมูลของสถานีพื้นดินอยู่ที่ 0.68 – 0.79 และสหสัมพันธ์ระหว่าง SR และ AOT มีค่าอยู่ระหว่าง 0.71-0.76⁷ ซึ่งมีค่าความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่ยอมรับได้⁸ ได้ใช้ข้อมูลค่า SR จากผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียมเซ็นเซอร์ MODIS ในการศึกษาสภาวะอากาศ ของประเทศไทย กรณีศึกษาบริเวณกรุงเทพมหานคร โดยการหาความสัมพันธ์กันระหว่าง SR กับค่า PM_{10} ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทั้ง 12 สถานีด้วยวิธีสหสัมพันธ์ โดยใช้ข้อมูลปริมาณ PM_{10} ในช่วงเดือนมกราคม – ธันวาคม พ.ศ.2549 และช่วงเดือน มกราคม – พฤษภาคม พ.ศ.2550 และดูความสัมพันธ์กันของข้อมูลจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของแต่ละสถานี พบว่า ในช่วงปี 2549 มีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.179 – 0.505 และในช่วงปี 2550 มีค่าความสัมพันธ์ตั้งแต่ 0.312 – 0.510 ในการวิจัยนี้จึงใช้ค่า SR มาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ของปริมาณ PM_{10} ในอากาศ เนื่องจากมีกระบวนการปรับแก้ทางเชิงรังสีและเชิงเรขาคณิตที่ไม่ซับซ้อนเท่ากับ AOT แต่ยังคงให้ผลความสัมพันธ์ที่ถึงความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นในระดับที่ยอมรับได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยส่วนใหญ่จะใช้แบบจำลองทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นมาสร้างความสัมพันธ์กันระหว่างค่า SR และ PM_{10} กับค่าที่วัดได้จากสถานีวัด โดยจะใช้ค่าสถิติ R^2 มาวัดความแม่นยำและ RMSE มาวัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองซึ่งแบบจำลองแบบเชิงเส้นจะมีแนวโน้มที่จะให้ความแม่นยำมากกว่าแต่ก็จะมีค่าความแตกต่างกันในเชิงพื้นที่ของการประยุกต์ใช้งานด้วยแต่ยังไม่มียานวิจัยใดเลยที่ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างค่า PM_{10} และปัจจัยเชิงพื้นที่เพื่อวิเคราะห์การกักขังฝุ่นละอองใน

พื้นที่ๆแตกต่างกัน ในการวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้ทั้งแบบจำลองเชิงเส้น 3 รูปแบบเข้ามาใช้เปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ว่าแบบจำลองแบบใดเหมาะสมที่จะใช้ทำนายปริมาณฝุ่น PM_{10} และพื้นที่ๆ จะใช้เป็นต้นแบบคือจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา เนื่องมาจากว่าทั้ง 3 จังหวัดมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สามารถวัดค่า PM_{10} ได้และจะทำให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถเปรียบเทียบผลของแบบจำลองได้ เมื่อได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำในการประมาณค่า PM_{10} แล้วจะใช้วิธีการทางภูมิสารสนเทศในการสร้างแผนที่ รวมทั้งแบบจำลองแบบถดถอยถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์สำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนว่าสัมพันธ์กับลักษณะเชิงพื้นที่อย่างไร เพื่อใช้ในการประเมินสถานการณ์ของพื้นที่ต่อไปได้อย่างทันเวลา

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสร้างตัวแบบเชิงพื้นที่สำหรับคาดการณ์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา
- 2) เพื่อสร้างแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา
- 3) เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของตัวแปรอิสระเชิงพื้นที่ต่อการเกิดฝุ่น

อุปกรณ์และวิธีการ

การศึกษานี้แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 เป็นกระบวนการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากข้อมูลจาก MODIS อยู่ในรูปของ HDF-EOS และอ้างอิงโดยเส้นโครงแผนที่แบบ Sinusoidal และยังไม่มีการปรับแก้ จึงต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิตเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องตรงตามข้อเท็จจริงหรือความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก แล้วทำการเลือกช่วงคลื่นที่ใช้ในการทำงานในขั้นตอนต่อไปส่วนที่ 2 เป็นกระบวนการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{10} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ กับภาพถ่ายดาวเทียมระบบเซ็นเซอร์ MODIS ด้วยสมการถดถอยเพื่อหาสมการที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) ส่วนที่ 3 เป็นกระบวนการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองเพื่อทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยพิจารณาจาก

ผลการประเมินความแม่นยำและความสัมพันธ์ของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริง จากนั้นใช้สมการที่ดีที่สุดร่วมกับการใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยได้แบบจำลองที่ดีที่สุดเพื่อนำมาจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณจังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมาเพื่อใช้เป็นต้นแบบสำหรับทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในการศึกษาครั้งต่อไป

ระเบียบวิธีวิจัย

การสร้างแบบจำลองและทำแผนที่ปริมาณ PM₁₀ ในอากาศ โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียม Terra/Aqua-MODIS มีขั้นตอนดังรูปที่ 1 และอธิบายแต่ละขั้นตอนดังนี้

- 1) รวบรวมผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้ง 3 สถานี (นครราชสีมา, ขอนแก่น และเลย) จากกรมควบคุมมลพิษ เนื่องจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพียงแค่ 3 จังหวัด และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วงเดือนกุมภาพันธ์, มีนาคม และเมษายน 2558 ซึ่งในช่วงนี้เป็นช่วงที่มีปริมาณ PM₁₀ ในอากาศสูงกว่าช่วงฤดูกาลอื่นๆ
- 2) รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua - MODIS ได้แก่ ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance, SR) จากผลิตภัณฑ์ MOD09 โดยดาวน์โหลดจากเว็บไซต์ <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/> แล้วทำการปรับแก้ข้อมูลเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้มีพิกัดตรงตามตำแหน่งจริงบนผิวโลก

3) ใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD09 หาค่าความสัมพันธ์กับค่าที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน ทั้ง 3 สถานี ด้วยสมการถดถอย 3 รูปแบบได้แก่ การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple Linear models) การถดถอยแบบคิวบิก (Cubic regression) และการถดถอยแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential regression) และพิจารณาความแม่นยำของแต่ละแบบจำลองจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) ถ้าค่า R² มีค่าสูง ความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมมีสูงมากขึ้นโดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R² อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก (ค่า R² มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใดๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ, 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์)

4) ทำการประเมินความแม่นยำของค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงเพื่อหาตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ได้มาซึ่งสมการที่ดีที่สุดในการคำนวณค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ

5) เมื่อได้รูปแบบสมการที่ดีที่สุดแล้ว จึงนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อสร้างแผนที่ปริมาณ PM₁₀ ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

6) วิเคราะห์ลักษณะการแพร่ของ PM₁₀ และการกักขังเชิงพื้นที่ด้วยแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ และแผนที่ PM₁₀ จะมีหน่วยเป็นจำนวนจุดภาพ (Pixel) หรือเป็นเมตร โดยรูปแบบของสมการที่ใช้คำนวณความคลาดเคลื่อน (RMS) มีดังต่อไปนี้

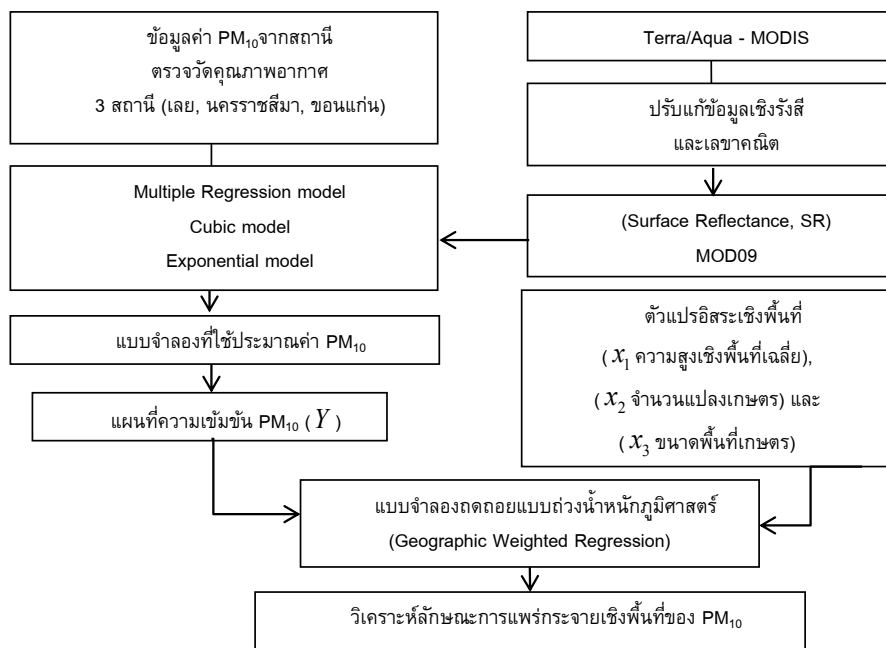


Figure 1 Framework of the study

ข้อมูลแหล่งข้อมูล และการรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน บริเวณพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา ที่มี สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษตั้งอยู่จะวัดค่า PM₁₀ ในหน่วย (µg/m³) และช่วงเวลาที่ยืนที่กัค่าระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ ถึง 30 เมษายน พ.ศ.2558

2) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Terra/Aqua – MODIS โดยใช้ข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance)จากผลิตภัณฑ์ MOD09 จะต้องผ่านกระบวนการแปลงค่าพิกัด (Co-ordinate transformation) ซึ่งเป็นกระบวนการ Transformation หรือการคำนวณและทดสอบเมตริกแปลง เป็นกระบวนการดึงภาพที่บิดเบือนให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริง โดยมีจุด GCP ที่เลือกไว้เป็นจุดตั้งตำแหน่งต่างๆ ในขั้นตอนนี้จะคำนวณค่าจากจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่กำหนดลงไปบนภาพ ผลการคำนวณจะระบุค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square : RMS) ของแต่ละจุดโดยมีหน่วยเป็นระยะทางระหว่างตำแหน่งของจุดควบคุมทางภาพพื้นดินและจุดควบคุมทางภาคพื้นดินที่คำนวณขึ้นใหม่ ค่าความคลาดเคลื่อนคำนวณดังสมการดังนี้

$$RMS \text{ แกนราบ } X = (\text{sum}(x_1 - x_{org})^2 / (n - k)) \dots(1)$$

$$RMS \text{ แกนตั้ง } Y = (\text{sum}(y_1 - y_{org})^2 / (n - k)) \dots(2)$$

- เมื่อ x_1 = ค่าพิกัดแนวราบที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้
- y_1 = ค่าพิกัดแนวตั้งที่คำนวณได้ในข้อมูลภาพที่ยังไม่ได้ปรับแก้
- x_{org} = ค่าพิกัดแนวราบของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ
- y_{org} = ค่าพิกัดแนวตั้งของจุดควบคุมทางภาคพื้นดินในภาพ
- n = จำนวนจุดควบคุมทางภาคพื้นดิน
- k = ค่า Degree of freedom หรือ จำนวนจุด GCP ที่ต้องใช้ ซึ่งขึ้นกับรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ในการแปลงพิกัด

ค่า RMS สามารถบอกได้ว่า จุดควบคุมภาคพื้นดินมีตำแหน่งพิกัดใกล้เคียงกับพิกัดอ้างอิงเพียงใด (มีหน่วยเป็นจุดภาพ) โดยทั่วไปค่า RMS ที่ยอมรับได้จะมีค่าบวกหรือลบไม่เกิน 1 จุดภาพ ถ้าค่า RMS มีค่าสูงแสดงว่า ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมีมาก ในการวิจัยนี้จะกำหนดค่า RMS ของภาพ

ที่จะนำมาใช้งานน้อยกว่า 0.001 ภาพเพื่อให้ได้ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศตรงกับจุดภาพภาพและไม่คลาดเคลื่อน

แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (Geographic Weighted Regression, GWR)

แบบจำลอง GWR เป็นแบบจำลองแบบ (Local Model) จะถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรเชิงพื้นที่ที่ใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นในการวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวแปรเชิงพื้นที่ที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยของ^{6,7} ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยที่จะส่งต่อการแพร่กระจายของฝุ่นในพื้นที่ระดับภูมิภาค คือค่าความสูงเชิงพื้นที่เฉลี่ยในหน่วยพื้นที่ย่อย กำหนดเป็นตัวแปรอิสระ x_1 จำนวนแปลงเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ x_2 และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นตัวแปรอิสระ x_3 โดยที่ y คือ ค่าความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่กระจายอยู่ในพื้นที่ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมา และมีรูปแบบของแบบจำลองGWR ตามสมการที่ (3)

$$y = b_0 + b_1(x) + e \tag{3}$$

y คือ ค่าความเข้มข้นของ PM₁₀ ของจุดภาพภาพ x เป็น ตัวแปรอิสระ b_0 และ β_1 ของค่าพารามิเตอร์ที่จะได้ผลลัพธ์ e เป็นค่าที่ผิดพลาดแบบสุ่มที่แบบจำลอง GWR จะมีความแตกต่างจากแบบจำลอง Ordinary Least Square (OLS)ซึ่งเป็นสถิติแบบ (Global Model)ในด้านการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของ b_0 และ b_1 โดยมีรูปแบบดังสมการที่ (4)

$$\beta(g) = (x^T w(g) x)^{-1} x^T w(g) y \tag{4}$$

$w(g)$ เป็นเมตริกซ์ของค่า PM₁₀ ที่จะถูกนำมาใช้คำนวณค่าน้ำหนักเชิงพื้นที่ที่สามารถกำหนดขนาดของหน้าต่าง (Bandwidth) ในการเลือกจุดตัวอย่างของ PM₁₀ ได้หลายวิธีการในรูปแบบต่างๆโดยการวิจัยนี้ใช้วิธีฟังก์ชัน Gaussian ดังแสดงในสมการ (5)

$$w_i(g) = \exp(-d_{ij} / h^2) \tag{5}$$

โดย d_{ij} เป็นระยะทางระหว่างจุดภาพจุดภาพของแผนที่ PM₁₀ ที่ j ใดๆ มายังจุดศูนย์กลางของหน้าต่าง (Bandwidth) ที่ i ใดๆ การที่แบบจำลองจะคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ได้มีความสอดคล้องกันของตัวแปรอิสระและตัวแปรตามจะต้องขึ้นกับการกำหนดหน่วยเชิงพื้นที่ย่อย (Spatial unit) ด้วย ในการวิจัยนี้จะใช้การแบ่งหน่วยพื้นที่ย่อยจากการแบ่งตามขนาดลุ่มน้ำย่อย (Sub basin) โดยใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิง

เลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาดจุดภาพ 50 เมตร แบบจำลอง GWR จะสร้างแบบจำลองให้กับทุกๆ หน่วยพื้นที่ย่อย ต่างจาก OLS ที่ได้เพียงสมการเดียวสำหรับประเมิน PM_{10}

ผลการวิจัยและอภิปราย

ความสัมพันธ์ระหว่างภาพถ่ายดาวเทียมกับปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศความสัมพันธ์เชิงเวลาและเชิงตำแหน่ง

ข้อมูลปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเป็นข้อมูลที่เก็บแบบต่อเนื่องและแสดงผลเป็นรายชั่วโมง ดังนั้น จึงต้องหาปริมาณ PM_{10} ณ ช่วงเวลาที่ถ่ายภาพของดาวเทียมของแต่ละวัน โดยสมการเชิงเส้นรูปแบบจุดสองจุด ทั้งนี้อนุมานว่าปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณ PM_{10} (เช่น ความเร็วลม, ทิศทางลม เป็นต้น) มีค่าคงที่ดังแสดงสมการคำนวณใน Figure 2

$$P - P_1 = \frac{(P_2 - P_1)}{(T_2 - T_1)} * (T - T_1) \tag{6}$$

เมื่อ $T_2 \neq T_1$ กราฟนี้จะเป็นเส้นตรงที่ลากผ่านจุด (T_1, P_1) และจุด (T_2, P_2) โดยมีความชันเท่ากับ $m = \frac{(P_2 - P_1)}{(T_2 - T_1)}$ รูปแบบจุดสองจุดสามารถแปลงให้เป็นรูปแบบจุดและความชันได้ โดยการคำนวณหาค่าที่เจาะจงของความชันมาแทนที่ตำแหน่งของ m

- โดยที่ T คือ เวลาถ่ายภาพของดาวเทียม
- T_1 คือ นาทีที่ 0
- T_2 คือ นาทีที่ 60
- P คือ ปริมาณ PM_{10} ณ เวลา T
- P_1 คือ ปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดในนาทีที่ 0
- P_2 คือ ปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัด ในนาทีที่ 60

การหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 3 สถานี และการสะท้อนที่ระดับพื้นผิว (Surface Reflectance) ทำโดยการเลือกค่าพิกเซลที่มีตำแหน่งพิกัดตรงกับที่ตั้งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ แต่ด้วยขนาดจุดภาพของภาพถ่ายดาวเทียมมีขนาด 500 เมตร ซึ่งใหญ่กว่าพื้นที่ตั้งของสถานีตรวจวัดทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนของการสร้างแบบจำลองได้ ในกรณีวิจัยนี้จึงได้ใช้วันที่ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจำนวนมากเพื่อเพิ่มความถี่ของข้อมูล PM_{10}

โดยใช้ตั้งแต่ 1 กุมภาพันธ์ 2558 ถึงวันที่ 30 เมษายน 2558 โดยข้อมูลค่า PM_{10} ของแต่ละสถานีตรวจวัดจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยทั้งวันตลอดเดือนและแบ่งเป็นชุดข้อมูลเชิงเวลา 3 ชุด ได้แก่ ชุดข้อมูลเฉลี่ยตัวอย่างที่ใช้สร้างแบบจำลอง และตัวแทนของวันที่จะนำค่า PM_{10} มาสร้างแบบจำลองจะทำการกรองภาพที่มีเมฆมาปลุกคลุมออก ส่วนของค่า PM_{10} ที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจะแสดงเป็นค่าหน่วย ($\mu g/m^3$) ที่แสดงค่าสูงสุดของ PM_{10} ของแต่ละเดือน ซึ่งค่าของ PM_{10} จะถูกประมาณค่าด้วยกราฟเส้นตรงสองจุดแล้วนำมาลากเส้นแบ่งกึ่งกลางจะเป็นค่าใหม่ของช่วงวันที่ต้องการค่า PM_{10} ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกนำมาใช้เป็นค่าตัวแทนของปริมาณ PM_{10} ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของแต่ละสถานีโดยเปลี่ยนแปลงไปตามวันและเวลาที่ได้บันทึกภาพถ่ายดาวเทียม

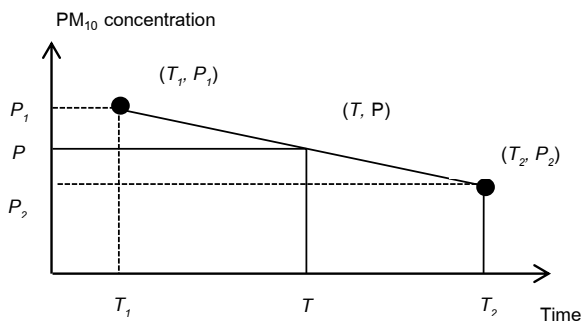


Figure 2 Relationship between time spot and concentration of PM_{10}

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า (Surface Reflectance, SR) จากภาพถ่ายดาวเทียมกับปริมาณ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

เมื่อได้ข้อมูลจากความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งระหว่างปริมาณความเข้มข้น PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและค่าสะท้อนแสงของช่วงคลื่นที่สะท้อน PM_{10} จากภาพถ่ายดาวเทียม ณ ตำแหน่งพิกัดสถานีแล้ว นำชุดข้อมูลทั้งสองมาหาความสัมพันธ์กันของชุดข้อมูลทั้งสองของแต่ละเดือน ด้วยสมการถดถอย 3 แบบ ได้แก่ แบบเส้นตรง (Linear models) แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential models) และการถดถอยแบบคิวบิก (Cubic Regression) ซึ่งมีรูปแบบสมการแบบเส้นตรง (Linear Regression) แบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential Regression) และแบบคิวบิก (Cubic Regression) และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม จากงานวิจัยของ⁷ สรุปว่าช่วงคลื่น (แบนด์) ที่เหมาะสมที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์กับอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน PM_{10} คือ แบนด์ 1 ถึง แบนด์ 4 และ

ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจวัดคุณภาพอากาศและการแพร่กระจายของฝุ่นคือช่วงฤดูแล้ง ซึ่งในพื้นที่ศึกษาจะใช้ข้อมูลของเดือนกุมภาพันธ์มีนาคม และเมษายน 2558 เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองถดถอย (Regression Model) 3 แบบทั้งนี้จะมีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความสัมพันธ์ระหว่างกันผลพบว่า แบนด์ 1, 2, 3, และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดเลย ช่วงเดือนกุมภาพันธ์เท่ากับ 0.31, 0.36, 0.64, และ 0.72 ตามลำดับ ค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดขอนแก่น ช่วงเดือนมีนาคมเท่ากับ 0.3, 0.31, 0.61, และ 0.74 ตามลำดับ และค่าสหสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของสถานีจังหวัดนครราชสีมา ช่วงเดือนเมษายนเท่ากับ 0.37, 0.39, 0.68, และ 0.76 ตามลำดับทำให้สังเคราะห์ได้ว่าแบนด์ 3 และ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} ของทุก ๆ สถานีทดสอบมากกว่าแบนด์ 1 และ 2 นอกจากนี้ยังทดสอบค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1, 2, 3, และ 4 เพื่อยืนยันว่าช่วงคลื่นที่เลือกมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสามารถสะท้อนค่า PM_{10} ได้อย่างแม่นยำ ผลสหสัมพันธ์พบว่า แบนด์ 1, 2 มีความสัมพันธ์กันในระดับไม่เกิน 0.4 ในทุก ๆ การทดสอบกับสถานีแต่ละจังหวัด ส่วนแบนด์ 3 และ 4 มีค่าสหสัมพันธ์มากกว่า 0.6 ในทุก ๆ การทดสอบ และสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 1 ถึงแบนด์ที่ 4 พบว่าแบนด์ 1 และ แบนด์ 2 มีค่าสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ 3 และ 4 ไม่เกิน 0.42 ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นใช้เฉพาะแบนด์ 3 และ 4 มาสร้างแบบจำลองเพื่อประมาณค่า PM_{10}

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า PM_{10} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน และค่าที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมจะใช้การสร้างแบบจำลองโดยวิเคราะห์ว่า ช่วงคลื่น (แบนด์) ไหนที่ให้ค่าความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} สูงที่สุด และสมการไหนให้ค่าความสัมพันธ์สูงที่สุดโดยการวิเคราะห์ทั้งสองรูปแบบจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R^2 มาช่วยพิจารณา พบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ($R^2=0.665$) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์ 3, 2, และ 1 ($R^2=0.528, 0.461, \text{ และ } 0.442$) ตามลำดับ แบบจำลองทำนาย PM_{10} ช่วงเวลาเดือนมีนาคมพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ($R^2 = 0.642$) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์ 3, 2, และ 1 ($R^2 = 0.501, 0.411, \text{ และ } 0.402$) ตามลำดับและแบบจำลองทำนาย PM_{10} ช่วงเวลาเดือนเมษายนพบว่า ความสัมพันธ์ในรูปแบบเชิงเส้นของแบนด์ 4 มีค่า ($R^2=0.679$) สูงที่สุดรองลงมาคือแบนด์ 3, 2, และ 1 ($R^2=0.567, 0.451, \text{ และ } 0.426$) ตามลำดับ และความสัมพันธ์รองลงมาของแบบจำลองทั้งสามเดือนคือแบบจำลองแบบ Exponential และ Cubic และสมการช่วงเดือนกุมภาพันธ์ มีนาคมและเมษายนแสดงทั้งหมด

ดังสมการที่ (7), (8), และ (9) และสมการรูปแบบอื่นๆจะแสดงในตารางที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ

$$PM_{10} = -312.5 + 495.162(b_4) \quad (7)$$

$$PM_{10} = 49.027 + 2150.975(b_4) \quad (8)$$

$$PM_{10} = 111.905 + 494.669(b_4) \quad (9)$$

การหาความสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ที่สามารถตรวจวัดค่า PM_{10} ได้ดีคือแบนด์ 4, 3, 2, และ 1 ตามลำดับจากการหาความสัมพันธ์กันของค่าฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) จากข้อมูลสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดิน กับค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่นของชุดข้อมูล PM_{10} ของแต่ละเดือนจะเห็นว่าแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือแบนด์ที่ให้ค่า R^2 สูงที่สุดคือแบนด์ 4, 3, 2, และ 1 ตามลำดับ และแบบจำลองให้ค่า R^2 คือแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุแบบจำลองถดถอยแบบ Exponential และ แบบจำลองถดถอยแบบ Cubic (Regression Analysis) แต่การที่จะวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะนำไปประมาณค่า PM_{10} ในช่วงฤดูแล้งซึ่งมีการเผาเพื่อเตรียมดินเพื่อทำการเกษตรในช่วงรอเข้าสู่ฤดูฝนจำเป็นจะต้องนำข้อมูลของค่า PM_{10} ในช่วงที่มีการเผาแปลงเกษตรเข้ามาใช้สร้างแบบจำลองอีกครั้งเพื่อที่จะทำให้แบบจำลองสามารถประมาณค่า PM_{10} ได้ตรงช่วงเวลา ทำให้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดเพียงแบบจำลองเดียวเพื่อเป็นตัวแทนในการประมาณค่าปริมาณ PM_{10} จากภาพถ่ายดาวเทียม

การวิเคราะห์แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ประมาณค่า PM_{10}

แบบจำลองถดถอยเชิงเส้นแบบพหุจะถูกเสนอเป็นแบบจำลองสำหรับใช้ประมาณค่า PM_{10} โดยใช้ชุดข้อมูลทั้ง 3 เดือน (กุมภาพันธ์-เมษายน 2558) รวมเป็นชุดเดียวกันซึ่งข้อมูล PM_{10} ที่วัดจากการประมาณค่าจากสถานีตรวจวัดและค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียมผลของแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ของแบนด์ 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า R^2 สูงที่สุดที่ 0.742 รองลงมาคือแบนด์ 2, 3 และ แบนด์ 4 ให้ค่า R^2 สูงที่สุดที่ 0.581 และค่า R^2 และแบบจำลองของแบนด์อื่นๆ แสดงดังตารางที่ 4 ที่ทำให้วิเคราะห์ได้ว่าแบนด์ 3 และแบนด์ 4 มีความสัมพันธ์กับค่า PM_{10} มากกว่าแบนด์อื่นๆ แต่ทั้งนี้การสรุปความแม่นยำจากการดูค่า R^2 อย่างเดียวอาจจะไม่สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า PM_{10} ในช่วงฤดูการเผาในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากว่าแบบจำลองอื่นๆที่มีการนำแบนด์ 1 และ

แบนด์ 2 เข้ามาใช้สร้างแบบจำลองยังให้ค่า R^2 ที่อยู่ในช่วง 0.3-0.5 ซึ่งก็ใช้ในการประมาณค่า PM_{10} ได้ในระดับหนึ่ง แต่ทั้งนี้ถ้าหากจะใช้ทุกๆ แบนด์เพื่อนำมาเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองจะทำให้เกิดความซ้ำซ้อนกันของข้อมูลและไม่ได้ช่วยเพิ่มความแม่นยำให้กับแบบจำลองอีกทั้งยังต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากขึ้นด้วย ดังนั้นทุกๆ แบบจำลองจะต้องนำมาหาค่าความแม่นยำอีกครั้งด้วยค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) พบว่ามีค่า 10.28, 15.64, 18.21 ของการทดสอบกับค่า PM_{10} ที่วัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศจังหวัดเลย ขอนแก่น และนครราชสีมา ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้เพราะมีความผิดพลาดไม่เกินค่า $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ การวิจัยนี้เลือกใช้วิธีนี้เพราะว่าง่ายต่อการวัดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลแบบสองจุด โดยในการวิจัยนี้ได้แบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับประมาณค่า PM_{10} แสดงดังสมการที่ (10) คือ ซึ่งค่า PM_{10} นี้จะถูกนำไปเป็นตัวแปรตาม Y ในแบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์ (GWR) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การแพร่กระจายของฝุ่นได้รวมทั้งสามารถนำไปวิเคราะห์แนวโน้มของการเกิดฝุ่นในพื้นที่ได้

$$PM_{10} = 26.961(b_3) + 480.212(b_4) + 85.836 \quad (10)$$

การวิเคราะห์การกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ด้วยแบบจำลอง GWR

แผนที่ราสเตอร์การกระจายของ PM_{10} จากแบบจำลองสมการที่ (10) และนำเข้าตัวแปรอิสระคือค่าความสูงเชิงพื้นที่เฉลี่ยในหน่วยพื้นที่ย่อยกำหนดเป็นตัวแปรอิสระ x_1 จำนวนแปลงเกษตรต่อหน่วยพื้นที่ย่อยเป็นตัวแปรอิสระ x_2 และขนาดพื้นที่เกษตรเป็นพื้นที่เป็นตัวแปรอิสระ x_3 ผลของการสร้างแบบจำลอง GWR ของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ขอนแก่น และเลย แสดงดังสมการที่ (11), (12), และ (13) ตามลำดับ

$$PM_{10} = 2.45.1 + 1.4(x_1) + 12.34(x_2) + 25.1(x_3) \quad (11)$$

$$PM_{10} = 2.31.1 - 4.2(x_1) + 6.24(x_2) + 9.6(x_3) \quad (12)$$

$$PM_{10} = 1.27.1 + 6.9(x_1) + 7.28(x_2) + 15.2(x_3) \quad (13)$$

สำหรับการประมาณค่า PM_{10} ทั้งพื้นที่ค่าของ PM_{10} จะถูกปรับให้เป็นมาตรฐานหน่วยเดียวกันอยู่ในรูปของค่าคะแนน 0-1 เพื่อการนำไปแปลตีความถึงความเสี่ยงเชิงพื้นที่ได้ง่ายขึ้นโดยกำหนดช่วงตั้งนี้คือค่า PM_{10} ($0-90 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0-0.2 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ต่ำมากและแสดงด้วยสีเขียวเข้ม ค่า PM_{10} ($90.01-100 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

ถูกปรับให้มีค่า 0.201-0.4 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ต่ำและแสดงด้วยสีเขียวอ่อน ค่า PM_{10} ($100.01-110 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0.401-0.6 แสดงระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ปานกลางและแสดงด้วยสีเหลืองค่า PM_{10} ($110.01-120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ถูกปรับให้มีค่า 0.601-0.8 แผนที่ค่าความเข้มข้น PM_{10} จะแสดงดังรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 คือแผนที่การกระจายตัวของความเข้มข้นเฉลี่ยของค่า PM_{10} ที่สร้างจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แสดงผลเป็นแผนที่ค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 วันที่บันทึกในช่วงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2558 ถึงวันที่ 31 เมษายน 2558 ช่วงเดือนต้นเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากในพื้นที่รอยต่อของตอนล่างจังหวัดเลยและเขตตอนบนของจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังหวัดนครราชสีมาจะอยู่แถบบริเวณทั้งตอนล่างและตอนบนของจังหวัด ช่วงกลางเดือนกุมภาพันธ์ค่าความเข้มข้นจะมีค่าสูงมากจะกระจายอยู่ทั่วไปของจังหวัดเลยและจังหวัดขอนแก่น ส่วนจังหวัดนครราชสีมาจะมีค่าส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ การกระจายตัวของอนุภาค PM_{10} แบบจำลองวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดและแพร่มลพิษของแต่ละจังหวัดจะมีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกันเพราะเป็นแบบจำลองที่มีการคำนวณค่าน้ำหนักของตัวแปรอิสระแบบ local operation ผลการแพร่กระจายของ PM_{10} ที่สัมพันธ์กับตัวแปรเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา มีทั้งขนาดพื้นที่เกษตรและจำนวนแปลงเกษตรแต่ปลูกในพื้นที่ไม่สูงมากนักเป็นตัวแปรที่ทำให้เกิดแหล่งที่มาและการกักขังมลพิษเพราะการที่มีแปลงเกษตรขนาดใหญ่และอยู่ใกล้เคียงกันจะทำให้แหล่งมลพิษเป็นแหล่งกำเนิดแบบ (Area source) ทำให้มีการแพร่ที่ต่อเนื่องและกระจายไปได้ไกล ส่วนพื้นที่จังหวัดขอนแก่นพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ที่มีการเผาจะเป็นที่นาเนื่องจากว่าเป็นพื้นที่ราบและการเกษตรส่วนใหญ่จะเป็นการทำนาและอ้อยเป็นหลักในตอนบนของจังหวัดพื้นที่ที่มีค่า PM_{10} เกินค่ามาตรฐานที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนใหญ่จะอยู่ในพื้นที่การเกษตร นอกจากนี้ยังมีลักษณะของภูมิประเทศเป็นแอ่งภูเขาล้อมรอบโดยเฉพะจังหวัดเลย ทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาแพร่กระจายออกไปได้ช้า แนวทางในการลดฝุ่นยังต้องใช้การชะล้างของน้ำฝนถึงจะช่วยลดความเข้มข้นได้

การทดสอบความแม่นยำของค่า PM_{10} เชิงเวลา

การนำแบบจำลองไปใช้งานจะต้องทำการทดสอบว่าสามารถนำไปคาดการณ์ฝุ่น PM_{10} ได้ดีในระดับที่พอยอมรับได้ในการทดสอบนี้ผู้วิจัยได้ทำการนำแบบจำลองสมการที่ (10) มาใช้เป็นต้นและใช้ข้อมูลค่าการสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD09 แบนด์ 3 และ 4 ของช่วงเวลาเดือน มกราคม, พฤษภาคม และมิถุนายน ปี

2558 มาเป็นตัวอย่างการทดสอบกับค่า PM₁₀ ที่วัดได้จริงจาก สถานีวัดของ 3 จังหวัด และใช้ค่า RMSE มาเป็นดัชนีวัดถึงความคลาดเคลื่อนของแบบจำลอง ผลการทดสอบพบว่าค่า RMSE ของเดือน มกราคมมีค่า (17.89, 22.24, 19.43) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับ ค่า RMSE ของเดือน เมษายนมีค่า (18.72, 19.65, 20.46) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับและค่า RMSE ของเดือน เมษายนมีค่า (24.14, 22.62, 21.58) ของจังหวัดเลย ขอนแก่นและนครราชสีมาตามลำดับซึ่งจะเห็นว่าการทดสอบที่มีค่า RMSE น้อยๆ แสดงถึงแบบจำลองสามารถทำนายค่า

PM 10 ได้ดีเช่นในช่วงเดือนมกราคมเนื่องจากว่าเริ่มมีการเผาแปลงเกษตร เช่น อ้อย ข้าวโพดและแปลงนาข้าว เพื่อเตรียมพื้นที่ทำให้เกิดมีฝุ่นที่เกิดจากการเผาเยอะกว่าช่วงเดือนอื่นๆ ทำให้การค่าสะท้อนพื้นผิว (Surface Reflectance) สามารถสะท้อนค่าอนุภาคฝุ่นได้สูงกว่าช่วงเดือนอื่นๆ เพราะว่าความเข้มข้นฝุ่นสูง ส่วนเดือนเมษายนและพฤษภาคมจะมีค่า RMSE ที่สูงขึ้นกล่าวคือต้นเหตุของการเกิดอนุภาคฝุ่นมีน้อยลงเพราะมีการปลูกพืชเกษตร และอาจจะมีพายุฤดูร้อนทำให้เกิดฝนตกลงมาช่วยดูดซับอนุภาคฝุ่น ทำให้ความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นเบาบางลงไป

Table 1 Prediction Model for PM₁₀ on March

wavelength	regression equation	R ²	equation
b ₁	linear	0.402	PM ₁₀ = 0.718 + 1295.588(b ₁)
	cubic	0.248	PM ₁₀ = 101.012 - 9151.956(b ₁) ² + 119667.027(b ₁) ³
	exponential	0.314	PM ₁₀ = 46.201(e) ^{9.444(b₁)}
b ₂	linear	0.411	PM ₁₀ = -221.094 + 1615.293(b ₂)
	cubic	0.226	PM ₁₀ = -372.471 + 2668.632(b ₂) ² - 7247.77(b ₂) ³
	exponential	0.402	PM ₁₀ = 8.011(e) ^{12.431(b₂)}
b ₃	linear	0.501	PM ₁₀ = -4.2 + 2628.903(b ₃)
	cubic	0.426	PM ₁₀ = 89.724 - 20383.783(b ₃) ² + 690714.352(b ₃) ³
	exponential	0.258	PM ₁₀ = 44.457(e) ^{19.222(b₃)}
b ₄	linear	0.642	PM ₁₀ = -49.027 + 2150.975(b ₄)
	cubic	0.416	PM ₁₀ = 132.587 - 1461.105(b ₄) ² + 202200.892(b ₄) ³
	exponential	0.571	PM ₁₀ = 31.457(e) ^{15.97(b₄)}

Table 2 Prediction Model for PM₁₀ on April

wavelength	regression equation	R ²	equation
b ₁	linear	0.426	PM ₁₀ = 127.564 + 255.612(b ₁)
	cubic	0.236	PM ₁₀ = -2892.6 + 56226.975(b ₁) ² - 2796000(b ₁) ³
	exponential	0.328	PM ₁₀ = 150.984(e) ^{-0.605(b₁)}
b ₂	linear	0.451	PM ₁₀ = 65.317 + 420.86(b ₂)
	cubic	0.279	PM ₁₀ = -2857.939 + 22655.95(b ₂) ² - 188370.039(b ₂) ³
	exponential	0.402	PM ₁₀ = 76.019(e) ^{3.211(b₂)}
b ₃	linear	0.567	PM ₁₀ = 121.329 + 644.439(b ₃)
	cubic	0.428	PM ₁₀ = -2922.224 + 110393.619(b ₃) ² - 20760000(b ₃) ³
	exponential	0.242	PM ₁₀ = 145.998(e) ^{-0.387(b₃)}
b ₄	linear	0.679	PM ₁₀ = 111.905 + 494.669(b ₄)
	cubic	0.428	PM ₁₀ = -2538.997 + 73708.125(b ₄) ² - 502920.809(b ₄) ³
	exponential	0.621	PM ₁₀ = 139.36(e) ^{0.404(b₄)}

Table 3 PM₁₀ Prediction Model using reflectance data derive from AQMS 3 station (February-April 2015)

wavelength	R ²	equation
1,2	0.321	PM ₁₀ = 236.264(b ₁)+418.029(b ₂)+46.339
1,3	0.426	PM ₁₀ = -201682.919(b ₁)+396895.204(b ₃)-31.346
1,4	0.512	PM ₁₀ = -230.731(b ₁)+739.141(b ₄)+112.801
2,3	0.432	PM ₁₀ = 417.447(b ₂)+609.575(b ₃)+40.1
2,4	0.512	PM ₁₀ = 396.572(b ₂)+282.872(b ₄)+49.087
3,4	0.742	PM ₁₀ = 26.961(b ₃)+480.212(b ₄)+85.836
1,2,3	0.355	PM ₁₀ = -208256.453(b ₁)+621.801(b ₂)+409758.435(b ₃)-157.315
1,2,4	0.495	PM ₁₀ = 184.216(b ₁)+411.824(b ₂)+79.54(b ₄)+45.956
1,3,4	0.425	PM ₁₀ = -259562.455(b ₁)+503502.206(b ₃)+5529.567(b ₄)-184.475
2,3,4	0.581	PM ₁₀ = 433.401(b ₂)+868.909(b ₃)-202.72(b ₄)+41.003

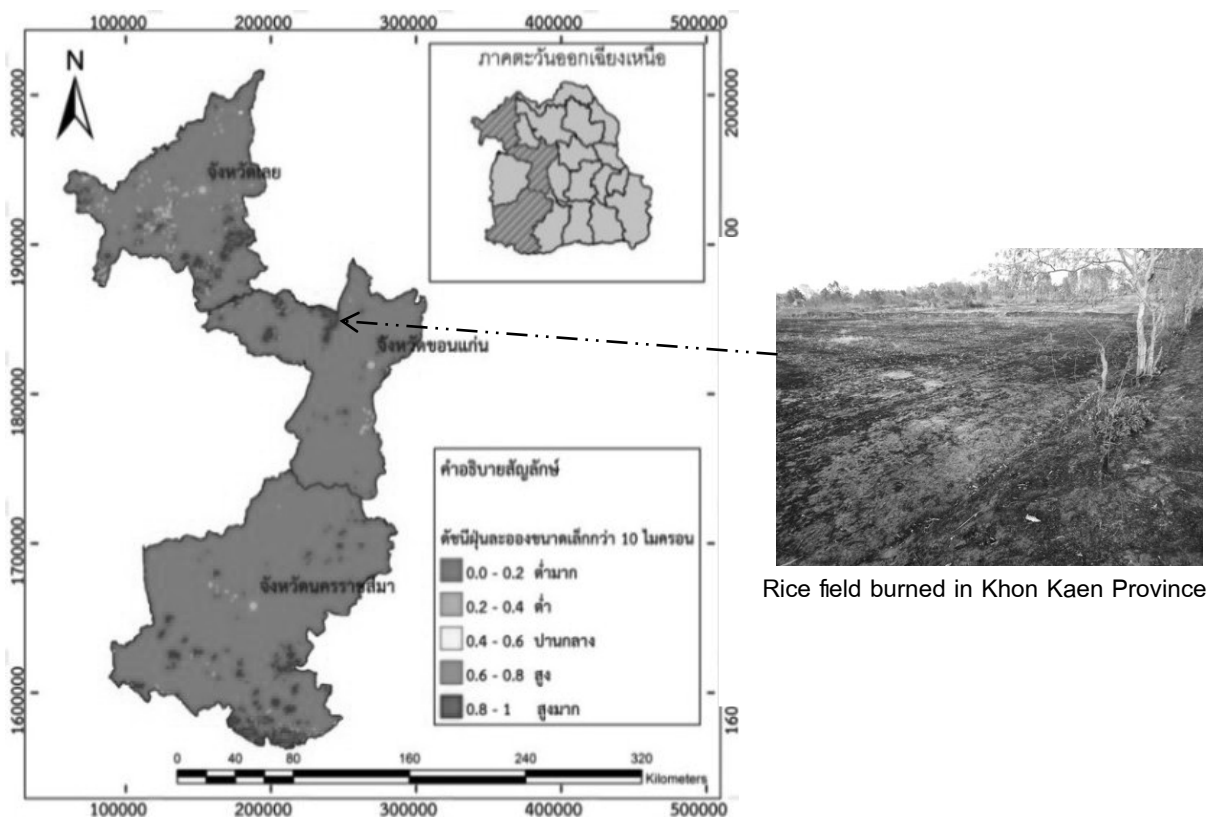


Figure 3 PM₁₀ dispersion map on February

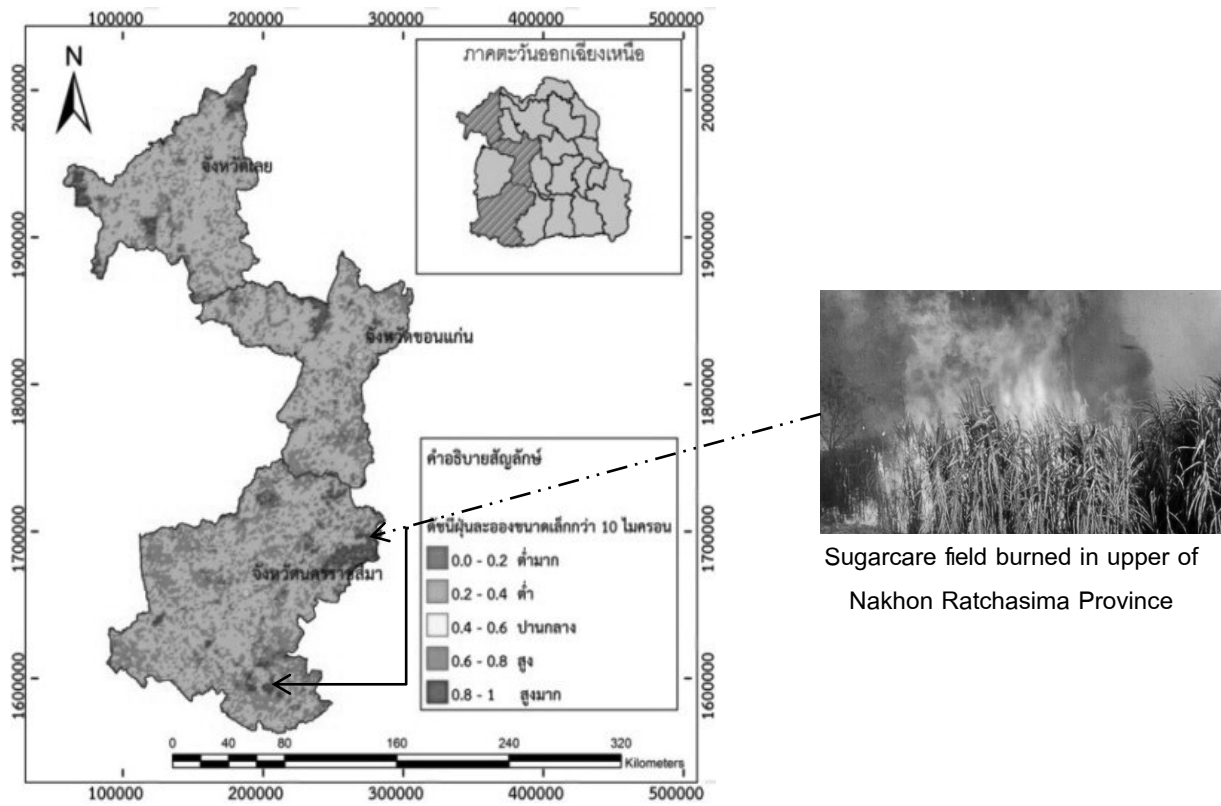


Figure 4 PM₁₀ dispersion map on March

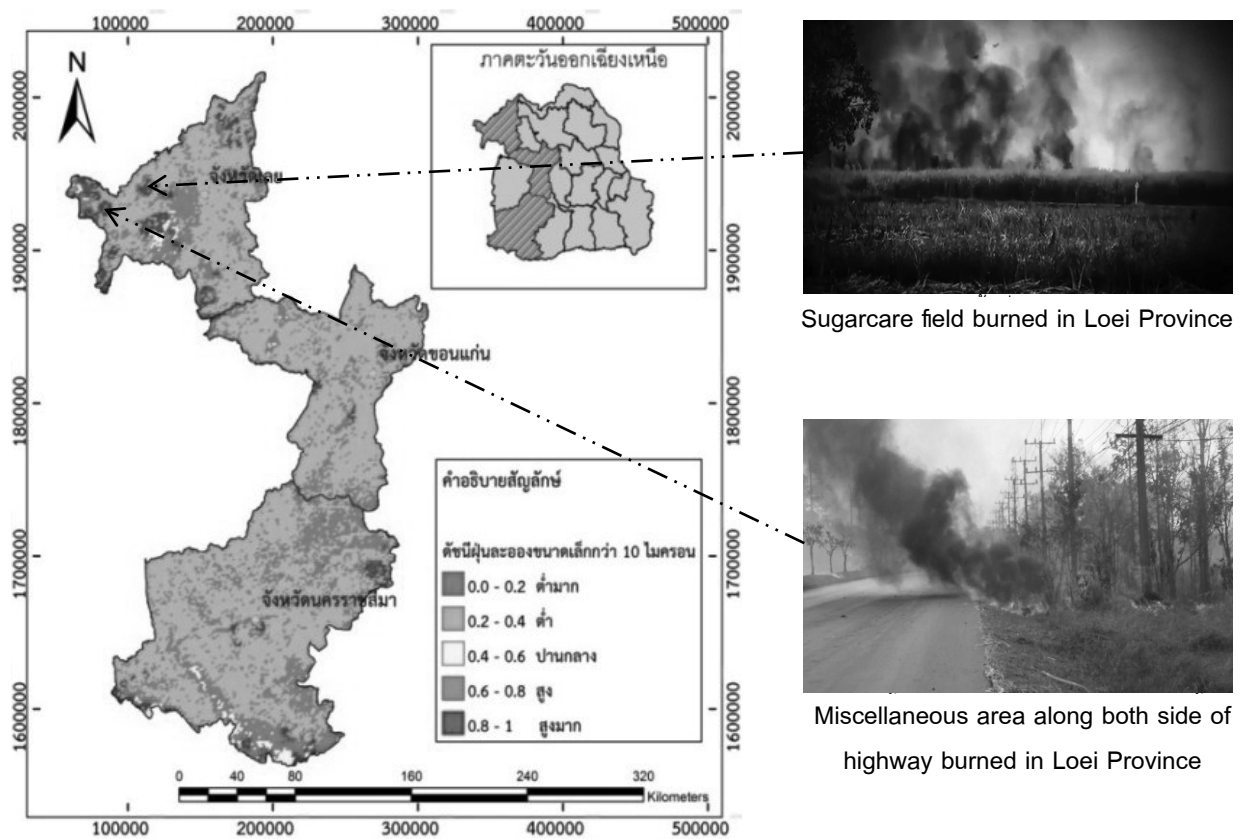


Figure 5 PM₁₀ dispersion map on April

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยในครั้งนี้ ได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษา อันได้แก่ การสามารถใช้ภาพถ่ายดาวเทียมตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และการเปรียบเทียบแบบจำลองที่มีความเหมาะสมต่อการตรวจหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง และจัดทำแผนที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้ โดยการนำค่าสะท้อนพื้นผิว ชุดผลิตภัณฑ์ MOD09 ของดาวเทียม Terra/Aqua – MODIS คำนวณด้วยสมการถดถอย ซึ่งข้อมูลค่าสะท้อนพื้นผิวมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับบรรยากาศ เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่แสดงข้อมูลละอองลอยในอากาศ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ ละอองลอยเหล่านั้นมีตั้งแต่ขนาดละเอียด (มลพิษในอากาศ) ไปจนถึงขนาดหยาบ ครอบคลุมพื้นที่ได้ในบริเวณกว้าง และดาวเทียมโคจรผ่านประเทศไทยในทุกๆ วันนอกการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้แบบจำลองถดถอยแบบถ่วงน้ำหนักภูมิศาสตร์มาใช้วิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งต่อการเกิดและกักขังมลพิษแบบ PM_{10} แบบจำลองสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตัวแปรอิสระที่แตกต่างกันในเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าแบบจำลองแบบอื่นที่เคยมีมาเนื่องจากเป็นแบบจำลองแบบ (Local operation) ทำให้สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ให้มีความยืดหยุ่นกว่าแบบจำลอง (Global operation) เนื่องจากมีการเลือกเฉพาะกลุ่มตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงแล้วนำมาสร้างแบบจำลองทำให้แบบจำลอง GWR มีความเหมาะสม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระในพื้นที่ๆ มีความแตกต่างกันที่แปรผันตามระยะทางได้ดีกว่าแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นทั่วไป แต่สำหรับในการวิจัยครั้งต่อไปเนื่องจากว่าบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีข้อมูลพื้นดินจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศข้อมูลน้อยและไม่กระจายตัวทั้งพื้นที่ศึกษาเมื่อเทียบกับข้อมูลของการศึกษาที่ภูมิภาคอื่น ๆ ดังนั้นการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมระบบเซนเซอร์ MODIS ในการประเมินความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} ในการวิจัยนี้พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการหาความสัมพันธ์เพื่อประเมินความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} จากข้อมูลดาวเทียมกับข้อมูลที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่

1) การเก็บข้อมูลของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ จะมีการรายงานผลแบบรายชั่วโมง แต่ในขณะที่ดาวเทียมทำการถ่ายภาพ อาจมีปัจจัยอื่นๆ เกิดขึ้น เช่น ลม ทำให้ค่าการสะท้อนที่ได้จากดาวเทียม และค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กัน

น้อย ดังนั้นค่าที่ได้ จึงไม่ใช่ค่าที่มีความถูกต้องที่สุด

2) เนื่องจากจำนวนสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีน้อย จึงทำให้จำนวนข้อมูลในการหาความสัมพันธ์กับค่าสะท้อนจากดาวเทียมมีน้อย และทำให้ค่าความสัมพันธ์ที่คำนวณได้ มีความคลาดเคลื่อน ทั้งนี้ ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นการประเมินความเข้มข้นของปริมาณ PM_{10} อย่างหยาบเท่านั้น

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ และสามารถเอาผลการวิจัยไปต่อยอดในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ๆ เกี่ยวข้องกับการกับทำแผนที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กในอนาคตได้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากคณะวิทยาการสารสนเทศ ประจำปีงบประมาณ 2558 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพฯ. 2546.
2. จิระปริงเขียวและคณะ. “การประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพื้นที่ไฟป่ากับการเกิดมลภาวะทางอากาศในพื้นที่แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน.” [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.soc.cmu.ac.th/wites/socresearch/51-3.pdf>. (20 กันยายน 2553). 2552.
3. วิวราชพรแก้ว. ไฟป่าแบบใกล้เวลาจริงสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วยภาพถ่าย MODIS สถานีรับภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ Terra/Aqua MODIS และ NOAA AVHRR. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัย Geoinformatics Center (GIC). สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. 2551.
4. Ahmad, A. and Hashim, M. “DETERMINATION OF HAZE USING NOAA-14 AVHRR SATELLITE DATA.” Image Processing and Application Division Malaysian Centre for Remote Sensing (MACRES). [Online]. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2002/czm/050.pdf>. 2002.
5. Grosso, N. and et al. “Improvement in particles (PM_{10}) urban air quality mapping interpolation using remote sensing data.” [Online]. <http://air.dcea.fct.unl>.

pt/projects/aircast/ %5Cdocs%5Carticle_itm2006.pdf.
2001.

6. Lim, H. S. and et al. "Correlation between satellite observation and PM10 concentration." [Online]. http://www.gisdevelopment.net/technology/rs/mm001_2.htm. 2006.
7. Péré, J.C. and et al. "Mapping of PM10 surface concentrations derived from satellite observations of aerosol optical thickness over South–Eastern France." [Online]. <http://www.sciencedirect.com>. 2007.
8. Phonekeo, V. "Application of Aerosol Optical Thickness Product (MOD04) to Air Quality Monitoring in Thailand : A Case Study of Bangkok Metropolitan". Geoinformatics Center. Asian Institute of Technology (AIT). 2009.

การใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน

The usage of rice straw in Interlocking block

ปิยะพล สีหาบุตร¹, เพ็ญชาย เวียงไต้², ภาคพล ช่างยันต์³, เจษฎ์ศิริ เกื่อนมูลละ⁴

Piyaphol Srihabutra¹, Penchai Weingtai², Pakapol Changyant³, Jetsiri Thuanmunla⁴

Received: 14 July 2016 ; Accepted: 19 December 2016

บทคัดย่อ

ความมุ่งหมายของงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาการใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน โดยการนำฟางข้าวมาบดทำการคัดขนาด และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จากนั้นนำไปแทนที่ดินเหนียวในอัตราส่วนร้อยละ 0,5,10,15 และ 20 โดยปริมาตร ทำการทดสอบ คุณสมบัติการรับกำลังอัด ความหนาแน่น และ อัตราการดูดซึมน้ำ ที่อายุ 7 และ 28 วัน

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ฟางข้าวแทนที่ดินในอัตราส่วนผสมต่างๆ ส่งผลให้กำลังอัดอิฐบล็อกประสานลดลง โดย ปริมาณการแทนที่ดินของฟางข้าวที่เหมาะสม สำหรับการผลิตอิฐบล็อกประสานในงานวิจัยครั้งนี้ คือ ร้อยละ 5,10 และร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 45,34 และ 30 กก./ตร.ซม. คิดเป็นร้อยละ 86, 65 และ 57 ของบล็อก ประสานควบคุม ตามลำดับ ซึ่งผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547 เป็นบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก นอกจากนี้ ยังพบว่าความหนาแน่น มีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ ในขณะที่ร้อยละการดูดซึมน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้นและสูงกว่าอิฐบล็อกประสาน ควบคุม

คำสำคัญ: อิฐบล็อกประสาน กำลังอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ

Abstract

The objective of this research was to study the usage of rice straw in Interlocking block. The straw was ground through No. 4 sieve size and then used to replace the clay in 0, 5, 10, 15 and 20 percent by volume in order to test the compressive strength, density and water absorption at age 7 and 28 days.

The results showed that the use of rice straw to replace the clay in various ratios led to the decrease of compressive strength and density of interlocking blocks. The optimal volume of rice straw to replace clay in this research was 5, 10 and 15 percent by volume which had a compressive strength at 28 days that was 45, 34 and 30 ksc. or 86, 65 and 57 percent of interlocking block control, respectively. When the values were compared with the community product standard 602/2547, these interlocking blocks were classified as non-load bearing type. In addition, it was found that the density was decreased when increasing the amount of rice straw while the percentage of water absorption was increased higher than that of interlocking block control.

Keywords: Interlocking block, Compressive strength, Density, Water absorption

บทนำ

อิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุที่ได้นำมาพัฒนาในรูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้างอาคารและ บ้านพักอาศัย มีความความสวยงามตามธรรมชาติโดยไม่ต้อง

ทาสี ดังแสดงใน Figure 1 นอกจากนี้ยังก่อสร้างได้อย่าง รวดเร็วเนื่องจากไม่ต้องฉาบปูน และยังมีราคาต่ำกว่าการก่อ อิฐฉาบปูนทั่วไป โดยวิธีการผลิตอิฐประสานนิยมใช้อัตราส่วน ผสมที่ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินเหนียว และน้ำ ซึ่งอิฐบล็อก

^{1,2,3,4} อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44000

^{1,2,3,4} Lecturer, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham, 44000, Thailand.

* Corresponding author; Piyaphol Srihabutra, Faculty of Engineering, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham 44000, Thailand.

E-mail: Piyapholgl@gmail.com

ประสานสามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่ซับซ้อน สามารถทำเองได้ในชุมชน และยังพบว่าสามารถใช้วัสดุอื่นๆที่หาได้ง่ายในชุมชนและท้องถิ่น นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐประสานเพื่อปรับปรุงคุณภาพและเพิ่มความหลากหลายในการผลิตอิฐประสานได้อีกด้วย¹

ข้าว เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่ในประเทศไทยสามารถผลิตได้ทุกภาคในปริมาณมากและยังเป็นสินค้าส่งออกอันดับต้นของโลก เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณร้อยละ 60 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ โดยสามารถผลิตข้าวได้ปริมาณ 25.9 ล้านตันต่อปี ทำให้มีฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรประมาณ 3 เท่าของผลผลิต คิดเป็นปริมาณฟางข้าว 87.57 ล้านตัน นอกจากนี้ยังพบว่า มีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์หลายอย่าง เช่น เป็นอาหารสัตว์ คลุมดิน เพาะเห็ดฟาง ทำโครงพวงหรือดอกไม้ใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ และพลังงานทดแทน เป็นต้น แต่ยังมีฟางข้าวอีกมากที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ คาดว่าประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนที่เหลือถูกเผาทิ้ง บางพื้นที่ไม่มีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์และกำจัดโดยการเผาทิ้งทั้งหมด เหตุผลหลักที่เกษตรกรเลือกใช้วิธีการกำจัดฟางข้าวโดยวิธีการเผาเนื่องจากไม่มีทุนเพิ่มในการใช้วิธีการกำจัดฟางข้าวที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งการเผาฟางข้าวเป็นการสร้างก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศของโลก สร้างมลพิษทางอากาศนำไปสู่ภาวะโลกร้อน พื้นที่ป่าเสื่อมโทรม สูญเสียอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารในดิน ทำลายโครงสร้างดินที่เหมาะสมและทำลายห่วงโซ่อาหาร การเผาฟางข้าวทำให้พื้นที่เกษตรสูญเสียไนโตรเจน 6-9 กิโลกรัมต่อไร่ ฟอสฟอรัส 0.8 ต่อไร่ และโพแทสเซียม 15.6 ต่อไร่ โครงสร้างดินถูกทำลาย ดินเก็บน้ำได้น้อยนำมาสู่การแพร่ระบาดของโรคพืช²

โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาอิฐบล็อกประสานด้วยการนำวัสดุต่างๆ มาเป็นส่วนประกอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพและใช้วัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ซึ่งพบว่านอกจากจะเพิ่มความหลากหลายในการผลิตอิฐบล็อกประสานแล้ววัสดุบางชนิดยังสามารถปรับปรุงคุณภาพของอิฐบล็อกประสานได้อีกด้วย^{3,4} ด้วยเหตุและปัจจัยดังกล่าวข้างต้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการเอาวัสดุท้องถิ่น เช่น ฟางข้าวมาเป็นส่วนประกอบในการผลิตอิฐบล็อกประสานเพื่อเพิ่มปริมาณการใช้ประโยชน์จากฟางข้าว ลดการกำจัดฟางข้าวด้วยวิธีการเผาทำลาย ลดการเพิ่มมลพิษ และเพิ่มความหลากหลายในการผลิตอิฐบล็อกประสาน

จุดประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน
2. เพื่อให้ทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสานโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547



Figure 1 Interlocking block.

การเตรียมวัสดุและวิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย มอก.15-2547
2. ทราย ใช้ทรายแม่น้ำชี อ.เมืองมหาสารคาม จ.มหาสารคาม นำมาผึ่งแดดเพื่อลดความชื้น และร่อนให้ทรายละเอียดเพื่อใช้เป็นมวลรวมละเอียด
3. น้ำ ใช้น้ำประปาสะอาด ไม่มีสารแขวนลอย และสารแปลกปลอมเจือปนอื่นอยู่
4. ฟางข้าว ใช้ฟางข้าว อ.เมืองมหาสารคาม จ.มหาสารคาม นำมาผึ่งแดด ลดความชื้น จากนั้นนำไปเข้าเครื่องบั่นให้ละเอียด จากนั้นนำมาทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังแสดงใน Figure 2
5. ดิน ใช้ดินเหนียวจาก จังหวัด มหาสารคาม นำไปทำการบดให้ละเอียดโดยใช้เครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังแสดงใน Figure 3)

ออกแบบอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง

ส่วนผสมของอิฐบล็อกประสานในงานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อมวลรวมเท่ากับ 1 ต่อ 6 และแทนที่ดินด้วยฟางข้าวบดในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15, และ 20 โดยปริมาตร ดังแสดงใน Table 1



Figure 2 Rice straw No. 4 sieve size.

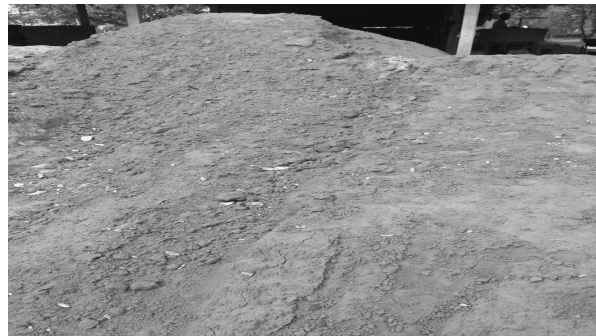


Figure 3 Clay of Interlocking block.

Table 1 Mix proportions of Interlocking block.

MIXTURE	OPC	Clay	Rice Straw	Sand	Cement/Aggregate
	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)	ratio
BC	0.70	3.20	0.000	1	1 : 6
RS 5	0.70	3.15	0.0005	1	1 : 6
RS 10	0.70	3.10	0.0010	1	1 : 6
RS 15	0.70	3.05	0.0015	1	1 : 6
RS 20	0.70	3.00	0.0020	1	1 : 6

BC= Interlocking block Control, OPC= Ordinary Portland Cement, RS = Rice Straw

ขั้นตอนการทดสอบ

เมื่อเตรียมวัสดุเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการผสมตามส่วนผสมอิฐบล็อกประสาน เมื่อส่วนผสมเสร็จนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดบล็อกประสานแบบมือโยกด้วยแรงคนเมื่อตั้งแสดงใน (Figure 4) นำก้อนตัวอย่างออกมาผึ่ง ครอบ 24 ชั่วโมง และนำไปทดสอบต่อไป ซึ่งการทดสอบวัสดุและก้อนตัวอย่างอิฐบล็อกประสานทำการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ ได้แก่ ขนาดอนุภาคและการกระจายของดิน (Laser Diffraction Particle Size Analyzer) องค์ประกอบทางเคมีของดิน (X-Ray Fluorescence Spectrometer) ภาพถ่ายกำลังสูง (SEM) ของดิน ฟางข้าว และอิฐบล็อกประสาน

2. การทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน (Compressive resistance) ASTM C773-88 ของบล็อกประสาน ที่อายุ 7 และ 28 วัน

3. การทดสอบความหนาแน่น (Density) คำนวณหาค่าความหนาแน่นจากมวลต่อปริมาตรของตัวอย่างอิฐบล็อกประสานดังในสมการที่ (1)

$$P = M/V \quad (1)$$

P = ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม)

M = มวลของตัวอย่างทดสอบ (กก.)

V = ปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ (ลบ.ม)

4. การหาปริมาณการดูดซึมน้ำ (Water absorption) เป็นการทดลองโดยเปรียบเทียบน้ำหนักของน้ำที่อิฐบล็อกประสานดูดซึมน้ำได้ภายหลังการแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กับน้ำหนักอิฐบล็อกประสานแห้ง ตามมาตรฐาน มาตรฐาน ASTM C373-88



Figure 4 Interlock block forming.

ผลการศึกษา

ผลการทดสอบของวัสดุที่ใช้ในการทำอิฐบล็อกประสาน ผลการทดสอบดิน เมื่อทำการบดละเอียดแล้ว ทำการวิเคราะห์ขนาดและการกระจายด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาด

อนุภาค (Laser Diffraction Particle Size Analyzer) พบว่าดินมีขนาดอนุภาคใหญ่สุดที่ขนาดไม่เกิน 1,000 μm และมีการกระจายของอนุภาคส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 10 -1,000 μm ดังใน Figure 5 ซึ่งเป็นขนาดดินที่ค่อนข้างละเอียดเหมาะแก่การนำมาใช้ในการทำอิฐบล็อกประสานเนื่องจากอิฐบล็อกประสานขึ้นรูปด้วยการอัดด้วยแรง ประกอบกับเมื่อดินมีขนาดที่เล็กช่องว่างระหว่างอนุภาคดินจะน้อยตามไปด้วยทำให้อิฐมีความ

หนาแน่นเพิ่มขึ้น⁵ ดังแสดงในภาพถ่ายขยายกำลังสูง (SEM) ใน Figure 6 และเมื่อนำดินไปทำการทดสอบหาองค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence Spectrometer) พบว่าดินมีองค์ประกอบของ SiO_2 และ Al_2O_3 เป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณร้อยละ 84.92 และ 11.55 ลำดับ ดังแสดงใน Table 2 ซึ่งเป็นลักษณะของดินเหนียว จึงเหมาะสมในการนำมาทำอิฐบล็อกประสาน

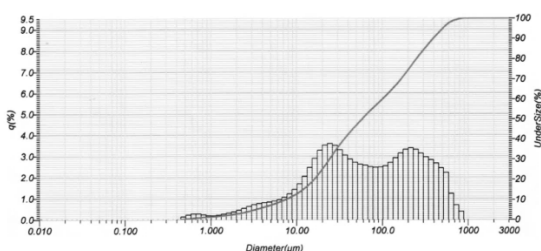


Figure 5 Laser Diffraction Particle Size Analyzer test result.

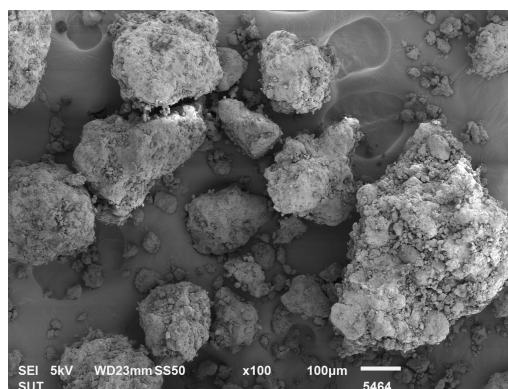


Figure 6 Scanning electron microscope image x100 of Clay.

Table 2 Chemical compositions of Clay.

Chemical compositions	Percentage (%)
Na_2O	0.04
MgO	0.08
Al_2O_3	11.55
SiO_2	84.92
P_2O_5	0.06
SO_3	0.02
Cl	0.02
K_2O	0.1
CaO	0.05
TiO_2	0.59
Cr_2O_3	0.01
MnO	0.01
Fe_2O_3	2.5
ZrO_2	0.05

ผลการทดสอบฟางข้าว

ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว ด้วยกล้องถ่ายภาพขยายกำลังสูง พบว่า ฟางข้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยต่อกัน และมีช่องว่างระหว่างเส้นใย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ฟางข้าว มีความเหนียว มีความหนาแน่นน้อย มีน้ำหนักเบา ดังแสดงใน Figure 7

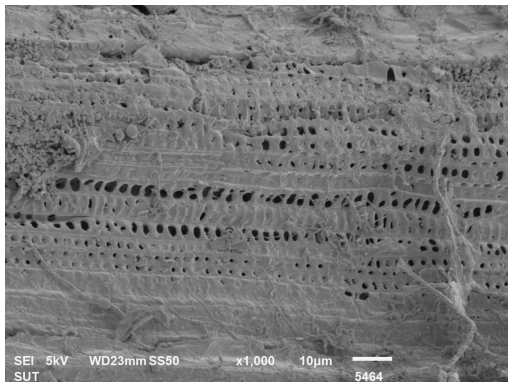


Figure 7 Scanning electron microscope image x1,000 of Rice Straw.

ผลการทดสอบกำลังอัด

จากการทดสอบพบว่า กำลังอัดของอิฐบล็อกประสานควบคุมที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 37 และ 52 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ และเมื่อแทนที่ดินด้วยฟางข้าวในปริมาณต่าง ๆ พบว่า กำลังอัดของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา^{6,7} เนื่องจากฟางข้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีโพรงในปริมาณมาก เมื่อนำมาแทนดินทำให้เกิดโพรงในอิฐบล็อกประสานส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลง ดังแสดงใน Table 3 โดยกำลังอัดของอิฐ

บล็อกประสานที่แทนที่ด้วยฟางข้าวร้อยละ 5, 10 และ 15 ที่อายุ 7 วัน มีค่าเท่ากับ 31,22 และ 18 กก./ตร.ซม. คิดเป็นร้อยละ 83,59 และ 48 ของอิฐบล็อกประสานควบคุม ตามลำดับ และมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นที่อายุ 28 วัน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์ผสมบุนเอย์ขึ้น ส่งผลให้กำลังอัดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 45,34 และ 30 กก./ตร.ซม. คิดเป็นร้อยละ 86,65 และ 57 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า 2.5 เมกะปาสคาล และผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547⁸ ที่ได้กำหนดไว้ เป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก ดังแสดงใน Figure 8 เมื่อพิจารณาที่การแทนที่ฟางข้าวร้อยละ 20 พบว่า มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน เท่ากับ 12 และ 22 กก./ตร.ซม. คิดเป็นร้อยละ 12 และ 22 อิฐบล็อกประสานควบคุมตามลำดับ ไม่ผ่านมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547

ผลการทดสอบความหนาแน่น

จากผลการทดสอบพบว่า อิฐบล็อกประสานควบคุม มีค่าความหนาแน่นที่อายุ 7 และ 28 วัน เท่ากับ 1,690 และ 1,687 กก./ลบ.ม. และเมื่อแทนที่ดินด้วยฟางข้าว พบว่า ความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานที่ค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา⁹ เนื่องจากความหนาแน่นของฟางข้าวมีค่าน้อยกว่าดินที่ใช้ทำอิฐบล็อกประสาน และ เมื่อแทนที่ดินแล้วทำให้เกิดโพรงมากขึ้น ตามปริมาณการแทนที่แทนที่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา¹⁰ ดังแสดงใน Figure 9 และเมื่อพิจารณาความหนาแน่น ที่ 28 วัน พบว่า มีค่าน้อยกว่าอายุ 7 วัน เนื่องจาก ความชื้นในอิฐบล็อกประสานได้ระเหยออก จึงส่งผลให้ความหนาแน่นมีค่าลดลงเล็กน้อย ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 10

Table 3 Compressive strength, Density and Water absorption test results.

MIXTURE	Compressive strength (ksc)		Density (kg/m ³)		Water absorption (%)	
	7 days (%)	28 days (%)	7 days	28 days	7 days	28 days
BC	37 (100)	52 (100)	1,690	1,687	5.00	6.00
RS 5	31 (83)	45 (86)	1,684	1,656	5.33	7.21
RS 10	22 (59)	34 (65)	1,636	1,625	9.16	10.59
RS 15	18 (48)	30 (57)	1,593	1,531	12.47	12.32
RS 20	12 (32)	22 (42)	1,533	1,440	13.70	14.58

ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบพบว่า ทุกอัตราส่วนการแทนที่ของฟางข้าวมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีลักษณะเป็นโพรง ดัง

แสดงใน Figure 7 เมื่อใช้แทนที่ดิน มีผลให้เกิดโพรงในอิฐบล็อกประสาน ส่งผลให้มีค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบการการดูดซึมน้ำในส่วนผสมเดียวกันที่อายุการทดสอบต่างกัน พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อก

ประสานที่อายุ 28 วัน มีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ มากกว่าอายุ 7 วัน ทุกอัตราส่วนผสม ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่ออิฐบล็อกประสาน มีอายุมากขึ้นค่าความชื้นมีค่าลดลง จากการระเหยของน้ำใน

อิฐบล็อกประสาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา¹¹ ดังแสดง ใน Figure 11

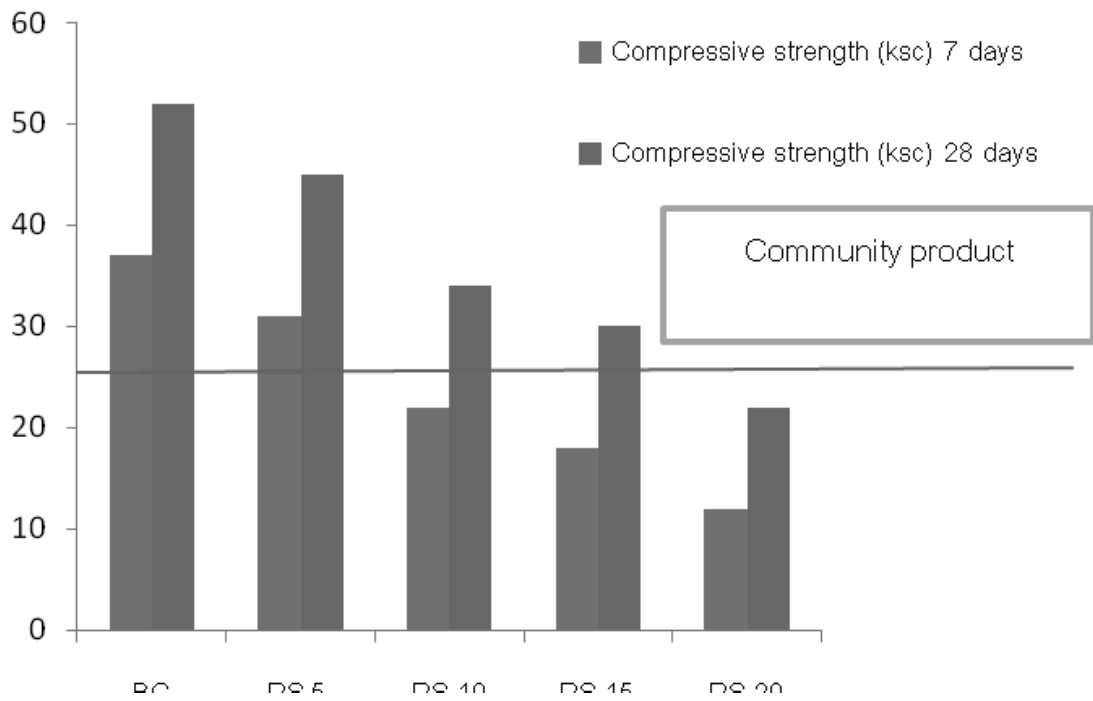


Figure 8 Relationship of compressive strength and rice straw replacement.

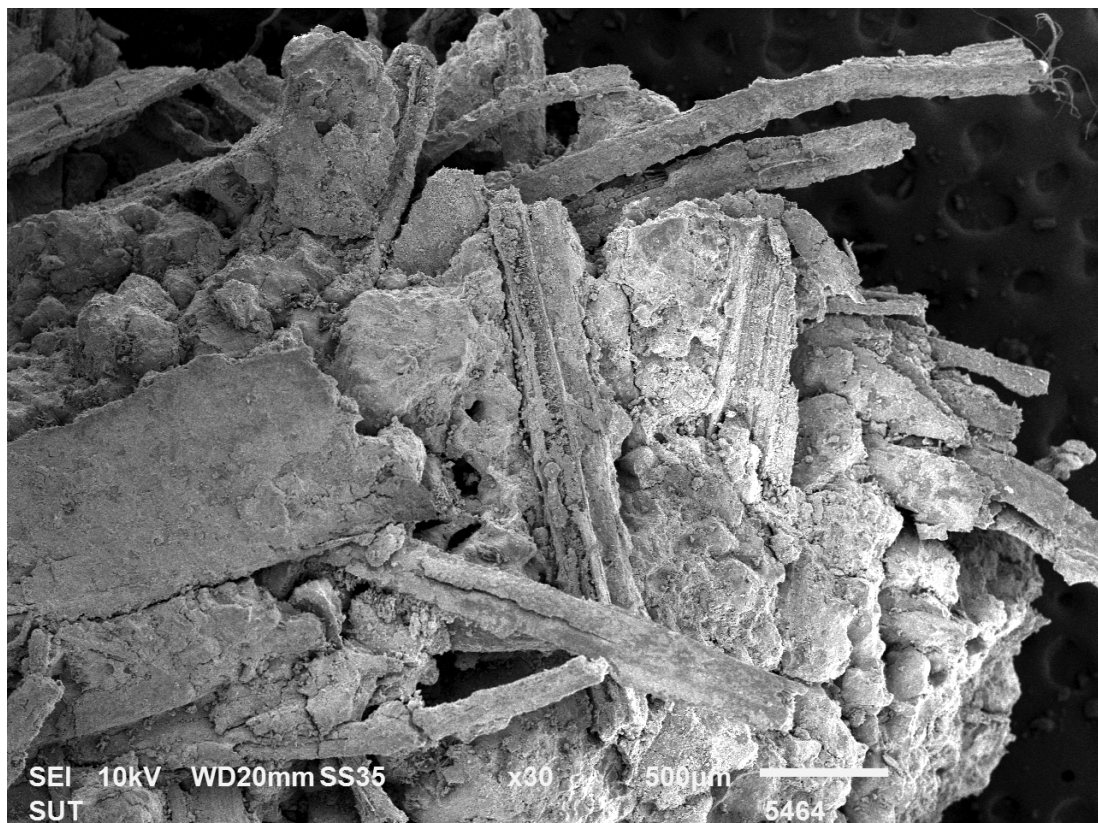


Figure 9 Scanning electron microscope image x30 of Interlocking block.

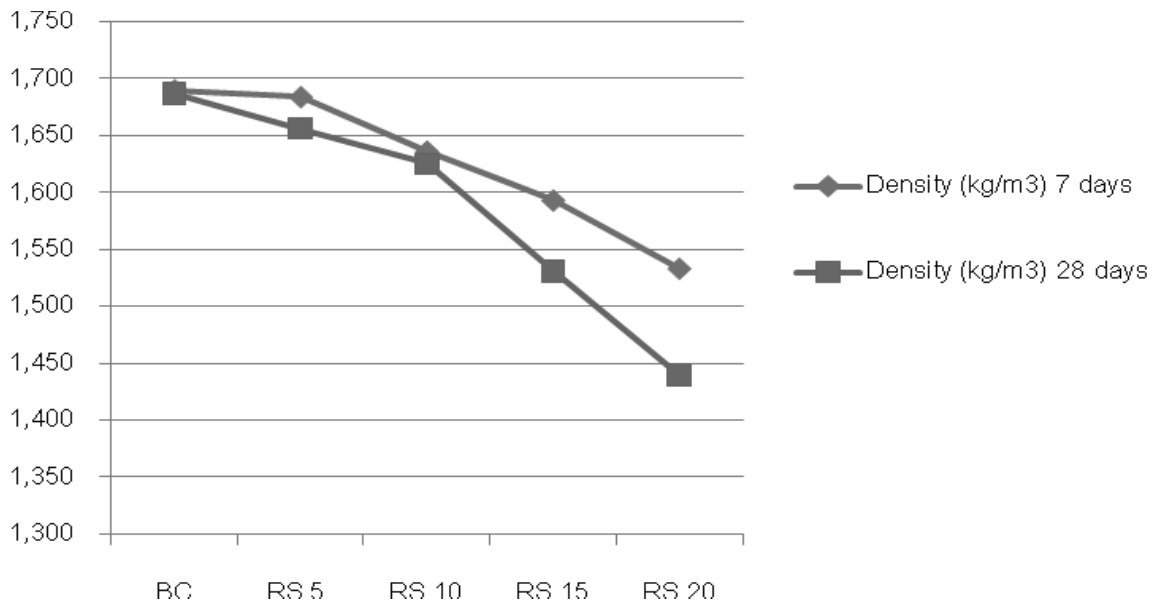


Figure 10 Relationship of Density and rice straw replacement.

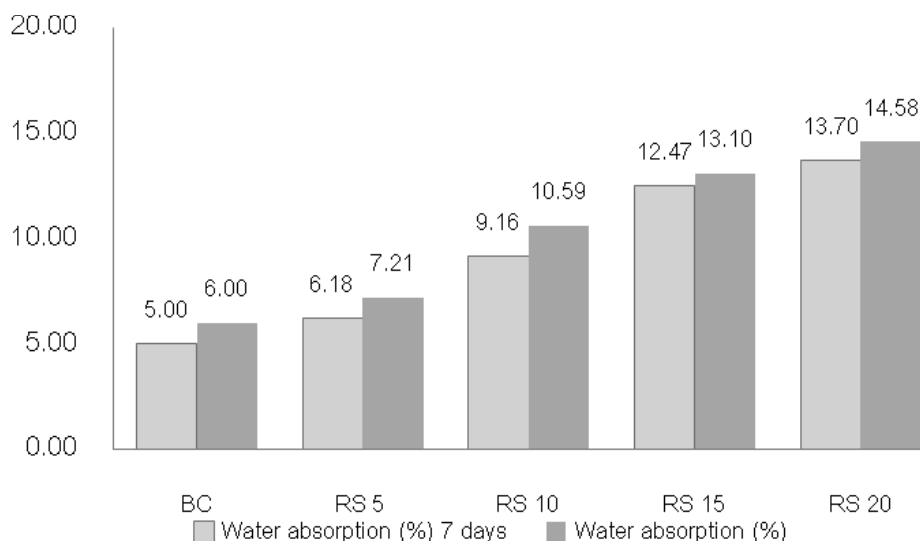


Figure 11 Relationship of Water absorption and rice straw replacement.

วิจารณ์และสรุปผล

จากการศึกษาการใช้ฟางข้าวแทนที่ดินในอิฐบล็อกประสานสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1. กำลังอัดของอิฐบล็อกประสานที่แทนที่ด้วยฟางข้าวมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ และมีค่ากำลังอัดเพิ่มมากขึ้นที่อายุการทดสอบ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมเดียวกัน โดยการแทนที่ฟางข้าว ร้อยละ 5,10 และ ร้อยละ 15 มีค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547

2. ค่าความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสานมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ของฟางข้าวทุกอัตราส่วนผสม เนื่องจากความหนาแน่นของฟางข้าวมีค่าน้อยกว่าดินและทำให้เกิดโพรงในอิฐบล็อกประสาน จึงทำให้ความหนาแน่นลดลง

3. ร้อยละการดูดซึมน้ำของอิฐบล็อกประสานเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟางข้าวที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากฟางข้าวมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีโพรง ส่งผลให้ภายในก้อนอิฐบล็อกประสานมีลักษณะเป็นโพรงตามไปด้วย การดูดซึมน้ำจึงเพิ่มขึ้น

4. การแทนที่ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสานส่งผลให้ค่ากำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่ แต่เมื่อพิจารณาตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน 602-2547 พบว่าสามารถใช้ฟางข้าวแทนที่ดินได้ถึง ร้อยละ 15 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นปริมาณที่เหมาะสมเป็นอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนัก และเมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นของอิฐบล็อกประสาน พบว่ามีค่าลดลง ซึ่งทำให้ก้อนอิฐบล็อกประสานมีน้ำหนักลดลง ส่งผลดีในการก่อสร้างและง่ายต่อการเคลื่อนย้ายขนส่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2558

เอกสารอ้างอิง

1. สำเร็จ สารมาคม. การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตบล็อกประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2556.
2. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ข้าว. ใน:เอกสารประกอบการสัมมนา ภาวะเศรษฐกิจการเกษตรปี 2548 และแนวโน้มปี 2549. กรุงเทพฯ: โรงธรรมรามการ์เด้นส์; 2548. หน้า 3-8.
3. ประชุม คำพุ่ม, กิตติพงษ์ สุวีโร,อมเรศ บกสุวรรณ, นิรมล บันล้าย. การใช้ฝุ่นหินภูเขาไฟในผลิตภัณฑ์บล็อกประสาน.วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 2558; 3(2): 239-247
4. วราธร แก้วแสง. คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐบล็อกประสานดินขาวที่ผสมด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชัน: เอกสารการประชุมวิชาการ ครั้งที่ 8 :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน; 2554.
5. Satawat Haruehansapong, Twich Pulngern, Somchai Chucheeepsakul. Effect of the particle size of nano-silica on the compressive strength and the optimum replacement content of cement mortar containing nano-SiO₂. Construction and building material 2014;50(1): 471-477.
6. พงศ์ภูมิ ศรีชมแก้ว. การผลิตอิฐบล็อกประสานจากกากอุตสาหกรรม. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์; 2555
7. Erniatia, M. Wihadi Tjarongeb, Zulhamaha, Ulva Ria Irfanc. Porosity, pore size and compressive strength of self-compacting concrete using sea water. Procedia Engineering 2015; 125(3): 832-837.
8. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอิฐบล็อกประสาน (มผช.602-2547). กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม; 2547.
9. นิชาดา ฉัตรสถาปัตยกรรม, มณฑล วังเวียง, ภัทรา เฟงธรรมกิริติ. ความเป็นไปได้ของการใช้กากตระกอนเคมีจากการผลิตน้ำประปาร่วมกับปูนซีเมนต์ในซีเมนต์มอร์ต้าและอิฐบล็อกประสาน. วารสาร Rajabhat Journal of

Sciences, Humanities & Social Sciences 2556; 13(1): 48-54.

10. Tayfun Uygungoglu, Ilker Bekir Topcu, Osman Gençel, Witold Brostow. The effect of fly ash content and types of aggregates on the properties of pre-fabricated concrete interlocking blocks (PCIBs). Construction and Building Materials 2012;30(1):180-187
11. จรูญ เจริญเนตรกุล. อิฐบล็อกประสานที่มีส่วนผสมเถ้าและกะลาปาล์มน้ำมัน. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 2557; 2(1) 103-112.

การเปรียบเทียบการเลี้ยงปลาในกระชังระบบปลักต้นมวลน้ำและเติมอากาศกับกระชังทั่วไป

Comparison of Moving Water and Aeration Fish Cage with a Standard Fish Cage for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Culture

วรพงษ์ นลินานนท์^{1*}, สายชล เลิศสุวรรณ², ธนากร เหมะสถล³

Warrapong Nalinanon^{1*}, Saichon Lerdsuwan², Tanakorn Heamasaton³

Received: 14 July 2016 ; Accepted: 28 November 2016

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเลี้ยงปลาในกระชังระบบปลักต้นมวลน้ำและเติมอากาศกับกระชังทั่วไป วางแผนการทดลองแบบ Independent t-test แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองๆ ละ 8 ซ้ำ โดยทำการทดลองในกระชังที่มีขนาด 1.5 x 2.5 x 0.9 เมตร ใช้ปลาที่มีน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 0.25±0.01 กรัม ความยาวมาตรฐานเฉลี่ยเริ่มต้น 1.10±0.10 ซม. จำนวน 200 ตัว/ซ้ำ ชุดการทดลองที่ 1 เป็นชุดควบคุมที่เลี้ยงปลาในกระชังทั่วไป และชุดการทดลองที่ 2 เป็นกระชังเลี้ยงปลาในระบบปลักต้นมวลน้ำและเติมอากาศ ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์ พบว่าปลาในชุดการทดลองที่ 2 ที่เลี้ยงในกระชังระบบปลักต้นมวลน้ำและเติมอากาศ มีค่าน้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ย, น้ำหนักที่เพิ่มต่อตัวต่อวัน, ความยาวมาตรฐานเฉลี่ย, อัตราการแลกเนื้อมีค่าที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยดีที่สุดแตกต่างจากชุดควบคุมที่เลี้ยงปลาในกระชังทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยที่ค่าคุณภาพซากของปลาทั้งสองชุดการทดลอง มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) ในขณะที่ค่าคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาของการทดลองอยู่ในระดับที่มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของปลาในทดลอง โดยที่ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ และค่าแอมโมเนียในน้ำในชุดการทดลองที่ 2 (กระชังระบบปลักต้นมวลน้ำและเติมอากาศ) มีค่าเฉลี่ยที่ดีกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับคุณภาพน้ำในกระชังทั่วไป

คำสำคัญ: ปลาในกระชัง ระบบเติมอากาศ

Abstract

The objective of this study was compared an effective of moving water and aeration fish cage (MAFC) with standard fish cage (SFC) for Nile tilapia culture. Designed the experiment in Independent t-test was conducted in 2 treatment with 8 replication each. Fish with initial weight 0.25 ± 0.01 g. and initial length 1.10 ± 0.10 cm. were stocked in fish cage (1.5 x 2.5 x 0.9 m.) with 200 fish/replication. Treatment 1 was standard fish cage (SFC) and treatment 2 was moving water and aeration fish cage (MAFC). Feed were given in 2 ration daily for 12 weeks period. Result shown that the treatment 2 (MAFC) were better in average weight gain, average daily gain (ADG), average length, feed conversion ratio significant different ($p < 0.05$) with treatment 1 (SFC) while carcass quality were not significant different ($p > 0.05$) in all carcass quality parameter at the both treatment. Whereas, Water quality at the all period of experiment time were suitable for Nile tilapia culture. And then dissolved oxygen and ammonia in water were better in treatment 2 (MAFC) significant different ($p < 0.05$) with treatment 1 (SFC)

Keywords: Nile Tilapia, fish cage, aeration system

^{1,2,3} อาจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ 17/1 หมู่ 6 ตำบลชุมโค อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร 86160

^{1,2,3} Lecturer, Faculty of Agricultural, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Prince of Chumphon Campus, Pathiu District, Chumphon 86160, Thailand, *Corresponding E-mail address: warrapong.na@kmitl.ac.th

บทนำ

ปลานิล Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) เป็นปลาที่เลี้ยงง่าย เติบโตได้อย่างรวดเร็ว สามารถอาศัยอยู่ได้ทั้งในน้ำจืด และน้ำกร่อย ชอบหากินในเวลากลางวัน กินได้ทั้งพืชและสัตว์ มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกา เป็นที่นิยมบริโภคเนื่องจากเป็นปลาเนื้อขาว มีรสชาติดี จึงทำให้เกษตรกรมีการเพาะเลี้ยงปลานิลเพื่อบริโภคภายในประเทศ และส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศกันอย่างแพร่หลาย¹

ระบบผลัดน้ำและเติมอากาศ ใช้หลักการของแรงดันที่เกิดจากการยกตัวของอากาศใต้น้ำ (airlift) ภายในท่อ โดยการสร้างเป็นอุปกรณ์ที่เรียกว่า airlift pump ซึ่งสามารถขับเคลื่อนมวลน้ำจากแรงดันที่เกิดขึ้น และเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำในขณะเดียวกัน² การเลี้ยงปลานิลเชิงพาณิชย์ในปัจจุบันเน้นการผลิตปลานิลในระบบหนาแน่น (super intensive) เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อพื้นที่สูงสุด ง่ายต่อการควบคุมจัดการ ทำให้ได้ผลผลิตปลานิลที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาดซึ่งการผลิตปลานิลในระบบหนาแน่นดังกล่าว มีความจำเป็นต้องติดตั้งใบพัดตีน้ำเพื่อขับเคลื่อนสร้างกระแส น้ำหมุนเวียน และเติมอากาศให้กับปลานิล แต่ระบบดังกล่าวมีต้นทุนค่าพลังงานจากต้นกำลังที่เป็นเครื่องยนต์ หรือมอเตอร์ไฟฟ้าที่สูง และหากการจัดวางมีจำนวนกระชังจำนวนมาก อาจมีผลให้กระชังที่อยู่ห่างจากใบพัดตีน้ำมีค่าคุณภาพน้ำที่ต่ำลง และอาจส่งผลกระทบต่ออาการเจริญเติบโตของปลานิลได้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการประดิษฐ์กระชังเลี้ยงปลานิลระบบขับเคลื่อนมวลน้ำและเติมอากาศ ซึ่งใช้ระบบ airlift pump ในการขับเคลื่อนมวลน้ำและเติมอากาศ ที่ติดตั้งกับด้านข้างของตัวกระชัง เพื่อให้คุณภาพน้ำในกระชังมีเหมาะสมต่อการเติบโตของปลานิลในทุกกระชัง และได้ทำการวิจัยประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (growth performance), อัตรารอด, ค่าคุณภาพซาก และค่าคุณภาพน้ำระหว่างการทดลอง

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

แผนการทดลอง

การทดสอบประสิทธิภาพของกระชังระบบผลัดน้ำและเติมอากาศในการเพาะเลี้ยงปลานิลที่เลี้ยงด้วยกระชังระบบผลัดน้ำและเติมอากาศ (ภาพที่ 1) และกระชังควบคุม ที่มีขนาดเท่ากัน (1.5 x 2.5 x 0.9 ม.) ปลานิลสำหรับทดลองเป็นปลานิลวัยอ่อน ที่มีขนาดน้ำหนัก 0.25 กรัม

ได้จากการเพาะพันธุ์ของฟาร์มเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเอกชน ในตำบลทะเลทรัพย์ อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร วางแผนการทดลองแบบ Independent t-test โดยมีรูปแบบของกระชังที่ต่างกันเป็นปัจจัยในการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย 2 ชุดทดลอง (Treatments) ละ 8 ซ้ำ (Replications) รวม 16 หน่วยทดลอง (Experimental Unit) ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 (T1) กระชังทั่วไป

(ชุดควบคุม)

ชุดการทดลองที่ 2 (T2) กระชังระบบผลัดน้ำ

มวลน้ำและเติมอากาศ

สัตว์ทดลอง

ปลานิลทดลองเป็นปลาวัยอ่อนอายุประมาณ 1 สัปดาห์ ที่มีขนาดน้ำหนักประมาณ 0.25 กรัม ได้จากการเพาะพันธุ์ของฟาร์มเพาะพันธุ์สัตว์น้ำเอกชน ในตำบลทะเลทรัพย์ อำเภอปะทิว จังหวัดชุมพร จำนวน 5,000 ตัว มาเลี้ยงในกระชังอนุบาล ขนาด 2 x 2 x 1.50 เมตร จำนวน 5 กระชังเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ปลาได้ปรับสภาพให้คุ้นเคยกับสภาพแวดล้อม และหัดให้ปลานิลกินอาหารสำหรับปลานิลวัยอ่อนที่มีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์โปรตีน วันละ 2 ครั้งคือเวลา 08.30 และ 16.30 น.จนกระทั่งลูกปลานิลยอมรับอาหาร สามารถปรับตัวได้และมีสุขภาพแข็งแรง จึงเริ่มทำการทดลอง

กระชังทดลอง

กระชังทดลอง แบ่งเป็นกระชังทั่วไป (ชุดควบคุม) และกระชังระบบผลัดน้ำและเติมอากาศ โดยกระชังทั้งสองแบบมีขนาดเท่ากันที่ 1.5 x 2.5 x 0.9 เมตร ตัวกระชังสร้างขึ้นจากตาข่ายมุ้งฟ้าขนาดตาอวน 2 มิลลิเมตร เย็บขึ้นเป็นตัวกระชัง ส่วนกระชังระบบผลัดน้ำและเติมอากาศ มีการสร้างโครงกระชังแข็งแรงภายนอกทำด้วยท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว ขนาด 1.6 x 2.6 x 1.0 เมตร หุ้มด้วยตาข่ายพลาสติกขนาด 0.5 เซนติเมตร โดยรอบและส่วนพื้นกระชังอีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกันสิ่งรบกวนจากภายนอกกระชัง พร้อมทั้งติดตั้งชุด airlift pump จำนวน 8 ตัว บริเวณด้านข้างของกระชังเพื่อใช้เป็นตัวผลัดน้ำและเติมอากาศให้แก่กระชังทดลอง พร้อมกับติดตั้งท่อลมขนาด 0.5 นิ้วเพื่อจ่ายลมให้แก่ชุด airlift pump จากเครื่องบีบลมขนาด 180 วัตต์ จำนวน 1 ตัว (Figure 1)



Figure 1 Moving water and aeration fish cage

การจัดการทดลอง

ดำเนินการทดลองในระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนมกราคม 2559 ณ หอวังงานประมงน้ำจืด สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมงและทรัพยากรทางน้ำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ ก่อนเริ่มทำการทดลองต้องงดให้อาหารปลาเป็นเวลา 1 วัน คัดปลาที่มีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด 0.25 กรัมลงในกระชังทดลองๆ ละ 200 ตัว ระหว่างทดลองให้อาหารปลานิลวัยอ่อนที่มีระดับโปรตีนไม่น้อยกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ วันละ 2 มื้อในเวลา 08.30 และ 16.30 น. โดยให้ปลากินอาหารจนอิ่ม (satiation) เปิดระบบ airlift pump วันละ 22 ชั่วโมง และปิดเป็นเวลา 1 ชั่วโมงระหว่างให้อาหารปลา ใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน 12 สัปดาห์

การเก็บรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

การเจริญเติบโตของปลานิล

ทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวปลานิล ด้วยเครื่องชั่งดิจิทัลทศนิยม 2 ตำแหน่ง ทุก 2 สัปดาห์ โดยงดให้อาหารปลา 1 วันก่อนชั่ง นำข้อมูลน้ำหนักปลา ความยาว น้ำหนักอาหารที่กินมาคำนวณ เพื่อประเมินการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร และอัตราการรอดของปลานิลในแต่ละชุดการทดลองตามวิธีของ Halver³ ได้แก่ น้ำหนักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Weight Gain : WG), น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มต่อวัน (Average Daily Gain : ADG), ความยาวเฉลี่ย (Average Total length: ATL), อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific Growth Rate : SGR%) และอัตราการรอด (Survival Rate : SR%) วิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำข้อมูลในแต่ละพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี T-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าคุณภาพซาก (carcass quality)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 12 สัปดาห์สุ่มตัวอย่างปลานิลกระชังละ 20 ตัว มาศึกษาปัจจัยด้านคุณภาพซากซึ่งประกอบด้วย ค่าสัดส่วนร้อยละของซาก (ส่วนหัว กระดูกและครีบ) (% carcass), ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อปลา (% yield)⁴, ค่าสัดส่วนร้อยละของเครื่องใน, ค่าดัชนีตับ (hepatosomatic index, HSI)⁵ และค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง (intrapertoneal fat ratio)⁶ วิเคราะห์ผลการทดลองโดยนำข้อมูลในแต่ละพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี T-test ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ค่าคุณภาพน้ำ

ตรวจสอบคุณภาพน้ำในกระชังระหว่างทำการทดลองทุก 2 สัปดาห์ ตามวิธีของ Boyd⁷ ได้แก่ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO), ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH), อุณหภูมิของน้ำ, ค่าความกระด้าง (total hardness), ค่าความเป็นด่าง (total alkalinity), ค่าแอมโมเนียในน้ำ (NH₃), ค่าไนโตรเจนไนโตรเจน (nitrite-nitrogen), ค่าไนเตรทไนโตรเจน (nitrate-nitrogen) และค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ (EC)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

การเจริญเติบโตและอัตราการตาย

จากการสังเกตพฤติกรรมและลักษณะภายนอกของปลานิลทดลองพบว่าปลาทุกหน่วยทดลองมีการกินอาหาร พฤติกรรมที่แสดงออก และลักษณะภายนอกที่เป็นปกติ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 พบว่าปลานิลที่เลี้ยงในกระชังระบบผลัดน้ำและเติมอากาศ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว ค่าน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวันค่าความยาวมาตรฐานเฉลี่ย และค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับปลานิลที่เลี้ยงในกระชังทั่วไป (Table 1)

โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 64.67±2.52 กรัม, 0.71±0.02 กรัม 15.16±1.63 เซนติเมตร และ 1.28±0.12 เปอร์เซ็นต์/วัน ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการรอดตายพบว่ามีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มดีกว่าในชุดการทดลองที่เลี้ยงในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศ ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 97.79±0.65 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Table 1)

อัตราการแลกเนื้อ (feed conversion ratio)
เมื่อสิ้นสุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 12 พบว่าปลาในเลี้ยงในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศมีค่าอัตราการแลกเนื้อต่ำกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) จากชุดการทดลองที่เลี้ยงปลาในกระชังทั่วไป โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.38±0.03 (Table 1)

Table 1 Effect of difference fish cage on growth performance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after an experimental period of 12 weeks (Mean±S.D.)

Parameters	Treatment		p-value
	SFC (T1)	MAFC (T2)	
Initial mean weight (g)	0.25±0.01	0.25±0.01	0.902
Final mean weight (g)	41.48±2.05 ^b	64.67±2.52 ^a	0.038
Average daily gain (g/day)	0.46±0.05 ^b	0.71±0.02 ^a	0.016
Initial standard length (cm)	1.10±0.10	1.10±0.10	0.860
Final standard length (cm)	12.32±1.89 ^b	15.16±1.63 ^a	0.042
Specific Growth Rate (%/day)	1.12±0.14 ^b	1.31±0.12 ^a	0.049
Survival rate (%)	96.41±0.87	97.79±0.65	0.608
Feed conversion ratio	1.45±0.02 ^a	1.38±0.03 ^b	0.031

^{a,b} means within rows with no common superscripts are significantly different ($p<0.05$).

ค่าคุณภาพซาก (carcass quality)

ค่าคุณภาพซากที่ประกอบด้วยค่าสัดส่วนร้อยละของซาก, ค่าสัดส่วนร้อยละของเนื้อปลา, ค่าสัดส่วนร้อยละของเครื่องใน และค่าดัชนีเนื้อมัน พบว่าปลาเลี้ยงในกระชังทั้งสองแบบ (ชุดการทดลอง) มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่าสัดส่วนไขมันในช่องท้อง ไม่สามารถตรวจวัดค่าได้เนื่องจากไม่พบไขมันที่สะสมในช่องท้อง (Table 2)

ค่าคุณภาพน้ำในกระชัง

ค่าคุณภาพน้ำระหว่างการทดลองตลอดทั้ง 12 สัปดาห์ พบว่าอยู่ในระดับที่มีความเหมาะสมต่อการเติบโตของปลานิลทดลอง โดยค่าคุณภาพน้ำในชุดการทดลองที่เลี้ยงปลานิลในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศมีค่าออกซิเจนที่

ละลายในน้ำสูงกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองที่เลี้ยงปลานิลในกระชังทั่วไป โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.90±0.84 มิลลิกรัม/ลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าในชุดการทดลองดังกล่าวยังมีปริมาณแอมโมเนียในน้ำต่ำกว่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับชุดการทดลองควบคุมโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.18±0.02 มิลลิกรัม/ลิตร (Table 3) ส่วนค่าคุณภาพน้ำอื่นที่ประกอบด้วย ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิ, Total Dissolved Solid, ความเป็นด่าง, ความกระด้าง, การนำไฟฟ้าในน้ำ, ไนโตรที่-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจน พบว่าทั้งสองชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) (Table 3)

Table 2 Effect of difference fish cage on carcass quality in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) after an experimental period of 12 weeks (Mean±S.D.)

Parameters	Treatment		p-value
	SFC (T1)	MAFC (T2)	
Bone and Scale (%)	55.64±3.12	57.47±2.52	0.120
Edible Flesh (%)	38.60±2.02	36.71±1.88	0.089
Visceral mass (%)	5.76±1.82	5.82±2.52	0.062
Hepatosomatic index	1.76±0.34	1.81±0.26	0.104

Table 3 Water quality in experimental fish cage for rearing Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) between an experimental period of 12 weeks (Mean±S.D.)

Parameters	Treatment		p-value
	SFC (T1)	MAFC (T2)	
Dissolved oxygen(mg/l)	5.20±1.21 ^b	7.90±0.84 ^a	0.021
pH	8.67±0.08	8.60±0.16	0.060
Temperature (°C)	28.20±0.54	28.00±0.35	0.883
Total Dissolved Solid (ppm)	11.39±1.21	11.75±0.95	0.607
Alkalinity (ppm.)	35.05±1.38	35.24±1.64	0.410
Hardness(ppm)	66.57±1.84	66.39±0.94	0.135
Electric Conductivity	59.25±2.36	59.15±1.18	0.612
Ammonia(mg/l)	0.25±0.01 ^a	0.18±0.02 ^b	0.018
Nitrite-Nitrogen(mg/l)	0.29±0.03	0.21±0.01	0.132
Nitrate- Nitrogen(mg/l)	12.50±1.28	10.08±1.69	0.184

^{a,b}means within rows with no common superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองประสิทธิภาพของกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศ เปรียบเทียบกับกระชังทั่วไปในการเลี้ยงปลานิล พบว่า การเลี้ยงปลานิลในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศมีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต (น้ำหนัก และความยาว) และค่าอัตราการแลกเปลี่ยนที่ต่ำกว่าการเลี้ยงโดยใช้กระชังทั่วไป สอดคล้องกับ สนธิพันธ์ และไพรัตน์⁹ ที่รายงานว่าปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนมีแนวโน้มเติบโตต้นน้ำหนัก (686.38 ± 1.54.97) ดีขึ้น และมีอัตราแลกเปลี่ยนลดลงนอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของบรรจง⁹ ที่พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของปลานิลแปลงเพศที่เลี้ยงในกระชังมีค่าอัตราการแลกเปลี่ยนระหว่าง 1.21-1.42 มีอัตราการรอดระหว่าง 96.2-96.5% และมีค่าน้ำหนักเพิ่มต่อวันเท่ากับ 3.05-4.9 % ใช้เวลาในการเลี้ยง 70 วันได้ปลาขนาดน้ำหนัก 600 กรัมแสดงให้เห็นว่าการเลี้ยงปลานิลในระบบกระชังที่มีการเคลื่อนที่ของมวลน้ำส่งผลให้ปลานิลเติบโตได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับกระชังในบ่อดิน ในขณะที่ สุรังสี และคณะ¹⁰ รายงานว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต และอัตราการรอดลดลง โดยการเลี้ยงปลานิลในกระชังที่มีน้ำไหลผ่านตลอดเวลาที่มีความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรเป็นระดับที่มีความเหมาะสม

ค่าคุณภาพน้ำของปลานิลแดงที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนมีค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ระหว่าง 1.9-5.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าแอมโมเนียรวมมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 0.323-2.460 ซึ่งมีคุณภาพดีต่อการเลี้ยงปลานิลในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศที่มี

ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(DO)เท่ากับ 7.90±0.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าแอมโมเนียรวม เท่ากับ0.18±0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเลี้ยงปลานิลในระบบน้ำหมุนเวียนคุณภาพน้ำขึ้นกับประสิทธิภาพของระบบกรองเป็นหลัก ในขณะที่คุณภาพน้ำของกระชังขึ้นกับการเคลื่อนที่ของมวลน้ำทั้งภายในและภายนอกกระชัง

ค่าคุณภาพซากของปลานิลทดลองไม่แตกต่างกันทางสถิติในทุกพารามิเตอร์ที่ตรวจวัด เนื่องจากปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพซากคืออาหารปลา ซึ่งในการทดลองนี้ให้อาหารสูตรเดียวกัน

ความเหมาะสมเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังระบบผลัดต้นมวลน้ำและเติมอากาศ มีต้นทุนผันแปรจากค่าไฟฟ้าของเครื่องให้อากาศเพิ่มขึ้น ประมาณ 1,430 บาทต่อ12 สัปดาห์ ในขณะที่ได้การเติบโตที่ดีกว่าการเลี้ยงปลานิลในกระชังทั่วไปประมาณ 35.86เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

1. กรมประมง. สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2537. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ; 2537.
2. Parker NC, Suttle MA. Design of Airlift Pumps for Water Circulation and Aeration in Aquaculture. AQ-UACULT ENG 1987;6:97-110.
3. Halver JE, Hardy RW. Fish Nutrition. School of Aquatic and Fisheries Science. University of Washington. Washington D.C.: Academic Press; 2002.

4. Cardinal M, Knockaert C, Torrissen O, Sigurgisladottir S, Morkore T, Thomassen M, Vallet JL. Relation of smoking parameters to the yield, colour and sensory quality of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Res Int* 2001;34(6):537-550.
5. Shalaka S, Pragna P. Gonadosomatic and Hepatosomatic Indices of Freshwater Fish *Oreochromis mossambicus* in Response to a Plant Nutrient. *World J Zool* 2013;8(1):110-118.
6. Yang SD, Liou CH, Liu FG. Effects of dietary protein level on growth performance, carcass composition and ammonia excretion in juvenile silver perch (*Bidyanus bidyanus*). *Aquaculture* 2002 Sep;213(1):363-372.
7. Boyd, C. *Water Quality in Ponds for Aquaculture*. Alabama: Birmingham Publishing Co.;1990. 482 p.
8. สนธิพันธ์ ผาสุกดี และไพรัตน์ ก่อสุชารัตน์. การพัฒนาต้นแบบระบบเลี้ยงปลานิลแดงแบบหนาแน่นในระบบน้ำหมุนเวียน. กองวิจัยประมงน้ำจืด. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ;2558.
9. บรรจง เทียนสงฆ์ศรี. การเลี้ยงปลานิลในกระชังช่วงปลายฝนต้นหนาว. บริษัท เอเซียฟีดจำกัด;มปป.
10. สุรัชชีทัตพะรังสี ปวีณาผิวขาว สุริยัญแสงหงษ์ สุภาพรมหันต์กิจ เรณูว่องสงสาร และมาลัย อิมศิลป์. การเลี้ยงปลานิลแปลงเพศในกระชังด้วยอัตราความหนาแน่นสูง. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ; 2556

การจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ กรณีศึกษา อุทยานแห่งชาติ น้ำตกตาดโตน ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ

Forest Fire Risk Identification and Classification by using Object-oriented Approach, Case Study: Tad Tone National Park, Na Fai sub-district, Mueang District, Chaiyaphum Province

ศราวุธ ลักษวุธ¹, โสภณวิชญ์ คำพิลัง²

Sarawut Luksawut¹, Sopholwit Khamphilung²

Received: 30 November 2016 ; Accepted: 20 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า อุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนจังหวัดชัยภูมิ โดยการจำแนกภาพเชิงแบบวัตถุซึ่งพิจารณาปัจจัย (1) ค่าดัชนีความแตกต่างของความเป็นพรรณพืช (NDVI) (2) ดัชนีค่าความร้อนของแบนด์ Thermal infrared (3) ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม (4) ความลาดชันและ (5) ค่าดัชนีความเป็นสีเขียวของพืชพรรณ (GVI) ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 OLI ปัจจัยต่างๆถูกนำมาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลพื้นที่ที่เคยเกิดไฟป่าเพื่อสร้างกฎในการจำแนกแล้วแทนค่าปัจจัยต่างๆ ตามเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อให้ได้พื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในระดับต่างๆเปรียบเทียบกับข้อมูลพื้นที่ที่เคยเกิดไฟป่าสำหรับสร้างกฎในการจำแนกโดยวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม eCognition developer ซึ่งอาศัยทั้งค่าการสะท้อนเชิงรังสีและความสัมพันธ์เชิงระยะทางจากปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง จากการศึกษาสามารถจำแนกพื้นที่เสี่ยงได้ 3 ระดับ ได้แก่พื้นที่เสี่ยงระดับต่ำมีพื้นที่ประมาณ 137.07 ตร.กม. (ร้อยละ 60.28) พื้นที่เสี่ยงปานกลาง มีพื้นที่ประมาณ 65.41 ตร.กม. (ร้อยละ 28.81) และพื้นที่เสี่ยงสูง พื้นที่ประมาณ 24.78 ตร.กม. (ร้อยละ 10.91) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นป่าผลัดใบมีการกระจายตัวตามแนวเหนือ-ใต้และทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาตามลำดับ

คำสำคัญ: ไฟป่า การวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ การรับรู้จากระยะไกล

Abstract

This study aims at classifying forest fire risk in Tad Tone National Park, Na Fai sub-district, Mueang District, Chaiyaphum Province by using object-based image analysis. There were 5 factors used in the analytical process, namely (1) Normalized vegetation index (NDVI), (2) Heat indicators derived from Thermal infrared band, (3) the distance of transportation network, (4) slope, and (5) Green vegetation index (GVI) derived from Landsat 8 OLI imagery. Each category was correlated and compared with existing forest fire collected from field surveying for creating the classification rule set. The results indicated that the low risk area was 137.07 sq. km (60.28%). The moderate risk of fire showed the area of 65.41 sq. Km (28.81%). The high risk fire showed the area of 24.78 sq. Km or 10.91 percent covered by forest, mostly deciduous forest dispersed from north-south and east of the study area.

Keywords: forest fire risk, object based image analysis, remote sensing

¹ นิสิตปริญญาตรี, ²อาจารย์หลักสูตรภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Bachelor degree student, ²Lecturer, Geoinformatics, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai district, Maha Sarakham, 44150

* Corresponding author; Sopholwit Khamphilung, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand

บทนำ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดชัยภูมิเป็นจังหวัดที่มีภูเขาอยู่หลายแห่งซึ่งนับเป็นแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของประเทศอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนก็เป็นหนึ่งในพื้นที่ทรัพยากรป่าไม้แห่งหนึ่งของจังหวัดนี้ประชากรจำนวนมากได้รับประโยชน์จากอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยใช้ไม้เพื่อสร้างบ้านเรือนใช้สมุนไพรจากป่าเพื่อรักษาโรคใช้เป็นแหล่งอาหารใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหุงต้มและก็ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่านานาชนิดจากความสำคัญของป่าดังกล่าวทำให้ต้องตระหนักและระมัดระวังเพื่อไม่ให้ทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญของชาติสูญเสียดังกล่าวทุกประการทั้งที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์และธรรมชาติในปัจจุบันพบว่ากิจกรรมบางอย่างของมนุษย์ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ เช่นการลักลอบตัดไม้ทำลายป่า การใช้ป่าแบบผิดประเภทซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ป่าไม้ขาดความอุดมสมบูรณ์ นอกจากนี้การเกิดไฟป่าก็นับว่าเป็นสาเหตุที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้พื้นที่ป่าไม้ลดลงทั้งนี้ไฟป่าอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ในพื้นที่อุทยานแห่งชาติแห่งนี้พบว่าประชากรที่อาศัยอยู่ในเขตอุทยานฯส่วนใหญ่จะมีอาชีพหาของป่าซึ่งในการหาของป่าของชาวบ้านอาจทิ้งวัสดุเชื้อเพลิงไว้ในป่าแบบเจตนาหรือไม่เจตนา เช่น การเผาป่าเพื่อล่าสัตว์หรือการสูบบุหรี่ เป็นต้นซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดไฟป่าเป็นประจำทุกปีโดยเฉพาะฤดูแล้งหรือฤดูไฟป่าเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเขตอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนลักษณะพืชพรรณจัดเป็นป่าดิบแล้งและป่าเต็งรัง เมื่อเกิดไฟป่าขึ้นจะเป็นไฟป่าแบบผิวดิน แต่เนื่องจากลมมรสุมทำให้ไฟป่าลุกลามได้รวดเร็วทำให้ป่าเสื่อมโทรม การสืบพันธุ์ธรรมชาติล้มเหลว แหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าหมดไปทำให้ยากต่อการฟื้นฟูโดยข้อมูลสถิติการเกิดไฟป่าในพื้นที่พบว่ามีปี 2557 ได้เกิดไฟป่าที่อุทยานแห่งชาตินี้รวมทั้งสิ้น 66 ครั้ง ซึ่งก่อความเสียหายต่อป่าไม้ประมาณ 1,219 ไร่ ซึ่งถือว่าเป็นการเกิดไฟป่าที่รุนแรงอีกครั้งหนึ่งที่เกิดขึ้น ณ อุทยานแห่งชาตินี้ในการศึกษาและติดตามพื้นที่การเกิดไฟป่าได้มีกระบวนการศึกษาที่หลากหลายเพื่อใช้สำหรับติดตามตรวจสอบและวางแผนเพื่อบรรเทาและป้องกันการเกิดไฟป่าในพื้นที่ต่างๆ ซึ่งการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมร่วมกับเทคนิคในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมเหล่านั้นนับว่าเป็นกระ

บวนการศึกษาและเครื่องมือสำคัญอีกประการหนึ่งเพื่อช่วยในกระบวนการดังกล่าวในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ที่สำคัญๆ ในประเทศไทย โดยกระบวนการวิเคราะห์ภาพถ่าย ในปัจจุบันนิยมใช้ 2 วิธีการหลักๆ ได้แก่การวิเคราะห์ภาพเชิงจุดภาพ (Pixel-based image analysis) และการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) ทั้งนี้การวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุมีบทบาทสำคัญในการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียมในมาตราส่วนและวัตถุประสงค์ต่างๆ และเริ่มใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวเป็นกระบวนการในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ผู้วิเคราะห์สามารถบูรณาการปัจจัยเสริมอื่นๆ นอกเหนือจากค่าการสะท้อนของจุดภาพที่ได้จากระบบตรวจวัดต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพและความถูกต้องสมบูรณ์ของการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาความหลากหลายของสิ่งปกคลุมดินและการใช้ประโยชน์ที่ดินและจัดทำแผนที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าจากข้อมูลภูมิศาสตร์ที่รวบรวมไว้จากสำนักงานป้องกันไฟป่าโดยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์แบบเชิงวัตถุเพื่อประโยชน์ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วดังนั้นการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI (Operational land imager) ความแยกชัดเชิงพื้นที่ 30 เมตรเพื่อใช้การวิเคราะห์และจัดทำแผนที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าภายในอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนโดยการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงวัตถุ

วัตถุประสงค์

เพื่อจำแนกจุดเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตน ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิโดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI แบบเชิงวัตถุ

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษานี้ได้ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI จำนวน 5 แบนด์ (Band2: Blue, Band3: Green, Band 4: Red, Band 5: NIR ความแยกชัดเชิงพื้นที่ 30 เมตรและ Band 10: TIR-1 ความแยกชัดเชิงพื้นที่ 100 เมตรซึ่งเป็นแบนด์ความร้อน) Path:128/Row: 49ภาพถ่ายการบันทึกเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2558 ครอบคลุมบริเวณพื้นที่อุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนจังหวัดชัยภูมิ (Figure 1)

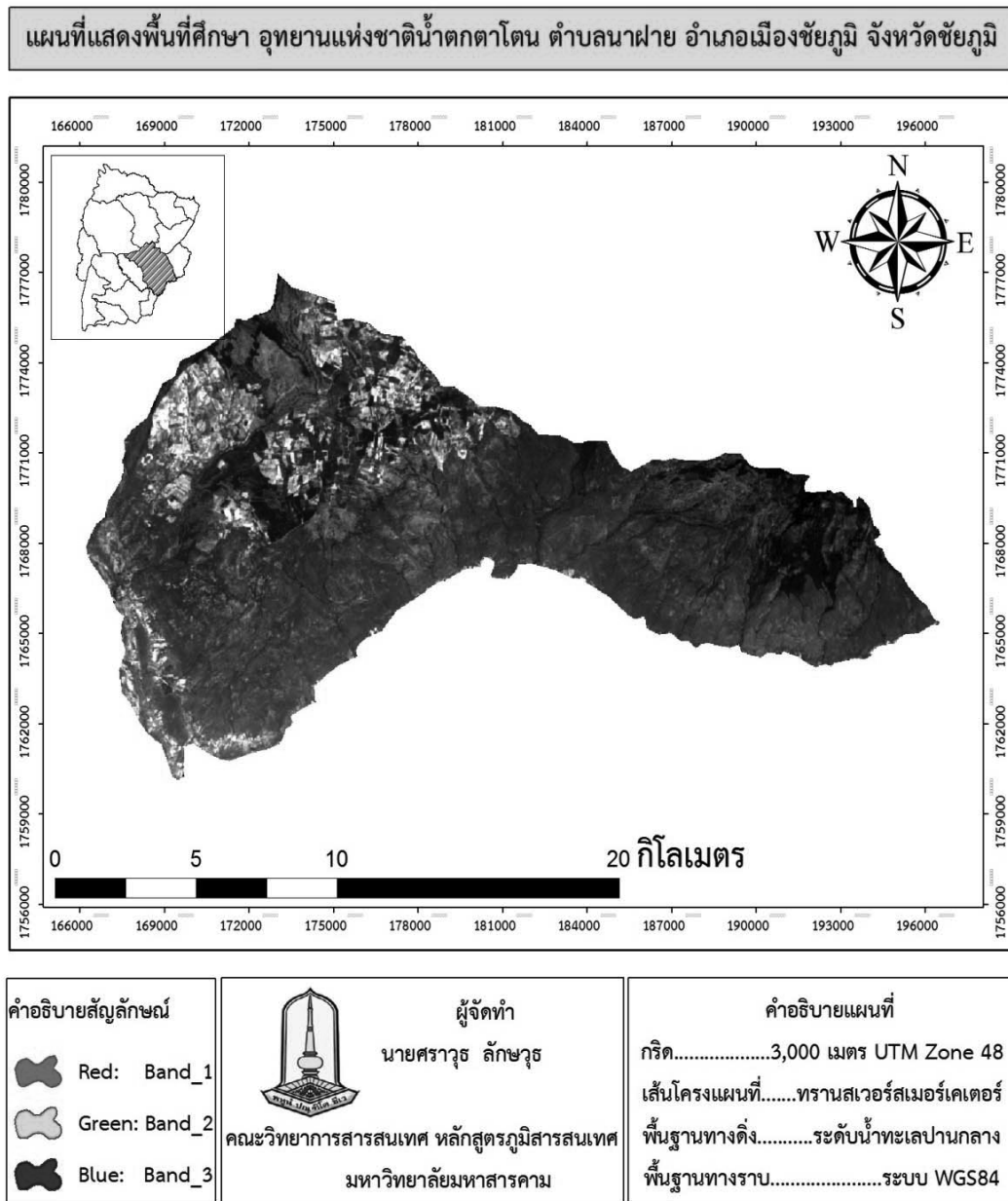


Figure 1 Study area

การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบเชิงวัตถุ¹ เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวสามารถสร้างความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้ดีกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงจุดภาพ (Pixel-based image analysis) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมนี้ถูกตัดให้ได้ตามขอบเขตพื้นที่ศึกษาของอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาโตนซึ่งอยู่ในรูปแบบของเวกเตอร์ ภาพถ่ายจากดาวเทียมได้ถูกนำมาทำการรวมแบนด์ (Layer stack) แล้วได้ถูกนำสร้างวัตถุภาพ (Image object segmentation) โดยใช้วิธีการแบบ Multiresolution segmentation algorithm กำหนดให้ Scale parameter (SP) = 30, Shape = 0.5 และ Compactness = 0.7ตามลำดับร่วมกับข้อมูลค่าระดับความสูง SRTM

(Shuttle radar topographic mission) รายละเอียดจุดภาพ 90 เมตรซึ่งได้ถูกนำเข้าพร้อมกันกับภาพถ่ายจากดาวเทียมหลายช่วงคลื่นซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเชิงวัตถุสามารถใช้ข้อมูลในการวิเคราะห์ที่ต่างมาตราส่วนกันได้โดยใช้ในการตรวจสอบค่าระดับความลาดชันควบคู่กับปัจจัยอื่นที่ได้จากวัตถุภาพ (Image objects) นอกจากนี้ปัจจัยเรื่องความร้อนเชิงพื้นผิวอันเกิดจากปัจจัยต่างๆทั้งตุ๊กกลืนและสะท้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของพื้นผิวโลกข้อมูลนี้ได้จากแบนด์ความร้อนจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 แบนด์ 10เช่นเดียวกันซึ่งได้ถูกนำเข้าไปสู่กระบวนการสร้างวัตถุภาพ (Image object segmentation) ข้อมูลจุดตำแหน่งเกิดเหตุที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

ใช้สำหรับศึกษาลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เพื่อรวบรวมปัจจัยที่คล้ายคลึงกับพื้นที่อื่นที่ไม่มีประวัติการเกิดเพลิงไหม้แต่มีลักษณะแนวโน้มที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยข้อมูลนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากเจ้าหน้าที่ป่าไม้และใช้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลก GPS (Global positioning system) ในการจัดทำค่าพิกัดในพื้นที่ศึกษาเมื่อได้ค่าพิกัดตำแหน่งมาแล้วผู้วิจัยได้ศึกษาคุณลักษณะทางพื้นที่ต่างๆที่อาจเป็นสาเหตุให้เกิดไฟป่าโดยเรียกคุณสมบัตินี้ว่าคุณสมบัติเชิงพื้นที่ (Spatial information) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นสิ่งที่สามารถรวบรวมได้โดยใช้เครื่องมือทางด้านภูมิสารสนเทศ การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมดังกล่าวได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) และเขียนชุดคำสั่งหรือกฎในการจำแนก (Rule-based) ตามเงื่อนไขที่ได้วางไว้ ภาพถ่ายจากดาวเทียมถูกนำสู่กระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมข้อมูลให้มีถูกต้อง เช่น การตัดภาพให้ได้ตามขอบเขตพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโดน การกรองภาพ และปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต เป็นต้น หลังจากนั้นได้นำภาพที่ได้ตามขอบเขตของพื้นที่ศึกษาหน้าตาดโดนที่ต้องการแล้วได้ทำการตัดวัตถุภาพ (Image object segmentation) จากข้อมูลเชิงจุดภาพให้เป็นข้อมูลเชิงวัตถุ (Image objects) ตามค่าคุณลักษณะต่างๆที่ได้กล่าวไว้แล้วทำให้ได้ฐานข้อมูลวัตถุภาพที่พร้อมสำหรับทำการวิเคราะห์ โดยผู้วิจัยได้นำเข้าชั้นข้อมูลเส้นทางคมนาคม (Thematic layer)² ในรูปแบบเวกเตอร์เข้ามาใช้ร่วมกันในขั้นตอนการตัดวัตถุภาพด้วยเพื่อสร้างแนวกันชนให้กับพื้นที่เสี่ยงในระดับต่างๆ นอกจากนี้ดัชนีพืชพรรณได้นำข้อมูลสัดส่วนแบนด์ภาพ (Band ratio) มาใช้เพื่อหาค่า NDVI (Normalized difference vegetation index) ซึ่งหาได้จาก

$$\rho_{Nir} + \rho_{Red} \quad (1)$$

โดย NIR = แบนด์อินฟราเรดไกล และ Red = แบนด์สีแดง

จากพื้นที่ศึกษาพบว่าบริเวณที่มีพืชพรรณอยู่อย่างหนาแน่นมีค่า NDVI อยู่ระหว่าง 0.3-0.6 ดังนั้นค่าดัชนีนี้สามารถนำมาใช้ในการแยกพื้นที่ป่าและไม่ใช่ออกจากกันได้โดยมีนัยยะ พื้นที่อื่นที่ไม่ใช่ป่าแต่อยู่ในแนวเขตพื้นที่ศึกษา เช่น บริเวณพื้นที่การเกษตรผู้วิจัยได้ใช้ค่า NDVI ดัชนีสีเขียวของพืชพรรณ GVI (Green vegetation index) ซึ่งหาได้จาก

$$0.29(G)-0.56(R)+0.60(IR)+0.49(IR) \quad (2)$$

โดย G = แบนด์สีเขียว

R = แบนด์สีแดง

IR = แบนด์อินฟราเรด

ซึ่งจากจุดสำรวจตัวอย่างทั้ง 14 จุดซึ่งเป็นจุดที่เกิดไฟป่าในพื้นที่อุทยานแห่งชาตินี้บ่งชี้ที่น้อยที่สุดเท่าที่ได้ทำการบันทึกไว้โดยเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลป่าไม้ พบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้อยู่ระหว่าง 16,000-18,000 ซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่ความเสี่ยงน้อย (<16,000) พื้นที่เสี่ยงปานกลาง (16,001-18,000) และพื้นที่เสี่ยงสูง (>18,000) ตามลำดับและค่าความลาดชัน (Slope) มาเป็นเครื่องมือคัดกรองพื้นที่เหล่านี้ออกไป^{2,3} โดยลักษณะสังคมพืชที่เป็นป่าและลักษณะโครงสร้างของพื้นที่เกษตรกรรมก็สามารถแยกจากกันได้อย่างชัดเจน โดยค่าจากปัจจัยดังกล่าว ค่าความลาดชันนั้นหาได้จากการนำเข้าสู่ข้อมูลเส้นชั้นความสูงมาตราส่วน 1:50,000 แล้วแปลงให้เป็นแผนที่ชั้นความสูงเชิงตัวเลข DEM (Digital elevation model)³ เพื่อนำเข้าสู่การวิเคราะห์ภาพเชิงวัตถุ ซึ่งใช้เป็นข้อมูลเฉพาะ (Thematic layer) ในขั้นตอนตัดวัตถุภาพ (Image segmentation) ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ ทั้งเวกเตอร์และราสเตอร์ โดยข้อมูลนี้ได้ถูกแบ่งค่าระดับความสูงออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ น้อยกว่าร้อยละ 19 อยู่ระหว่างร้อยละ 19-53 และมากกว่าร้อยละ 53 พื้นที่ป่าไม้ นอกจากจะใช้ค่าดัชนีพืชพรรณ ดัชนีความเป็นสีเขียวของพืชแล้วยังได้นำค่าความลาดชันนี้มาใช้แบ่งเพื่อให้อสอดคล้องกับชนิดของป่าได้แก่ ป่าผลัดใบ และไม่ผลัดใบซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของพื้นที่ที่จะการตั้งอยู่จริงของป่าแต่ละชนิด ซึ่งป่าผลัดใบซึ่งอยู่ระหว่างค่าความสูงน้อยกว่า 50 เมตรและป่าไม่ผลัดใบอยู่ระดับความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 600 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งนอกจากการจำแนกชนิดของป่าที่สอดคล้องกับค่าค่านิยามของแต่ละชนิดของป่าแล้วยังได้ใช้ร่วมกับค่าดัชนีพืชพรรณดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว ซึ่งค่า NDVI ได้ใช้ค่าช่วงประมาณ 0.3-0.38 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกระบวนการทำ Band ratio

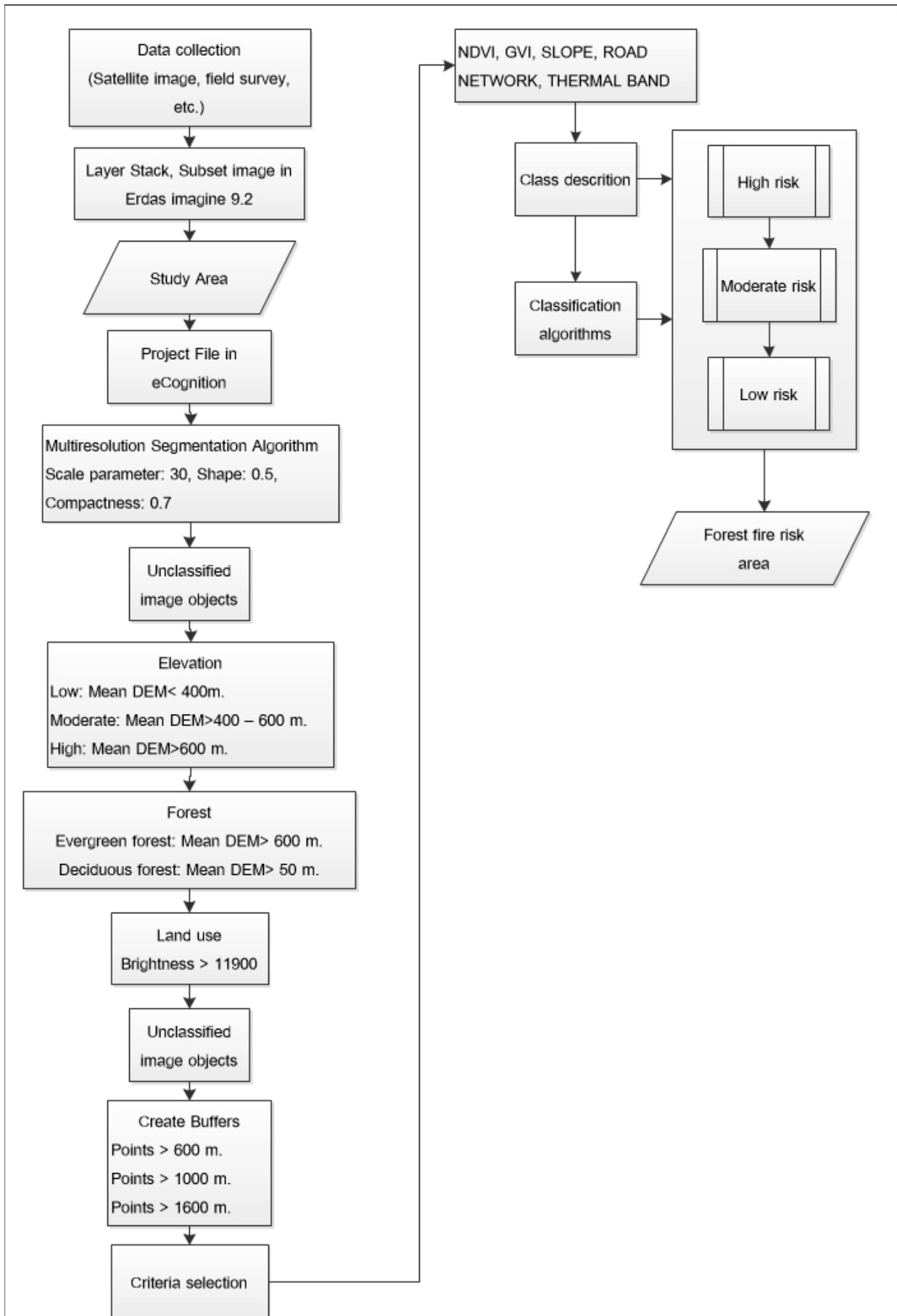


Figure 2 Work flow diagram

ผลการศึกษา

การวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การจำแนกภาพแบบเชิงวัตถุ สำหรับหาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่า โดยพื้นที่ป่าได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับโดยได้ประยุกต์ใช้การจำแนกภาพแบบเชิงวัตถุ (Object-based image analysis) ร่วมกับข้อมูลเสริมอื่น (Ancillary data) ได้แก่ เส้นชั้นข้อมูลความสูง (Digital elevation model) เพื่อใช้ร่วมกับการจำแนกภาพด้วยกระบวนการดังกล่าว ผลการศึกษาปรากฏว่า ข้อมูลเสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าสามารถแบ่งออกได้ 3 ระดับ ได้แก่ พื้นที่เสี่ยงมาก เสี่ยงปานกลาง และเสี่ยงน้อย โดยค่าปัจจัยที่ใช้ในการจำแนกสามารถแสดงได้ดัง Table 1 โดยมี 5 ปัจจัยสำคัญตามค่าที่ผู้ศึกษาได้รวบรวมจากพื้นที่โดยได้รับความอนุเคราะห์จากเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลป่าไม้โดยการสัมภาษณ์ และผ่านกระบวนการให้ความรู้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์จากเจ้าหน้าที่และอาสาสมัครดูแลป่าที่มีประสบการณ์ตรงในการเข้าระงับเหตุและเป็นผู้ที่ได้ทำการจัดบันทึกข้อมูลสถิติการเกิดไฟป่า ณ พื้นที่แห่งนี้ร่วมกับข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น กรมป่าไม้ที่จะช่วยให้การจำแนกเป็นไปอย่างถูกต้องรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยนั้นปัจจัยที่ได้รับความสำคัญสูงสุดซึ่งได้จากกระบวนการดังกล่าวได้แก่ค่า NDVI ทั้งนี้เนื่องจากค่า NDVI เป็นเกณฑ์สำคัญในการตัดสินใจว่า บริเวณใดมีความสมบูรณ์ของป่าไม้มากน้อยกว่ากันโดยพบว่า พื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในระดับสูงมีค่า NDVI ≥ 0.38 ปัจจัยอันดับที่ 2 ได้แก่ค่าความร้อนพื้นผิว (Thermal infrared band) ซึ่งได้จากข้อมูลค่าการสะท้อนของภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 แบนด์ 10 โดยค่าความร้อนเชิงพื้นผิวนั้นพบว่า พื้นที่เสี่ยงในระดับสูงมีค่า $\geq 34,000$ ปัจจัยในอันดับที่ 3 ได้แก่ระยะห่างจากถนนซึ่งพบว่าในพื้นที่ศึกษาไฟป่าส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูบบุหรี่หรือการเผาป่าเพื่อล่าสัตว์หรือการกำจัดวัชพืชดังนั้นปัจจัยระยะห่างจากถนนจึงเป็นปัจจัยที่แสดงถึงความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่และกิจกรรมใดๆที่อาจส่งผลต่อการเกิดไฟป่า⁴⁻⁵ โดยพบว่ายังมีถนนเข้าใกล้แนวกันชนมากเพียงใดโอกาสในการเกิดไฟป่าย่อมสูงขึ้นเท่านั้น โดยพื้นที่เสี่ยงสูงนั้นระยะของถนนนั้นห่างจากแนวเขตป่าสงวนมีระยะทาง ≤ 150 เมตร ปัจจัยที่ 4 ได้แก่ความลาดชัน (Slope) ซึ่งจากการออกสำรวจภาคสนามเพื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่มีประวัติการเกิดไฟป่าพบว่า ปัจจัยความลาดชันนั้นพื้นที่เสี่ยงสูงอยู่ในช่วงของความลาดชัน

≥ 53 % ปัจจัยที่ 5 ได้แก่ ค่าดัชนี GVI (Green vegetation index) ซึ่งพื้นที่เสี่ยงสูงพบว่า มีค่า $\geq 18,000$ ซึ่งรายละเอียดของปัจจัยและเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้แสดงได้ดัง Table 1 และแผนที่แสดงรายละเอียดของปัจจัยแสดงได้ดัง Figure 3

ผลการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม โดยวิธีการ Multiresolution Segmentation กำหนดค่า Scale parameter = 30 Shape = 0.5 และ Compactness = 0.7 สามารถจำแนกภาพถ่ายได้ 7,862 วัตถุ โดยโปรแกรม eCognition developer v. 8 สำหรับค่า Scale Parameter เป็นตัวกำหนดขนาดของการสร้างวัตถุเชิงภาพซึ่งจะมีค่าตั้งแต่ 1-100 จะเป็นตัวกำหนดค่าที่มากที่สุดที่ยอมให้ลักษณะที่แตกต่างกันสำหรับกำหนดเป็นวัตถุภาพ กล่าวคือ ขนาดใหญ่สุดที่จะใช้แยกความแตกต่างของพื้นที่ (Region) โดยจะถูกกำหนดในรูปมาตราส่วน โดยค่า Scale parameter น้อยส่งผลให้ขนาดของวัตถุภาพมีขนาดเล็ก ถ้าหากมีการกำหนดให้ค่า Scale parameter ให้มากขึ้นทำให้ขนาดของวัตถุภาพจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย สำหรับการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่า Scale parameter หลายมาตราส่วนแต่พบว่าค่าที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 30 เพราะสามารถจำแนกวัตถุภาพออกได้พอเหมาะสมสอดคล้องกับชั้นการจำแนกเป้าหมาย (Target classes) ที่ต้องการจำแนกสำหรับปัจจัยรูปร่าง (Shape) เป็นการเลือกรูปร่างของวัตถุภาพที่จะถูกสร้างขึ้นมาเป็นปัจจัยในการพิจารณาเพื่อสร้างวัตถุภาพ สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะได้ตั้งแต่ 0-1 ซึ่ง 1 มีค่าเทียบได้กับ 100% จึงกำหนดค่าที่ 0.5 เพราะพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ป่าโปร่งอาจไม่คล้ายคลึงกัน แต่ถ้าหากพื้นที่ศึกษาเป็นชุมชนเมืองก็สามารถกำหนดค่าให้น้อยลงได้เพราะมีรูปร่างที่คล้ายกัน ค่าปัจจัยความหนาแน่น (Compactness) เป็นการพิจารณาวัตถุเชิงภาพที่จะสร้างแบบใช้ปัจจัยด้านรูปร่างที่มีลักษณะเกาะกลุ่มกันแน่น เช่น บริเวณที่มีการปลูกพืชหนาแน่น สามารถกำหนดค่าน้ำหนักของคุณลักษณะได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ซึ่งค่า 1 มีค่าเทียบได้กับ 100% เช่นเดียวกันกับค่าปัจจัยอื่นผู้ศึกษาได้ทำการทดลองให้ค่าหลายค่าจึงกำหนดค่า Compactness สำหรับการสร้างวัตถุภาพเท่ากับ 0.7 เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นป่าเกือบ 100% และมีความหนาแน่นสูงจึงต้องกำหนดค่ามาก เพื่อให้วัตถุแยกออกจากกันได้เหมาะสมสอดคล้องกับคุณสมบัติเชิงช่วงคลื่นและค่าระดับปัจจัยที่เลือกใช้สำหรับการสร้างวัตถุภาพ

Table 1 Features and criterionselection for forest fire risk zone analysis

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าปัจจัย	ระดับ
1	NDVI	น้อยกว่า 0.32	Low
		อยู่ระหว่าง 0.32 - 0.38	Moderate
		มากกว่า 0.38	High
2	Thermal infrared band	น้อยกว่า 32000	Low
		อยู่ระหว่าง 32000 - 34000	Moderate
		มากกว่า 34000	High
3	Distance from road	อยู่ระหว่าง 300 - 400 เมตร	Low
		อยู่ระหว่าง 150 - 300 เมตร	Moderate
		น้อยกว่า 150 เมตร	High
4	Slope	น้อยกว่า 19%	Low
		อยู่ระหว่าง 19 – 53%	Moderate
		มากกว่า 53%	High
5	GVI	น้อยกว่า 16000	Low
		อยู่ระหว่าง 16000 - 18000	Moderate
		มากกว่า 18000	High

สำหรับค่าดัชนี NDVI ที่ได้จากเงื่อนไขเชิงช่วงคลื่นดังที่ได้กล่าวไว้แล้วได้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ NDVI น้อยกว่า 0.32 อยู่ระหว่าง 0.32-0.38 และมากกว่า 0.38ตามลำดับซึ่งพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ค่า NDVI น้อยกว่า 0.32 มีพื้นที่ 136.52 ตร.กม. รองลงมาคือ NDVI อยู่ระหว่าง 0.32-0.38 มีพื้นที่ 57.74 ตร.กม. และ NDVI มากกว่า 0.38 มีพื้นที่ 32.98 ตร.กม. ผลการนำข้อมูลพิกัดจุดเกิดเหตุไฟป่ากับข้อมูลปัจจัย NDVI พบว่าจุดพิกัดที่เกิดไฟส่วนใหญ่อยู่ในระดับ NDVI มากกว่า 0.38 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง รองลงมาคือ NDVI ระหว่าง 0.32-0.38 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางและ NDVI น้อยกว่า 0.32 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ

สำหรับค่าดัชนีจากแบนด์ความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ค่า Thermal infrared band⁷⁻⁸ น้อยกว่า 32,000 อยู่ระหว่าง 32,000-34,000 มากกว่า 34,000 ซึ่งพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ค่า Thermal infrared band น้อยกว่า 32,000 มีพื้นที่ 85.56 ตร.กม. รองลงมาคืออยู่ระหว่าง 32,000-34,000 มีพื้นที่ 132.32 ตร.กม. และมากกว่า 34,000 มีพื้นที่ 9.37 ตร.กม. ตามลำดับ ผลการนำข้อมูลพิกัดจุดเกิดเหตุไฟป่ากับข้อมูลปัจจัยจากแบนด์Thermal infraredพบว่าจุดพิกัดที่เกิดไฟส่วนใหญ่อยู่ในระดับมากกว่า 34,000 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง รองลงมาคือระหว่าง 32,000-34,000 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลางและน้อยกว่า 32,000 จึง

กำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ

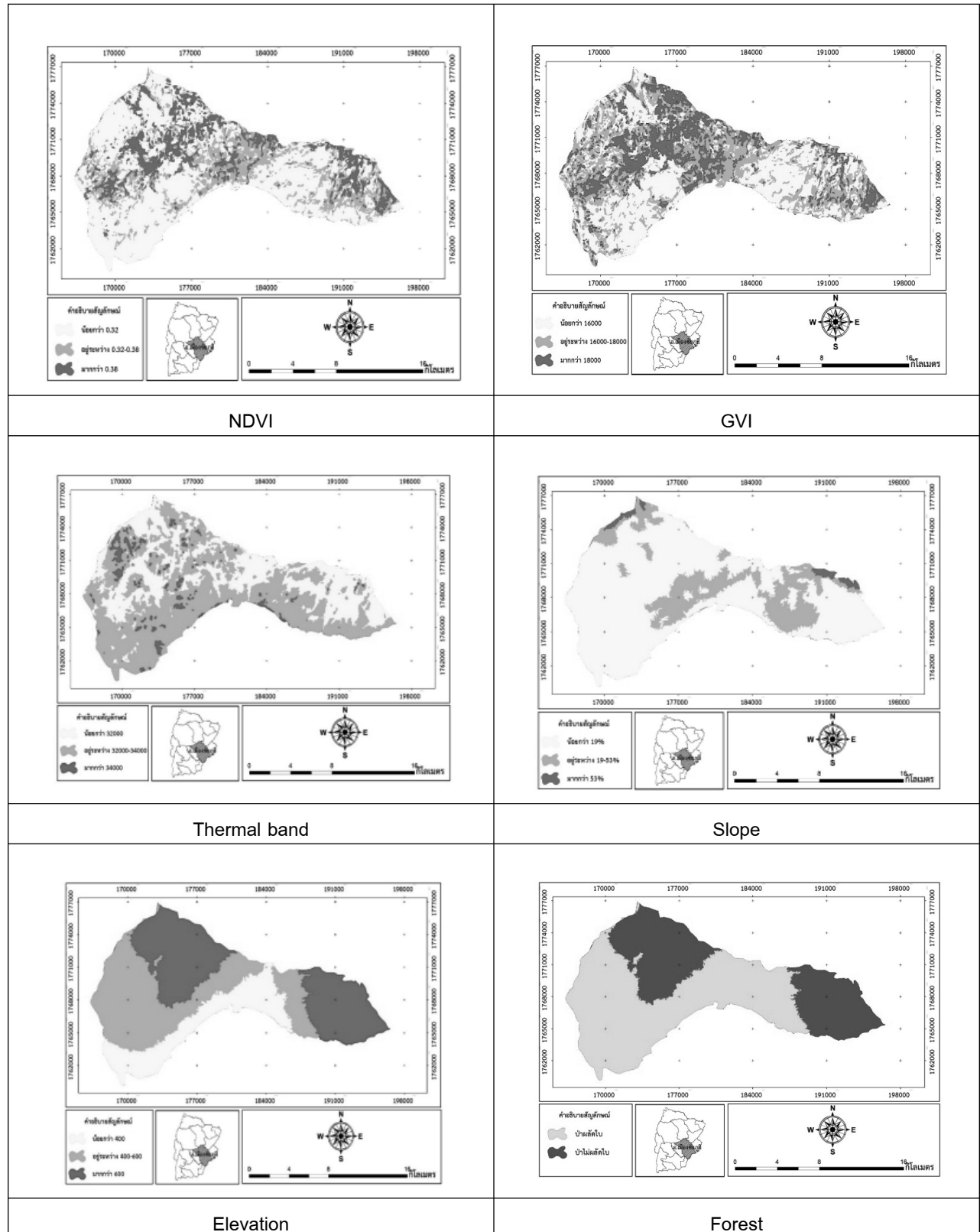
ปัจจัยระยะห่างจากถนนและเส้นทางคมนาคม (Distance from road) ได้แบ่งออกเป็น 3 ช่วงชั้นข้อมูลได้แก่ ระยะทางน้อยกว่า 150 เมตรอยู่ระหว่าง 150-300เมตรและอยู่ระหว่าง 300-400 เมตรโดยกำหนดให้ระยะห่างจากถนน ≤ 150 เมตรอยู่ในระดับเสี่ยงสูงเนื่องจากการเข้าถึงได้ง่ายของมนุษย์ ทำให้มีการทำกิจกรรมใดๆ ที่เป็นสาเหตุของไฟป่า หากระยะห่างจากถนนอยู่ระหว่าง 150-300 เมตรกำหนดให้อยู่ในระดับเสี่ยงปานกลางและระยะห่างจากถนนมีระยะทาง ≥ 300.1 เมตรอยู่ในระดับเสี่ยงต่ำ

สำหรับปัจจัยความลาดชันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ Slope⁹⁻¹² น้อยกว่า 19% อยู่ระหว่าง 19-53% มากกว่า 53% ซึ่งพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ค่า Slope น้อยกว่า 19% มีพื้นที่ 172.69 ตร.กม. รองลงมาคือ Slope อยู่ระหว่าง 19-53% มีพื้นที่ 50.98 ตร.กม. และ Slope มากกว่า 53% มีพื้นที่ 3.58 ตร.กม. ตามลำดับ ผลการนำข้อมูลพิกัดจุดเกิดเหตุไฟป่ากับข้อมูลปัจจัย Slope พบว่าจุดพิกัดที่เกิดไฟส่วนใหญ่อยู่ในระดับ Slope มากกว่า 53% จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง รองลงมาคือ Slope ระหว่าง 19-53% จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง และ Slope น้อยกว่า 19% จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ

สำหรับค่าดัชนี GVI แบ่งออกเป็น 3 ชั้น⁶ คือ GVI น้อยกว่า 16,000 อยู่ระหว่าง 16,000-18,000และมากกว่า

18,000 ซึ่งพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ค่า GVI น้อยกว่า 16,000 มีพื้นที่ 91.84 ตร.กม. รองลงมาคือ GVI อยู่ระหว่าง 16,000-18,000 มีพื้นที่ 86.94 ตร.กม. และ GVI มากกว่า 18,000 มีพื้นที่ 48.48 ตร.กม. ตามลำดับ ผลการนำข้อมูลพิกัดจุดเกิดเหตุไฟป่ากับข้อมูลปัจจัย GVI พบว่าจุดพิกัดที่เกิดไฟส่วนใหญ่

อยู่ในระดับ GVI มากกว่า 18000 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง รองลงมาคือ GVI ระหว่าง 16000-18000 กำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง และ GVI น้อยกว่า 16000 จึงกำหนดให้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ



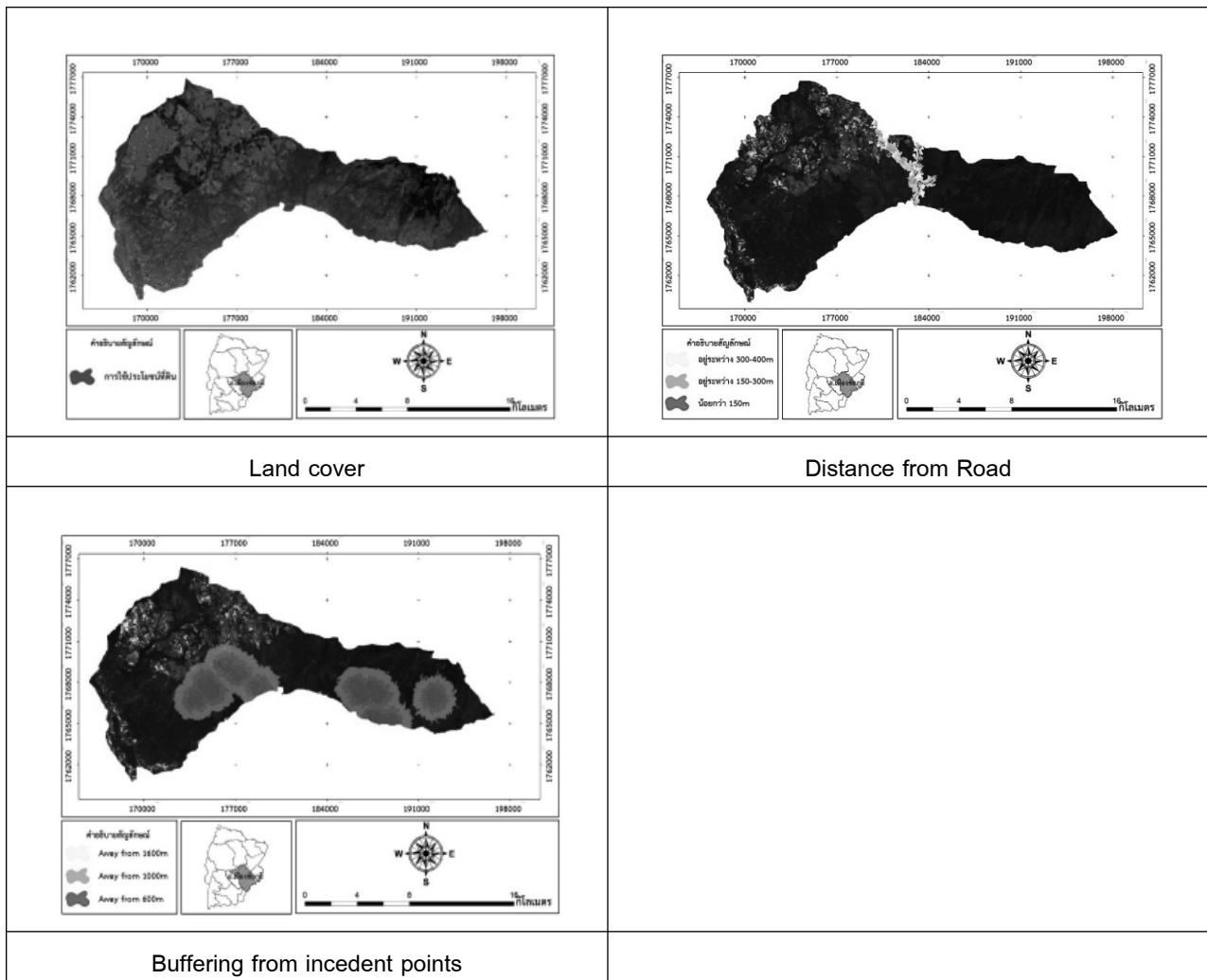


Figure 3 Feature criteria map

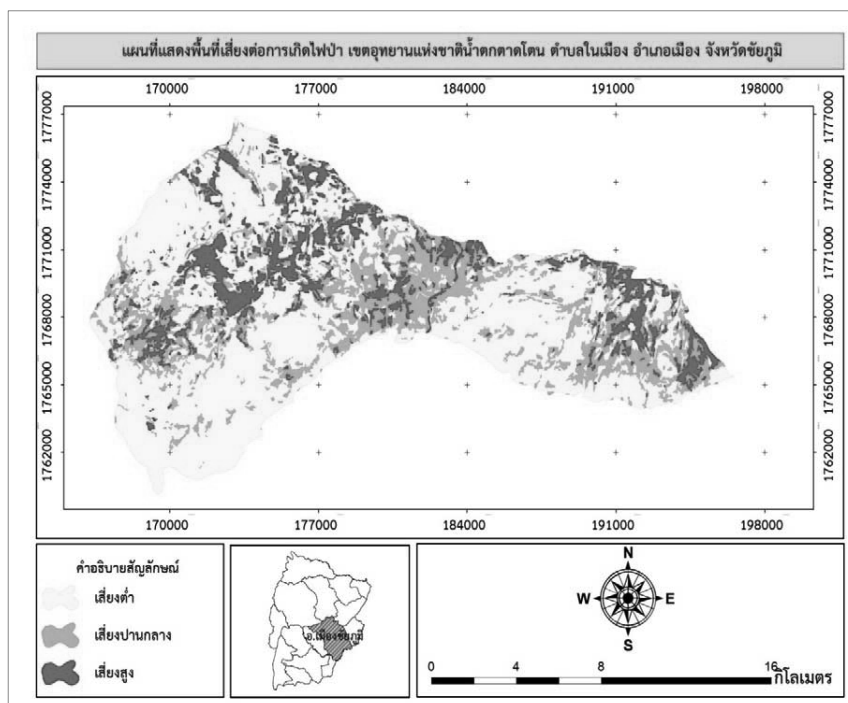


Figure 4 Result of forest fire risk, Tad Tone national park

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

จากการสำรวจพื้นที่ศึกษาอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตนพบว่าในพื้นที่ดังกล่าวประสบกับปัญหาไฟป่าเป็นอย่างมากซึ่งทำให้ทรัพยากรธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งการสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ของพืชพรรณป่าไม้ นอกจากนี้การเกิดไฟป่ายังส่งผลกระทบต่อแหล่งที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่าและทำให้จำนวนประชากรของสัตว์ป่าลดลงตามไปด้วย ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของจุดและบริเวณโดยรอบพื้นที่ที่เกิดไฟป่ากับปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้แก่ (1) ค่าดัชนีพืชพรรณ NDVI (Normalized vegetation index) (2) ค่าสะท้อนความร้อน Thermal infrared band (3) ระยะห่างจากเส้นทางคมนาคม (4) ความลาดชัน (Slope) และ (5) ค่าดัชนีความเป็นสีเขียวของพืชพรรณ GVI (Green Vegetation Index) จากการศึกษาสามารถแบ่งระดับความเสี่ยงของการเกิดไฟป่าได้ 3 ระดับ โดยพื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดไฟป่าต่ำ มีพื้นที่ประมาณ 137.07 ตร.กม. หรือร้อยละ 60.28 โดยจะครอบคลุมกระจายทั่วพื้นที่ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดไฟปานกลาง มีพื้นที่ประมาณ 65.41 ตร.กม. หรือร้อยละ 28.81 โดยจะครอบคลุมพื้นที่ตอนกลางพื้นที่ทางทิศตะวันออกและตะวันตก พื้นที่ที่มีความเสี่ยงในการเกิดไฟป่าสูง มีพื้นที่ประมาณ 24.78 ตร.กม. หรือร้อยละ 10.91 โดยครอบคลุมพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบเป็นส่วนใหญ่ ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และทิศตะวันออกเฉียงเหนือของพื้นที่ศึกษาสำหรับการศึกษาในอนาคตควรมีการวิเคราะห์ข้อมูลให้แล้วเสร็จก่อนจึงทำการตัดขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งหากมีการดำเนินการในกระบวนการดังกล่าวก่อนอาจจะมีการสูญเสียรายละเอียดเชิงช่วงคลื่นบริเวณขอบของภาพแต่เนื่องจากการศึกษานี้ผลของการสูญเสียบริเวณขอบของภาพไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลมากนักนอกจากนี้การใช้แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่ศึกษาควรใช้รูปแบบที่สามารถกำหนดค่าความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ได้เช่นใช้ระบบผู้เชี่ยวชาญ AHP (Analytic hierarchy process) เพื่อช่วยในกระบวนการดังกล่าวเป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ป่าไม้ประจำอุทยานแห่งชาติน้ำตกตาดโตน ตำบลนาผาย อำเภอเมืองจังหวัดชัยภูมิที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลและเอื้อเฟื้อสถานที่ตลอดจนนำพาผู้วิจัยลงสำรวจพื้นที่ที่เคยเกิดไฟป่าเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดไฟป่า ณ อุทยานแห่งชาติดังกล่าวขอขอบคุณ USGS ที่ได้อนุเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat 8 OLI โดยผู้วิจัยได้ดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมดังกล่าวมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้โดยไม่คิดมูลค่า

เอกสารอ้างอิง

- Blaschke, Thomas, and Josef Strobl. "What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS." *GeoBIT/GIS* 6.01 (2001): 12-17.
- Plangsiri, C. Assessment of Forest Fire Risk in National Park, Loei Province. M.S. Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2002.
- ระวี ถาวร. เปรียบเทียบภาพถ่ายจากดาวเทียมปีก่อน และปัจจุบันในการจัดการไฟป่า. สืบค้นจาก: http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2544/mem0344rk_ch2.pdf; 2541.
- วีระยุทธ กุลพรพันธ์. ให้ความรู้แก่คนในชุมชนในการจัดการไฟป่า. สืบค้นจาก http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2544/mem0344rk_ch2.pdf; 2553.
- ศิริ อัครฉัตร. ป้องกันไฟป่าโดยศึกษาสาเหตุของการเกิดไฟป่า. สืบค้นจาก http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2544/mem0344rk_ch2.pdf; 2538.
- ณัฐฉัตร บุตรดี. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกลประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545.
- Vibulsresth, S., S. Ratanasermping and R. Suwanweelakamtorn (1994) Forest Fire Monitoring and Assessment by using TM Image Source: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1994/ts5/ts5001a.shtml>. , January 25, 2002.
- Amy G., G. Xing, W. Ning and S. Joseph. 1994. GIS Expert System Technologies Improve Forest Fire Management Technique. *GIS World*. 7:2.
- สุวิทย์ อ่องสมหวัง. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทางด้านป่าไม้. ส่วนวิเคราะห์ทรัพยากรป่าไม้, สำนักวิชาการป่าไม้กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ; 2542.
- อุดมศักดิ์ ปาลกะวงศ์ (มปป.): ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการจัดการไฟป่า. สืบค้นจาก: <http://www.gistda.or.th/main/>
- วรวิจน์ เอื้ออภิญญกุล (มปป.): ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมในการติดตามและจัดการไฟป่า. สืบค้นจาก <http://www.gistda.or.th/main/>
- พัฒนพงษ์ จันทร์คำ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการสำรวจระยะไกลประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดไฟป่าในหน่วยจัดการแม่หวดของป่าสาธิตแม่หวด อำเภอวารังจังหวัดลำปาง วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหา

บัณฑิต (วนศาสตร์) สาขาการจัดการป่าไม้ ภาควิชาการ
จัดการป่าไม้ ปรธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ประสงค์ สงวนธรรม, วท.ม. 92หน้า;
กรุงเทพฯ;2550.

ความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการทำน้ำหมักชีวภาพ

A Possibility of Electricity Production from Bio-Fermented Juice Manufacturing

สุธิดา บุญนาค¹, วาสนา หวานอารมณ¹, เพชร เพ็งชัย^{2*}

Sutida Boonnak¹, Wassana Wan-A-Rom¹, Petch Pengchai²

Received: 30 September 2016 ; Accepted: 1 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการหมักน้ำหมักชีวภาพ การทดลองช่วงแรกเป็นศึกษารูปแบบถังหมักและสูตรน้ำหมักชีวภาพที่สามารถใช้สร้างเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพได้ ผลการทดลองพบว่าถึงปฏิกรณ์เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพห้องเดี่ยวแบบไม่ใช้เมมเบรนที่สร้างขึ้นจากถังหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชร่วมกับหัวเชื้ออีเอ็ม มีค่าความต่างศักย์ในวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: OCV) สูงสุดและสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า (Short Circuit Current: SCC) ได้คงที่ที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักน้ำหมักชีวภาพอีก 2 สูตร คือ 1) สูตรเปลือกผลไม้ร่วมกับสารเร่ง พด.2 และ 2) สูตรเศษอาหารร่วมกับสารเร่ง พด.6 การทดลองช่วงที่สองเป็นการสำรวจค่าทางไฟฟ้าตลอดจนคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพตามรูปแบบและสูตรหมักที่เลือก ผลการทดลองพบว่าหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชและหัวเชื้ออีเอ็มเป็นระยะเวลา 20 วัน ทำให้เกิดค่า OCV อยู่ในช่วง 457 - 780 mV มีค่า SCC อยู่ในช่วง 4.25 - 7.78 mA และมีค่ากำลังไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Electrical Power) อยู่ระหว่าง 1.942 - 6.028 mW ซึ่งคิดเป็นค่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ความหนาแน่นความต่างศักย์ไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 778 mA/m², 78 V/m² และ 606.84 mW/m² ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบต่างๆในถังหมักมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาหมัก โดยปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.84 mg/l - 13.11 mg/l ปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง 1.57 mg/l - 516.65 mg/l ปริมาณซีโอดี อยู่ในช่วง 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้วมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มใสคล้ายกับกากน้ำตาลที่ผสมกับน้ำ ไม่ขุ่นดำ มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 3-4 และมีกลิ่นฉุนเหมือนกลิ่นแอลกอฮอล์ผสมกับกลิ่นเปรี้ยวของกากน้ำตาล แต่ไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า

คำสำคัญ: น้ำหมักชีวภาพ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ความต่างศักย์ในวงจรเปิด ซีโอดี

Abstract

This research is an approach to produce electricity from bio-fermented juice manufacturing. There were two phases to the experiment. The first phase was carried out to determine the types of bio-fermented juice and fermenting tanks that could possibly develop into a microbial fuel cell for electricity production. As a result, a membrane-less single chamber fermenting tank producing bio-fermented juice made from weed and Effective Microorganisms (EM) proved to be the best alternative. Its open circuit voltage (OCV) was the highest while its short circuit current (SCC) remained constant compared to 2 other types of fermentation juices, 1) fruit peel fermented with no. 2 bio-fertilizer (LDD2) and 2) food waste fermented with no. 6 bio-fertilizer (LDD6). The second phase of the experiment was done to investigate the electrical parameters as well as the quality of bio-fermented juice made from weed and EM. The results revealed that within 20 days of the fermenting period, the membrane-less single chamber produced OCV in the range of 457 - 780 mV, SCC in the range of 4.25 - 7.78 mA and ideal electrical power between 1.942 - 6.028 mW. Consequently,

¹ นิสิตปริญญาตรี, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Bachelor degree student, ² Assistant Professor, Environmental Engineering Laboratory, Engineering Faculty, Mahasarakham University, Mahasarakham, Thailand.

* Corresponding author: Petch Pengchai, E-mail: petchpengchai@zoho.com

the calculated maximum current density, potential density and power density were 778 mA/m², 78 V/m², and 606.84 mW/m², respectively. Concentrations of the following compounds in the fermented juice tended to decline over the period of fermentation. Ammonia was in the range of 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l, nitrate 0.84 mg/l - 13.11 mg/l, nitrite 1.57 mg/l - 516.65 mg/l, and Chemical Oxygen Demand (COD) was 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l. Color of the completely fermented juice was dark brown like that of molasses mixed with water without dark turbidity; its pH ranged between 3-4. The juice smelled like an alcohol mixed with sour smell of molasses. No rotten smell was observed.

Keywords: bio-fermented juice, microbial fuel cell, open circuit voltage, short circuit current, COD

บทนำ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ทั้งในระดับครัวเรือน ระดับชุมชน ตลอดจนระดับอุตสาหกรรม และขณะนี้ทั่วโลกกำลังประสบกับปัญหาขาดแคลนเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจาก ถ่านหินปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่เดิมมีราคาสูงขึ้นและมีปริมาณลดน้อยลง จากเหตุดังกล่าว จึงก่อให้เกิดแนวคิดในการหาแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนเพื่อทดแทนแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป โดยต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ตามมาและเป็นที่ยอมรับของสังคม ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการหมักไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น การผลิตน้ำหมักและปุ๋ยชีวภาพ การกำจัดขยะอินทรีย์ และการนำไปใช้ผลิตเชื้อเพลิงแก๊สชีวภาพ เป็นต้น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่จับตามองภายในสิบกว่าปีที่ผ่านมาคือ เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cells)

เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ (Microbial fuel cells) นำพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีไปเปลี่ยนเป็นกระแสไฟฟ้าผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ เมื่อจุลินทรีย์ย่อยเศษขยะอาหารหรือชีวมวลจะทำให้ได้แก๊สมีเทนและเกิดอิเล็กตรอนที่สามารถเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าแอโนดไปยังขั้วไฟฟ้าแคโทด จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ หากสามารถนำกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาใช้ผลิตไฟฟ้าควบคู่กับการหมักแก๊สชีวภาพ การทำน้ำหมักชีวภาพและการทำปุ๋ยหมักชีวภาพ ก็จะสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไปใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่งโดยไม่เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม ไม่มีมลพิษตกค้าง ช่วยจัดการปัญหาขยะจากเศษอาหารและชีวมวล เป็นต้น

ปัจจุบันการค้นคว้าและวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเริ่มได้รับความสนใจ ปิยรัตน์ และคณะ¹ ได้สร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากน้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรดและเตรียมจากกล้วย ผลการทดลองพบว่าความต่างศักย์ของเซลล์สูงสุดมีค่า 500 mV หรือ 0.5 V โดยความต้านทานรวมของวงจรเซลล์ไฟฟ้ามีค่า 4 kΩ เมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 3 วัน เซลล์ไฟฟ้าของ

น้ำหมักชีวภาพที่เตรียมจากสับปะรดมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (current density) ความหนาแน่นของของศักย์ต่างศักย์ (potential density) และ ความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า (power density) เท่ากับ 25.52 mA/m², 104.69 V/m² และ 12.59 mW/m² ตามลำดับ Satish และคณะ² ศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากน้ำชะขยะเศษอาหารโดยสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพชนิดห้องคู่ใช้เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนกั้นระหว่างห้องแคโทดและแอโนด ผลการทดลองพบค่าความต่างศักย์ในวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: OCV) ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเท่ากับ 1.12 V สำหรับน้ำชะขยะที่มีชีโอดี 5000 mg/L เมื่อนำเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพมาต่อกับความต้านทาน 105 Ω พบว่ามีค่า current density เท่ากับ 66.75 A/m³ ค่า power density เท่ากับ 15.14 W/m³ Azizul และคณะ³ ทดลองนำขยะห้องครัวที่ประกอบไปด้วยเศษผัก ผลไม้และของเสีย 120 g ชากใบไม้ 120 g หัวเชื้ออีเอ็ม (Effective Micro-organisms: EM) 15 g และน้ำกลั่น 80 g ใส่ลงในภาชนะสี่เหลี่ยมขนาด 10 x 10 cm หมักทิ้งไว้ 45 วัน ที่อุณหภูมิ 25 °C ผลการทดลองพบว่าค่า OCV ของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพเท่ากับ 590 mV เมื่อนำเซลล์เชื้อเพลิงมาต่อกับความต้านทาน 51 Ω พบว่าได้ค่า current density เท่ากับ 1156 mA/m² ค่า power density เท่ากับ 682 mW/m²

จากงานวิจัยข้างต้น กล่าวได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพผลิตได้ยังมีปริมาณน้อย และวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ เช่น เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ขั้วไฟฟ้า และสารนำไฟฟ้า ยังคงหาไม่ได้ง่ายนักในชุมชน แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยเราเกิดกระแสความนิยมผลิตน้ำหมักชีวภาพใช้เอง จึงมีหลายครัวเรือนที่มีกิจกรรมในการหมักเศษผักผลไม้และเศษอาหาร เรียกได้ว่ามีวัตถุดิบพร้อมสรรพในการผลิตเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ ในการนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาการหมักน้ำหมักชีวภาพในระดับครัวเรือนให้กลายเป็นเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพโดยงดการใช้อุปกรณ์ที่หาได้ยากในท้องถิ่น เช่น เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือ ขั้วไฟฟ้าประเภทโลหะราคาสูง ตลอดจนสารเคมีนำไฟฟ้าจำพวกโลหะหนักที่เป็นพิษ เพื่อเป็นแนวทาง

ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกให้กระจายเข้าไปในการใช้ชีวิตประจำวันของประชาชนและการแก้ไขปัญหาการจัดการขยะอินทรีย์ในปริมาณมากต่อไป

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

สำรวจความต่างศักย์ กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ และคุณภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยวที่สร้างจากถังหมักน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในครัวเรือน

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. การสร้างถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ 1 ถัง สร้างมาจากถังดำพร้อมฝาปิดขนาด 57 ลิตร ถูกเจาะรูที่ถัง 2 รู ขนาด 1/2" รูที่ 1 ห่างจากก้นถังประมาณ 10 เซนติเมตร และรูที่ 2 อยู่ห่างจากรูที่ 1 ประมาณ 15 เซนติเมตร ติดตั้งประตุน้ำ เพื่อจ่ายต่อการเก็บตัวอย่างน้ำในการนำไปตรวจวัดค่าต่างๆ (Figure1)



Figure 1 Single-chamber Microbial fuel cell used in this study

2. การทำน้ำหมักชีวภาพ

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 1 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพ สูตรใช้พืช (เปลือกผลไม้) และสารเร่ง พด.2 เริ่มจากหั่นเปลือกผลไม้และเศษผักให้เป็นชิ้นเล็กๆ ผสมคลุกเคล้ากับกากน้ำตาลในถังที่เตรียมไว้ดังแสดงใน Figure 2 นำสาร พด. 2 ผสมกับน้ำสะอาด 10 ลิตร ที่เตรียมไว้ คนจนให้สาร พด.2 แดกตัว และละลายในน้ำ เทน้ำที่ผสมกับสาร พด.2 ลงในถังหมัก 55 ลิตร คนให้ส่วนผสมทุกอย่างเข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ในที่ร่ม ปิดฝาแต่ไม่ต้องต้อนสนิทมาก เพราะจะมีแก๊สเกิดขึ้นระหว่างการหมัก ตั้งทิ้งไว้ 15-20 วัน



Figure 2 Fruit peel fermented with no. 2 bio-Fertilizer (LDD2)

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 2 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพ สูตรใช้เศษอาหารและสารเร่ง พด.6 เริ่มจากนำเศษอาหาร 10 กิโลกรัม และกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม ผสมลงในถังที่เตรียมไว้ดังแสดงใน Figure 3 ละลายผง พด.6 ลงในน้ำ 10 ลิตร ที่เตรียมไว้ แล้วเทลงในถังหมักคลุกเค้าหรือคนให้เข้ากัน ปิดฝาไม่ต้องต้อน ทิ้งไว้ในที่ร่มอากาศถ่ายเทตั้งทิ้งไว้ ใช้เวลาหมัก 20 วัน



Figure 3 Food waste fermented with no. 6 bio-fertilizer (LDD6)

ถังปฏิกรณ์ถังที่ 3 ใช้หมักน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชและหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มที่นำมาจากนายสุข หวานอารมณ์ การหมักเริ่มจากนำวัชพืช เช่น หญ้า ผักตบชวา ยอดสะเดา สาบเสือ เป็นต้น มาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆบรรจุลงในถังที่เตรียมไว้ ดังแสดงใน Figure 3 ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็ม 1.5 ลิตร และกากน้ำตาล 2 กิโลกรัม เทลงในน้ำ 55 ลิตรที่เตรียมไว้ แล้วนำน้ำดังกล่าวเทลงในถังที่มีวัชพืช และปิดฝาเก็บไว้ในที่ร่มเมื่อหมักได้ 3 วัน ให้คนวัชพืชในถัง หมักต่ออีกเป็นเวลา 20 วัน จากนั้นเทน้ำในถังใส่ขวด แล้วกรองเศษวัชพืชออก



Figure 4 Weed fermented with EM

3. การวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทด

ขั้วแอโนดและขั้วแคโทดทำจากแผ่นกราไฟต์จากบริษัทโตโย ทันโตะ ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 5 เซนติเมตร โดยนำสายไฟทองแดงยาวประมาณ 1 เมตร มาต่อกับขั้วแล้วหนีบกับแผ่นกราไฟต์ไว้ แผ่นกราไฟต์ขั้วแอโนดถูกวางอยู่บริเวณด้านล่างของถังถึงความสูงจากก้นถังถึงประมาณ 10 เซนติเมตร ส่วนแผ่นกราไฟต์ขั้วแคโทดจะวางบริเวณผิวน้ำ โดยครึ่งหนึ่งของแผ่นจะจุ่มลงในน้ำหมักชีวภาพ กส่วนอีกครึ่งหนึ่งของแผ่นจะสัมผัสกับส่วนที่เป็นที่ว่างเหนือผิวน้ำ ทั้งนี้ภายในถังหมักเหลือพื้นที่ส่วนบนไว้ประมาณ 10 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการระเบิดเนื่องจากแรงดันก๊าซในถังหมัก

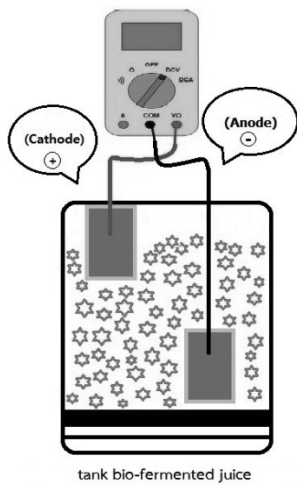


Figure 5 Positions of anode and cathode in single-chamber microbial fuel cell

วิธีการศึกษา

1. การทดลองหาสูตรหมักน้ำหมักชีวภาพและรูปแบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพจากถังน้ำหมัก

ใช้ถังปฏิกรณ์เซลล์เชื้อเพลิง 3 ถัง แต่ละถังใช้หมักน้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรรวมเป็นทั้งหมด 3 สูตรตั้งได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น ขณะดำเนินการหมักได้ตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดโดยไม่ต่อตัวต้านทาน (OCV) และวัดค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นไปได้โดยการต่อขั้วแคโทดกับขั้วแอโนดเข้าด้วยกันโดยไม่ผ่านตัวต้านทาน (Short Circuit Current: SCC) การวัดทำในเวลา 12 นาฬิกา และ 24 นาฬิกา คิดเป็นความถี่ 2 ครั้งต่อวัน โดยจะต่อไฟฟ้าเฉพาะเวลาที่จะวัด ทำเช่นนี้อย่างต่อเนื่อง ตลอดระยะเวลาหมัก 20 วัน

2. การทดลองเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

นำผลที่ได้จากการทดลองที่ 1 มาเลือกสูตรหมักน้ำหมักชีวภาพที่จะใช้ในการทดลองนี้ จากนั้นจึงเริ่มหมักน้ำหมักใหม่อีกครั้งตามสูตรที่เลือก ตรวจวัดค่า OCV ค่า SCC อุณหภูมิภายในถังหมักและอุณหภูมิภายนอกถัง ในเวลา 12 นาฬิกา และ 24 นาฬิกา คิดเป็นความถี่ในการวัด 2 ครั้งต่อวันเป็นเวลา 20 วัน นอกจากนี้ได้เก็บตัวอย่างน้ำหมักในถังทุกๆ 3 วัน เพื่อวิเคราะห์ค่าพีเอช ค่าซีโอดี ค่าความเข้มข้นของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วได้ตรวจสอบค่าพีเอช สี และ กลิ่น เพื่อวิเคราะห์ความสมบูรณ์ของน้ำหมักชีวภาพที่หมักได้

ผลการศึกษา

1. ผลการศึกษาเพื่อเลือกสูตรน้ำหมักชีวภาพและเลือกรูปแบบถังปฏิกรณ์

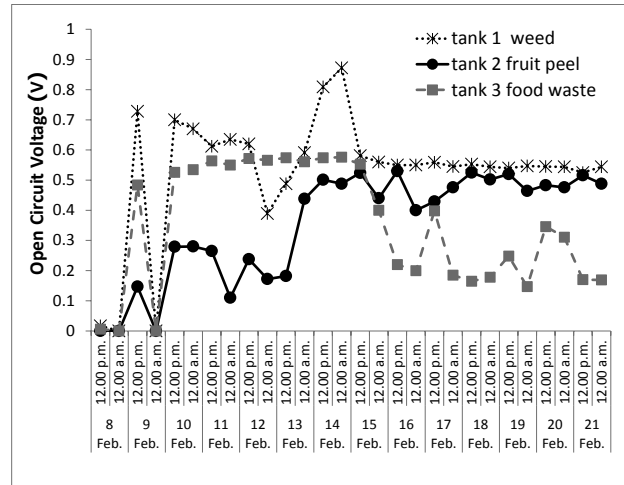


Figure 6 Change in OCV during fermentation period.

จากผลการทดลองใน Figure 6 ถังน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมีค่า OCV สูงสุดอยู่ที่ 0.876 V ในวันที่ 6 ของการทำน้ำหมัก และหลังจากวันที่ 7 ของการทำน้ำหมัก มีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ที่ประมาณ 0.5 - 0.6 V ส่วนถังน้ำหมักชีวภาพจากเปลือกผลไม้มีค่า OCV สูงสุดอยู่ที่ 0.530 V ในวันที่ 8 ของการทำน้ำหมัก และหลังจากวันที่ 8 ของการทำน้ำหมักพบว่ามีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ในช่วง 0.4 - 0.5 V สำหรับถังน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหารมีค่า OCV สูงสุดเท่ากับ 0.576 V ในวันที่ 6 ของการทำน้ำหมัก และมีแนวโน้มที่จะลดลงเหลือ 0.1-0.3 V ในช่วงวันที่ 7-14 ของการทำน้ำหมัก หลังจากวันที่ 15 ของการทำน้ำหมักค่า OCV มีแนวโน้มที่จะคงที่อยู่ในช่วง 0.3-0.4 V ผลนี้แสดงให้เห็นว่าการหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชให้ค่า OCV ที่สูงและคงที่กว่าการหมักน้ำหมักชีวภาพสูตรอื่นๆ

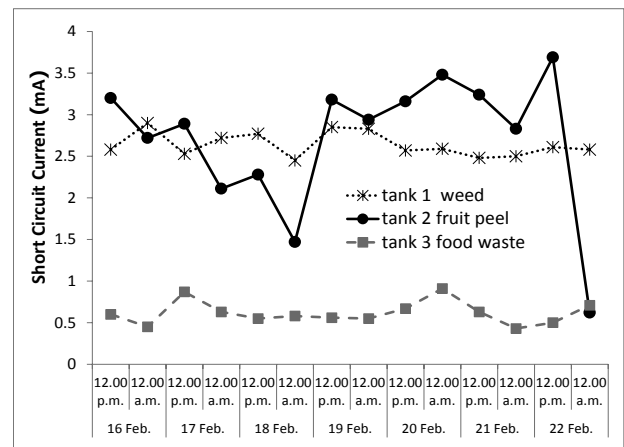


Figure 7 Change in SCC during fermentation period.

ในส่วนของคุณค่า SCC ผลเป็นดังแสดงใน Figure 7 พบว่าถังน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมีค่า SCC ก่อนข้างคงที่อยู่ในช่วง 2-3 มิลลิแอมป์ ส่วนถังน้ำหมักชีวภาพจากเปลือก

ผลไม้นั้นพบว่าค่า SCC สูงสุดอยู่ที่ 3.69 มิลลิแอมป์ แต่เมื่อเวลาผ่านไปกลับมีค่าขึ้นๆลงๆ ไม่ค่อยคงที่โดยช่วงที่ SCC มีค่าต่ำก็ลดลงเหลือเพียง 0.4 มิลลิแอมป์ สำหรับถึงน้ำหมักชีวภาพจากเศษอาหาร แม้จะมีค่า SCC อยู่ในช่วง 0.4-1 มิลลิแอมป์ ซึ่งคงที่กว่าถึงน้ำหมักชีวภาพทั้ง 2 สูตรที่ผ่านมา แต่ก็ถือว่าผลิตกระแสไฟฟ้าได้น้อยมาก จากผลข้างต้น ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกสูตรน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชซึ่งมีค่า OCV และ SCC อยู่ในระดับไม่ต่ำและค่อนข้างเสถียรตลอดระยะเวลาหมักมาใช้ในการทดลองส่วนต่อไป

2. ผลการเดินระบบเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ

1) ค่าทางไฟฟ้าระหว่างการหมักน้ำหมักชีวภาพ

จากวัชพืช

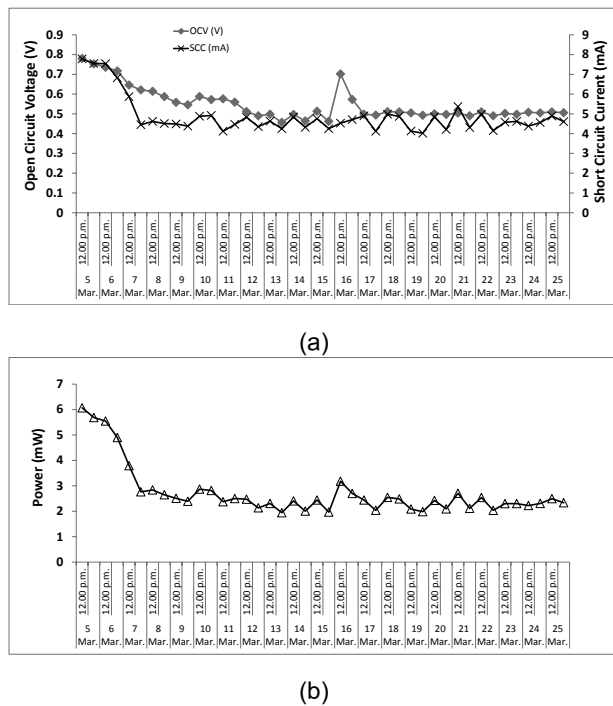


Figure 8 (a) Changes of OCV and SCC during fermentation period, (b) Change of ideal electrical power during fermentation period

พบว่า OCV และ SCC ของถึงหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชในการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0.475-0.78 V และ 4.02-7.78 มิลลิแอมป์ เมื่อนำค่า OCV และ SCC ที่วัดได้มาคูณกันจะได้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในอุดมคติซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1.942-6.028 มิลลิวัตต์ ดังแสดงใน Figure 8 ทั้งนี้ Current density, Potential density และ Power density สูงสุดต่อพื้นที่ผิวขั้วแอโนดของถึงน้ำหมักมีค่าเท่ากับ 778 มิลลิแอมป์ต่อตารางเมตร 78 โวลต์ต่อตารางเมตร และ 606.84 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

2) ค่าทางเคมีระหว่างการหมักน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืช

ความเข้มข้นซีโอดี แอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรท ของน้ำหมักบริเวณด้านบนและด้านล่างถึงเป็นดังแสดงใน Figure 9 ในส่วนของซีโอดีพบว่าน้ำหมักด้านบนถึงมีค่าต่ำกว่าด้านล่างของถึงเล็กน้อย แต่ในส่วนของแอมโมเนีย ไนไตรท และไนเตรทนั้นพบว่าน้ำหมักทั้งด้านบนและด้านล่างถึงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยรวมแล้วพบว่าตลอดระยะเวลาหมักภายในถึงหมักมีปริมาณแอมโมเนียอยู่ในช่วง 141.51 mg/l - 1433.11 mg/l ปริมาณไนเตรทอยู่ในช่วง 0.84 mg/l - 13.11 mg/l ปริมาณไนไตรทอยู่ในช่วง 1.57 mg/l - 516.65 mg/l ปริมาณซีโอดี อยู่ในช่วง 43,478.26 mg/l - 150,000.00 mg/l

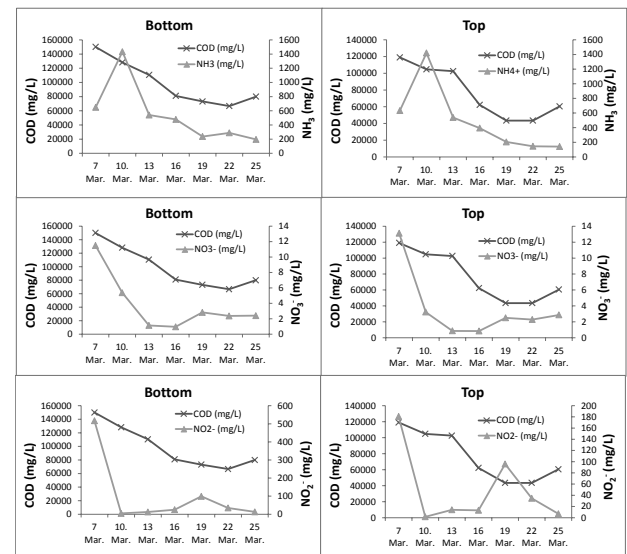


Figure 9 Comparison among concentrations of COD, NH₃, NO₃⁻ and NO₂⁻.

เมื่อนำความเข้มข้นของซีโอดี ไนเตรท ไนไตรท์ และแอมโมเนีย ของน้ำหมักบริเวณบนและล่างถึงมาเปรียบเทียบกัน พบว่าความเข้มข้นไนเตรทกับซีโอดีมีแนวโน้มคล้ายคลึงกันคือลดลงในช่วงวันที่ 3-12 และมีค่าคงที่ถึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 12-21 ของการหมักดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งให้เห็นว่าจุลินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายซีโอดีและชนิดที่ย่อยสลายไนเตรทอาจเป็นกลุ่มเดียวกันหรือพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกันจึงย่อยสลายซีโอดี และ ไนเตรท อย่างรวดเร็วในช่วง 12 วันแรกของการหมักและทำงานช้าลงหลังจากวันที่ 12 เป็นต้นไป จากแนวโน้มการลดลงของไนไตรท์ที่กะทันหัน และการเพิ่มขึ้นของแอมโมเนียในช่วง 3-6 วันแรก สันนิษฐานได้ว่ามีจุลินทรีย์อย่างน้อยอีก 1 กลุ่มที่มีบทบาทในถึงหมักนอกเหนือไปจากกลุ่มย่อยสลายซีโอดีที่สร้างความเปลี่ยนแปลงให้กับความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนไตรทในถึงหมัก อย่างไร

ก็ตาม จากข้อมูลที่ได้ในงานวิจัยนี้ ยังไม่พบผลของการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี แอมโมเนีย ไนเตรท และ ไนไตรท ที่มีต่อค่า OCV, SCC และกำลังไฟฟ้าที่ถึงหมักหมักชีวภาพผลิตได้อย่างชัดเจน

3) คุณภาพของน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืช

น้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้วควรมีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3 - 4⁵ ซึ่งในงานวิจัยนี้พบว่าค่าพีเอชของน้ำหมักชีวภาพในวันที่สิ้นสุดการอยู่ในช่วง 3.5-4 ซึ่งถือว่าเหมาะสมแล้วสำหรับน้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์

นอกจากนี้ น้ำหมักชีวภาพควรมีสีคล้ายกับกากน้ำตาลผสมกับน้ำ กล่าวคือมีสีน้ำตาลเข้มใส ไม่ขุ่นดำ สี และควรมีกลิ่นฉุนเหมือนกลิ่นแอลกอฮอล์ผสมกับกลิ่นเปรี้ยวของกากน้ำตาล แต่จะไม่มีกลิ่นเหม็นเน่า⁵ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพที่ได้จากงานวิจัยนี้ (Figure 10) ก็เป็นไปตามเกณฑ์ที่กล่าวมาทุกประการ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำหมักชีวภาพที่ได้เป็นน้ำหมักชีวภาพที่หมักสมบูรณ์แล้ว พร้อมทั้งจะนำไปใช้ประโยชน์



Figure 10 Color of Bio-Fermented Juice

สรุปผลการวิจัย

การหมักน้ำหมักชีวภาพสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยพบว่าถึงน้ำหมักชีวภาพสูตรใช้วัชพืชผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์อีเอ็มให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบ OCV สูงที่สุดและมีกระแสไฟฟ้าแบบ SCC คงที่ที่สุดเมื่อเทียบกับถึงหมักน้ำหมักชีวภาพในอีก 2 สูตรที่ทำการทดลอง นอกจากนี้พบว่าภายในระยะเวลาหมักเพียง 1 วัน ถึงน้ำหมักชีวภาพจากวัชพืชมี OCV สูงสุด 0.78 V มี SCC สูงสุด 7.78 mA และมีค่ากำลังไฟฟ้าในอุดมคติสูงสุด 6.028 mW ซึ่งคิดเป็นค่า Current density ค่า Potential density และค่า Power density สูงสุดเท่ากับ 778 mA/m², 78 V/m² และ 606.84 mW/m² ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัทโตโย ทันโตะ ในความอนุเคราะห์ให้แผ่นกราฟไฟต์มาใช้ในงานวิจัยโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย และขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการตรวจวัดข้อมูลทางไฟฟ้า ตลอดจนขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนในทุกด้านเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. ปิยรัตน์ มูลศรี และคณะ. การผลิตไฟฟ้าจากการหมักขยะอินทรีย์โดยกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ. งานวิจัยประยุกต์ (เคมี) เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 2556.
2. Satish S. Rikame, Alka A. Mungray, Arvind K. Mungray. Electricity generation from acid genic food waste leachate using dual chamber mediator less microbial fuel cell. Department of Chemical Engineering. Sardar Vallabhabhai National Institute of Technology. Surat 395007, India, 2012.
3. M. Azizul Moqsud and K. Omine, Member, BEN Japan. Bio-Electricity Generation by Using Organic Waste in Bangladesh. พ.ศ. 2554; สืบค้นเมื่อ 9 ตุลาคม 2558; ได้จาก <http://benjapan.org/iceab10/30.pdf>
4. สุข หวานอารมณ์. การสัมภาษณ์เพื่อหาข้อมูลในการทำน้ำหมักชีวภาพ, 2559
5. กันยรัตน์ โหละสุด และคณะ. การผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำเสียโดยใช้เชื้อเพลิงจุลชีพแบบห้องเดี่ยว. เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550.

ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในบริเวณทำงานและสภาวะสุขภาพของพนักงาน ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง : กรณีศึกษา เทศบาลนครอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัด อุบลราชธานี

The amount of volatile organic compounds (VOCs) in the working area and health conditions of workers in fuel stations: a case study in City Municipality Ubon Ratchathani province

สุภาณี จันทศิริ,¹ สมเจตน์ ทองดำ,² วิสวะ มาลาकरण,³ พรไพลิน บุญณะ⁴

Supanee Junsiri,¹ Somjet Thongdam,² Wissawa malakan,³ Pornpilin Bunna⁴

Received: 30 September 2016 ; Accepted: 12 January 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษา ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และสภาวะสุขภาพของพนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง 8 แห่ง จำนวน 47 คน ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหย และใช้แบบสอบถามเก็บข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการศึกษา พบว่า ปริมาณสาร TVOCs ในบรรยากาศการทำงานทั้ง 8 สถานีบริการ มีปริมาณสาร TVOCs ที่ตรวจวัดได้อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จำนวน 5 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ตรวจวัดได้อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 1 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยเท่ากับ 420 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และปริมาณสาร TVOCs ที่ตรวจวัดได้อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ จำนวน 2 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งทุกสถานบริการมีค่าเกินมาตรฐาน IQA ด้านสภาวะสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างมีอาการเจ็บปวมน้ำหนักที่สุดคือ อ่อนเพลีย ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ คิดเป็นร้อยละ 55.3, 51.1 และ 44.7 ตามลำดับ ซึ่งความรุนแรงถึงขั้นเข้าโรงพยาบาลคิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนอาการแบบเรื้อรังที่พบมากที่สุดคือ ภาวะกระดูกพรุน หงุดหงิดและความจำไม่ดีหรือหลงลืม เบื่ออาหาร และนอนไม่หลับ คิดเป็นร้อยละ 51.1, 27.7 และ 25.5 ตามลำดับ ดังนั้นสถานีบริการควรมีการเพิ่มการระบายอากาศหรือให้พนักงานปฏิบัติงานในที่โล่งที่มีอากาศถ่ายเท ทำการติดตั้งระบบควบคุมไอระเหยน้ำมันที่หัวจ่ายและใช้ตู้จ่ายน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ รวมถึงการจัดบริการตรวจสุขภาพประจำปี และแยกบริเวณรับประทานอาหารออกจากบริเวณปฏิบัติงาน

คำสำคัญ: สารอินทรีย์ระเหยง่าย สภาวะสุขภาพ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

Abstract

The purpose of this research was to study the amount of volatile organic compounds (VOCs) and health conditions of 47 workers in 8 fuel stations at City Municipality, Ubon Ratchathani province. VOC's measuring equipment and questionnaire was used to collect data. Analyzed by frequency, percentage, average and standard deviation.

The study found that the amount of Total volatile organic compounds (TVOCs) in ambient air at 5 fuel stations was in high level which maximum concentration was 600 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. The amount of TVOCs in one fuel station was in medium level which average concentration was 420 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. Two fuel stations were in low level which average concentration was 400 $\mu\text{g} / \text{m}^3$. However, the resulted showed the amount of TVOCs of all fuel station exceeded IQA standards. For health conditions study found acute symptoms most common are fatigue, headache, dizziness (55.3

^{1,2}อาจารย์, ^{3,4}นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาสาธารณสุขศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี

^{1,2}Lecturer, ^{3,4}Bachelor degree student, College of Medicine and Public Health, Ubon Ratchathani University, Warin Chamrap District, Ubon Ratchathani 34190, Thailand

%, 51.1% and 44.7% respectively) which hospitalization for 6.4%. Most common chronic symptoms are anxiety and irritability, poor memory or forgetfulness, loss of appetite and insomnia (51.1% 27.7% and 25.5% respectively). Therefore the fuel station should consider to increase ventilation or assign the worker to operate in well ventilated area. Consider to install the vapor control systems and effective of fuel dispensers. Also provide annual health checkup and a separate dining area from working area.

Keywords: VOCs, health, fuel stations.

บทนำ

การใช้พลังงานจากปิโตรเลียมมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศ โดยจำเป็นสำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง และภาคธุรกิจบ้านพักอาศัยและบริการ ซึ่งเชื้อเพลิงปิโตรเลียมหลักได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันแก๊สโซฮอล์ น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา และก๊าซปิโตรเลียมเหลว ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีหลายชนิด ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ น้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล จากการศึกษาการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่า สามารถรายงานค่าความเข้มข้นสารวีไอซี 10 ชนิดหลักในหน่วยของไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และพบในทุกพื้นที่ศึกษา เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิล อีเทอร์, เบนซิน, ไอโซออกเทน, เอ็น-เฮปเทน, โทโลอีน, เอทิลเบนซิน, เอ็มพี-ไซลีน, โอ-ไซลีน/สไตลีน, 3-เอทิลเบนซิน และ ดีคาแนล จากสารละลายมาตรฐานวีไอซีทั้ง 51 ชนิด¹ นอกจากนี้ในน้ำมันเบนซินยังเติมสาร MTBE (เมทิลเทอร์เชียรีบิวทิล อีเทอร์) เพื่อเพิ่มค่าออกเทนสำหรับน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันโซล่า ส่วนประกอบหลัก คือ พาราฟินที่ไม่แยกกิ่งสาขา มีคาร์บอนหลายตัว เช่น เบนซิน ทูโลอีน ออร์โธไซลีน พาราไซลีน เป็นต้น² การระเหยของสาร(VOCs) จากระบบการกักเก็บและแหล่งจำหน่ายน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นสาเหตุที่สำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศโดยเฉพาะในเขตเมือง และเขตอุตสาหกรรมซึ่งกำลังเป็นปัญหาที่ขยายวงกว้างไปทุกแห่ง นอกจากนี้ยังพบว่าสารที่ระเหยจากน้ำมันเชื้อเพลิงและไอเสียรถยนต์ ถือเป็นแหล่งกำเนิดสารวีไอซีที่สำคัญต่อกลุ่มคนทำงานและคนทั่วไปที่ได้รับสัมผัส โดยเฉพาะที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงถึงแม้ว่าผู้ประกอบการทางด้านธุรกิจน้ำมันได้มีการติดตั้งเครื่องมือป้องกันสารอินทรีย์ระเหยไว้ในเบื้องต้นแล้วก็ตาม อย่างไรก็ตามคนทั่วไปก็อาจรับสัมผัสสารดังกล่าวได้ในขณะที่เติมน้ำมันตามสถานีบริการน้ำมัน รวมถึงกลุ่มคนงานพนักงานขนส่งน้ำมัน และพนักงานที่ทำงานในสถานีบริการน้ำมันที่ต้องทำงานสัมผัสกับน้ำมันเชื้อเพลิงโดยตรงเป็นเวลาหลายชั่วโมง¹

จากรายงานสุขภาพคนไทย ปี พ.ศ. 2550 พบว่าดัชนีชี้วัดสุขภาพคนไทยที่สำคัญ 14 ตัวชี้วัดนั้น ภาวะสมองเสื่อมและสุขภาพแรงงาน เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญมาก พนักงานในสถานีบริการน้ำมันมีความเสี่ยงในการได้รับสารอินทรีย์ไอระเหย ซึ่งมีอันตรายต่อสุขภาพหลายด้าน จะมีมากหรือน้อยแล้วแต่ชนิดและความแตกต่างของสารเคมี ปริมาณที่ได้รับสภาวะทางชีวภาพของร่างกาย เมตาบอลิซึมและปัจจัยอื่น ๆ หากได้รับ VOCs บางชนิดในปริมาณมาก จะทำให้เกิดการทำลายระบบประสาทส่วนกลาง และมีอาการกดประสาท เกิดอาการทันทีหรือหมดสติได้ ในการได้รับปริมาณน้อยและนานจะมีปัญหาเรื้อรัง อาจทำให้เกิดมะเร็งและความเสื่อมสภาพของเนื้อเยื่ออวัยวะภายในได้ด้วย การเกิดพิษมีกลไกมาจากคุณสมบัติทางเคมีของ VOCs ที่ทนทานต่อการสลายตัวทางชีวภาพ แต่สามารถรวมตัวกับสารชีวโมเลกุล ดีเอ็นเอ โปรตีน ลิปิดได้ ทำให้ปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ถูกรบกวนและหลุดชะงัก สารอินทรีย์ระเหยง่ายต่าง ๆ เป็นสารที่มีผลกระทบต่อระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบประสาท ระบบเลือด เป็นต้น สารอินทรีย์ระเหยง่ายถูกจัดว่าเป็นสารอันตรายโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เบนซิน ถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง (เบนซิน โทลูอีน เอทิลเบนซิน ไซลีนรวมเรียกว่า บีเทค) ดังนั้น สารอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆ เหล่านี้จึงปนเปื้อนในอากาศของเมืองที่การจราจรแออัดมากขึ้น และผู้ที่เปื้อนพนักงานในสถานีบริการเชื้อเพลิงเป็นกลุ่มเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบทางสุขภาพอย่างมาก³ นอกจากนี้ ยังมีกัมมะถันเป็นส่วนประกอบ ความเป็นพิษมีลักษณะคล้ายคลึงกัน คือ พิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง พิษระคายเคืองที่ผิวหนังและเยื่อต่างๆ พิษต่อระบบทางเดินหายใจ เช่น ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินหายใจ ระคายเคืองต่อผิวหนัง ในกรณีที่ได้รับโดยการกินทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อบุทางเดินอาหาร ก่อให้เกิดอาการเสียงแหบ ไอ ปวดท้อง อาเจียน พิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ มึนงง คลื่นไส้ อาเจียน ประสาทหลอนและซึม วิงเวียนกระวนกระวาย เมื่ออาหาร และเมื่อได้รับพิษสะสมในร่างกายเป็นเวลานานอาจทำให้เป็นมะเร็งได้ ทั้งนี้พนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีโอกาสสัมผัสสาร

มลพิษต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมันจากไอเสียรถยนต์ การระเหยของน้ำมันขณะเติมน้ำมันรถยนต์ อย่างเช่นน้ำมันเบนซิน ช่องทางในการรับสัมผัสสารระเหยคือ การสัมผัสทางระบบทางเดินหายใจและผิวหนัง ซึ่งพบว่าในสหรัฐอเมริกาและแคนาดา กำหนดให้มีสาร เบนซินไม่เกินร้อยละ 1 น้ำมันในประเทศไทยกำหนดไว้ไม่เกิน ร้อยละ 3.5² ผลการศึกษาระดับสารเบนซินในอากาศในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงพบความเข้มข้น 121.67ppb² สารเบนซินในบรรยากาศบริเวณสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และบริเวณท้องถนนทำให้เบนซินมีโอกาสเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทั้งทางเดินหายใจ ทางผิวหนัง และทางการกินโดยปนเปื้อนมากับอาหาร ถ้าไม่มีการป้องกัน และสูดดมที่สูด และจากปริมาณเบนซินที่ตรวจวัดได้ว่ามีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานสารเคมีในบรรยากาศการทำงานนั้น พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการสะสมของสารในระยะยาวแม้รับสัมผัสที่ระดับความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐาน⁴

ในปัจจุบันจังหวัดอุบลราชธานีมีจำนวนสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 749 แห่ง ในเขตอำเภอเมืองอุบลราชธานี มีจำนวนสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น จำนวน 54 แห่ง โดยในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี มีจำนวนสถานีบริการที่ขึ้นทะเบียนสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 8 แห่ง จึงส่งผลต่อการเกิดสาร VOCs แพร่กระจายอยู่ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น จึงกล่าวได้ว่าอำเภอเมืองอุบลราชธานีเป็นตัวแทนที่น่าสนใจในการศึกษาเรื่องสาร VOCs ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากมีการเพิ่มขึ้นของจำนวนยานยนต์ในจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่างๆ เหล่านี้มักปนเปื้อนในอากาศของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และผู้ที่เป็พนักงานในสถานบริการเชื้อเพลิงเป็นกลุ่มเสี่ยงที่จะได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายอันนำไปสู่ผลกระทบทางสุขภาพ

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงและสภาวะสุขภาพของพนักงานที่ทำงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้กรณีศึกษาเขตเทศบาลอุบลราชธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จะใช้เป็นแนวทางในการวางแผนป้องกันและลดผลกระทบที่จะเกิดต่อสุขภาพของพนักงานในขณะปฏิบัติงานต่อไป

วิธีการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive

study)

2. กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร คือ สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภท ก ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี มีจำนวน 8 แห่ง (งานสุขาภิบาลและอนามัยสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อม เทศบาลนครอุบลราชธานี, 2558)

กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง 8 แห่ง จำนวน 47 คน ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling)

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย

3.1 แบบสัมภาษณ์สภาวะสุขภาพของพนักงาน สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขต เทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 33 ข้อ ประกอบด้วย 3 ส่วน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป จำนวน 13 ข้อ ได้แก่ เพศ อายุ สถานภาพ ระดับการศึกษา ตำแหน่ง ประวัติการทำงาน ระยะเวลาในการทำงานต่อสัปดาห์ ระยะเวลาในการทำงานต่อวัน โรคประจำตัว การได้รับการอบรมด้านความปลอดภัย การตรวจสุขภาพประจำปี การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล และการประสบเหตุการณ์สัมผัสสารเคมีในน้ำมันขณะอยู่ที่ทำงาน

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเส้นทางการสัมผัสของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 4 ข้อ

ส่วนที่ 3 สภาวะสุขภาพของพนักงานในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขต เทศบาล นครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 16 ข้อ

3.2 แบบบันทึกการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) โดยการเก็บตัวอย่างบริเวณหัวจ่ายน้ำมันสามจุดคือ ด้านหน้า กลาง และด้านหลัง

3.3 เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยชนิดโฟโตไอออนไนซ์ (Photoionization detectors) อ่านค่าเป็น TVOCs หน่วย mg/m³

3.4 แบบสำรวจข้อมูลทั่วไปและสภาพของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

4. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 ศึกษาข้อมูลของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อกำหนดขอบเขตในการทำวิจัยและ

เก็บรวบรวมข้อมูล โดยแบ่งตามประเภทของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงที่อยู่ในขอบเขตงานวิจัย

4.2 สํารวจจำนวนประชากร เพื่อจัดเตรียมเอกสารและแบบสัมภาษณ์ในการเก็บข้อมูล

4.3 สัมภาษณ์รายบุคคลโดยผู้วิจัยตามแบบสัมภาษณ์

4.4 ผู้วิจัยเก็บรวบรวมและตรวจสอบความสมบูรณ์ของชุดแบบสัมภาษณ์ในแต่ละวัน หากพบความไม่สมบูรณ์หรือบกพร่อง จะกลับไปเก็บข้อมูลซ้ำอีกครั้งจนครบถ้วน

4.5 ทำการลงรหัสข้อมูลวิจัยเพื่อเตรียมการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์

5. ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย การวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ในช่วงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559 รวมระยะเวลาที่ใช้ทำการวิจัย 6 เดือน

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

- ตัวแปรที่ระดับการวัดเชิงคุณภาพ วิเคราะห์ข้อมูล โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percent)

- ตัวแปรที่ระดับการวัดเชิงปริมาณ ได้แก่ อายุ และระยะเวลาการทำงาน วิเคราะห์ข้อมูล โดยค่าสูงสุด (Maximum) ค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเส้นทางการรับสัมผัสของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

- วิเคราะห์ข้อมูล โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percent)

ส่วนที่ 3 สภาพะสุขภาพของพนักงานในสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

- วิเคราะห์ข้อมูล โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percent)

ส่วนที่ 4 ข้อมูลทั่วไปและสภาพของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง

- ตัวแปรที่ระดับการวัดเชิงคุณภาพ ได้แก่ ประเภทของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง และปริมาณรถ วิเคราะห์ข้อมูล โดยการแจกแจงความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percent)

- อุณหภูมิ วิเคราะห์ข้อมูล โดยค่าสูงสุด (Maximum) ค่าต่ำสุด (Minimum) ค่าเฉลี่ย (Average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

- มาตรการควบคุม และสภาพแวดล้อมในการทำงานและรอบ ๆ สถานที่ วิเคราะห์ข้อมูล โดยการพรรณนา

- ปริมาณสาร TVOC วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลจากแบบบันทึกการเก็บตัวอย่างสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งวัดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยเครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์ระเหยง่ายวัดได้ค่าในหน่วย mg/m^3 มาคำนวณ เพื่อแปลงหน่วยเป็น $\mu\text{g}/\text{m}^3$

การเปรียบเทียบหรือเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นของมลพิษอากาศ mg/m^3 เป็น $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (กรมควบคุมมลพิษ) สามารถทำได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$C \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \right) = C_{\text{mg}/\text{m}^3} \times 10^3$$

C = ความเข้มข้นของสารมลพิษในหน่วยน้ำหนักต่อปริมาตร

ส่วนที่ 5 ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากแบบบันทึกการเก็บตัวอย่าง

- วิเคราะห์ข้อมูลโดยนำข้อมูลปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มาเทียบกับ PEL (Permissible Exposure Level) ตามมาตรฐาน Internal Quality Assurance and the European Standards (IQA) ในประเทศสหรัฐอเมริกา⁵ ตาม Table 1

Table 1 The concentration of VOCs in the air in the IQA standards

HOME or Office	
Level (ng/l or $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	mean
< 200	No Risk
200 – 300	normal
301 – 400	Low Risk
401 – 500	Medium risk
> 500	high risk

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างประชากร กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย คิดเป็นร้อยละ 66.0 มีอายุเฉลี่ย 28.62 ปี (S.D. = 11.374) สถานภาพโสด มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 68.1 ศึกษาในระดับชั้นมัธยมศึกษา/ปวช. มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 55.3 ส่วนใหญ่เป็นพนักงานเติมน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 85.1 ไม่มีโรคประจำตัว คิดเป็นร้อยละ 89.4 ระยะเวลาการทำงานในสถานีบริการมีค่ามัธยฐาน ที่ 7 เดือน ($P_{25} = 2$, $P_{75} = 24$) ระยะเวลาการทำงานต่อสัปดาห์เฉลี่ย 6.30 วัน (S.D. =

0.548) ระยะเวลาการทำงานต่อวันเฉลี่ย 11.03 ชั่วโมง (S.D. = 4.302, Min = 8, Max = 24) เคยอบรมด้านความปลอดภัย คิดเป็นร้อยละ 72.3 ไม่เคยตรวจสุขภาพประจำปี คิดเป็นร้อยละ 61.7 มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล คิดเป็นร้อยละ 55.3 โดยใช้ผ้าปิดปาก มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 38.3 รองลงมาคือ เสื้อแขนยาว คิดเป็นร้อยละ 17.0 และถุงมือยาง หรือผ้า คิดเป็นร้อยละ 10.6 เคยประสบเหตุการณ์สัมผัสสารเคมีในน้ำมันขณะอยู่ที่ทำงาน คิดเป็นร้อยละ 70.2 โดยมีน้ำมันหกรด ตามร่างกาย มากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81.8 รองลงมาคือ น้ำมันรั่วไหล แล้วหายใจเอาสารที่ระเหยเข้าไป ร้อยละ 27.3 และน้ำมันเข้าตา คิดเป็นร้อยละ 24.2

เส้นทางการรับสัมผัส ความถี่ในระดับสูงสุด (สัมผัสประจำ) ของเส้นทางการรับสัมผัสสาร พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการสูดดมกลิ่นไอน้ำมันขณะปฏิบัติงานมากที่สุด ร้อยละ 53.2 รองลงมาคือ การสัมผัสน้ำมันทางผิวหนังขณะปฏิบัติงาน และการได้รับประทานมืออาหารในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ร้อยละ 19.1 การได้รับจากการรับประทานหรือเครื่องดื่มขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 17.0

สภาวะสุขภาพ กลุ่มตัวอย่างมีอาการเจ็บป่วยที่พบมากที่สุดคือ อ่อนเพลีย ร้อยละ 55.3 รองลงมาคือ ปวดศีรษะ ร้อยละ 51.1 เวียนศีรษะ ร้อยละ 44.7 ซึ่งรุนแรงถึงขั้นเข้าโรงพยาบาล คิดเป็นร้อยละ 6.4 ส่วนอาการแบบเรื้อรังที่พบมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง คือ กระวนกระวาย หงุดหงิด และความจำไม่ดี/หลงลืม ร้อยละ 51.1 รองลงมาคือ เบื่ออาหาร และนอนไม่หลับ คิดเป็นร้อยละ 27.7 และ 25.5 ตามลำดับ

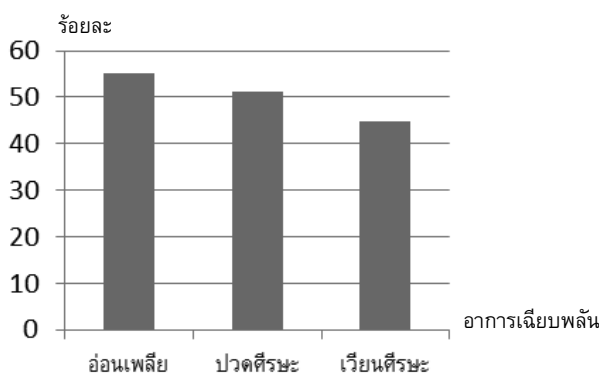


Figure 1 Acute illness of employers

อุณหภูมิ สถานีบริการมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5 °C (S.D. = 3.023) โดยอุณหภูมิสูงสุด คือ สถานีบริการที่ 1 เท่ากับ 33 °C รองลงมาคือ สถานีบริการที่ 4 เท่ากับ 32 °C และอุณหภูมิต่ำสุด คือ สถานีบริการที่ 7 คือ 25 °C

ปริมาณรถที่เข้ามาใช้บริการเติมน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ปริมาณรถที่เข้ามาใช้บริการเติมน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 128 คันต่อวัน โดยปริมาณรถมากที่สุดคือ สถานีบริการที่ 3 จำนวน 260 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 57.31 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 40.77 และปริมาณรถต่ำสุดคือ สถานีบริการที่ 8 จำนวน 21 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 52.38 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 47.62

สภาพแวดล้อมในการทำงานและรอบ ๆ สถานีและมาตรการควบคุมในสถานีบริการ สภาพแวดล้อมในการทำงานและรอบ ๆ สถานีบริการทั้งหมดติดกับถนนใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่มีการจราจรที่หนาแน่น มีชุมชนโดยรอบ ดึกสูงรอบข้างไม่หนาแน่น มีต้นไม้อยู่โดยรอบ ทำให้อากาศถ่ายเทสะดวก ซึ่งสถานีบริการส่วนใหญ่มีมาตรการในการควบคุม โดยได้มีการจัดอบรมด้านความปลอดภัยให้กับพนักงานมากที่สุด รองลงมาคือ มีการมอบอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงาน และซ้อมแผนฉุกเฉินทุก 1 ปี

ผลการวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย ผลการตรวจวัดปริมาณสาร VOCs ในบรรยากาศการทำงาน ทั้ง 8 สถานีบริการ พบว่า มีค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง พบปริมาณสาร VOCs >500 µg/m³ จำนวน 5 สถานีบริการ ส่วนค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง 420 µg/m³ จำนวน 1 สถานี และค่าเฉลี่ยของปริมาณสาร TVOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ พบปริมาณสาร VOCs 301–400 µg/m³ จำนวน 2 สถานีบริการ ซึ่งทุกสถานีบริการมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตาม Internal Quality Assurance and the European Standards (IQA) ทุกแห่ง

Table 2 The amount of volatile organic compounds (VOCs) in the working area

station	The amount of volatile organic compounds (VOCs) (µg/m ³)			
	front	middle	back	average
1	500	600	560	553.33
2	400	400	400	400
3	630	367	600	532.33
4	666	600	300	522
5	450	360	450	420
6	670	630	500	600
7	400	-	400	400
8	600	-	430	515

วิจารณ์และสรุปผล

ปริมาณสาร VOCs ผลการตรวจวัดปริมาณสาร VOCs ในบรรยากาศการทำงานทั้ง 8 สถานีบริการ มีปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จำนวน 5 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 1 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยเท่ากับ $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ จำนวน 2 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งทุกสถานีบริการมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน IQA ทุกแห่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศศิธร เรื่องตระกูลและคณะ⁶ ได้ศึกษาเรื่อง การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารบีเทคผ่านทางอากาศหายใจของพนักงานเก็บค่าผ่านทางพิเศษในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าสารเบนซินและเอทิลเบนซิน ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่ายมีค่าเกินกว่าที่จะยอมรับได้ และผู้ที่ประกอบอาชีพเกี่ยวกับการใช้เชื้อเพลิงและยานพาหนะย่อมมีโอกาสสัมผัสสารดังกล่าวได้โดยตรง เช่น พนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจาก โดยปกติแล้วประเทศไทยเป็นเมืองร้อนส่งผลให้มีอุณหภูมิค่อนข้างสูง ซึ่งอุณหภูมิในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า สถานีบริการมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ $29.5 \text{ }^\circ\text{C}$ (S.D. = 3.02372) โดยอุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ซึ่งสถานีบริการนี้จัดอยู่ในระดับความเสี่ยงสูง โดยมีความสอดคล้องกับปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ความเข้มข้นของสาร มากกว่า $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง โดยอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำมันระเหยได้มากขึ้น ด้านสภาพแวดล้อมในการทำงานและรอบๆ สถานีบริการทั้งหมดติดกับถนนใหญ่ ซึ่งส่วนใหญ่มีการจราจรที่หนาแน่นมีชุมชนโดยรอบ ดึงดูดรอบข้าง และมีต้นไม้เป็นจำนวนน้อย หากลมไม่พัดมา อากาศจะไม่ถ่ายเท ทำให้ปริมาณสาร VOCs เกิดการสะสมในบรรยากาศ ปริมาณรถก็ถือเป็นแหล่งกำเนิดสารวีไอซีที่สำคัญ โดยปริมาณรถที่เข้ามาใช้บริการเติมน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมากที่สุดคือ สถานีบริการที่ 3 จำนวน 260 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 57.31 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 40.77 และยังมีหัวจ่ายน้ำมันมากถึงจำนวน 32 หัวจ่าย รองลงมาคือ สถานีบริการที่ 1 จำนวน 225 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 66.67 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 32.89 ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ความเข้มข้นของสารมากกว่า $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง โดยปริมาณรถที่เข้ามาใช้บริการเติมน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้มีสาร VOCs เกิดขึ้น เนื่องจาก

สาร VOCs นั้นเกิดจากสารที่ระเหยมาจากน้ำมันเชื้อเพลิงและไอเสียรถยนต์ ถือเป็นแหล่งกำเนิดสาร VOCs ที่สำคัญต่อกลุ่มคนทำงานและคนทั่วไปที่ได้รับสัมผัส¹ เมื่อหายใจเอาสาร VOCs เข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ ซึ่งสามารถป้องกันและลดความเสี่ยงในการสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ เพิ่มการระบายอากาศในบริเวณนั้น หรือปฏิบัติงานในที่โล่ง ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี หรือติดตั้งระบบควบคุมไอระเหยน้ำมันที่หัวจ่าย เพื่อดูดกลับไอระเหยเข้าสู่ถังน้ำมันใต้ดินในขณะที่เติมน้ำมันให้กับรถ หรือการเปลี่ยนใช้ตู้จ่ายน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ เช่น มีอัตราเร็วในการจ่ายน้ำมันสูง มีระบบตัดการไหลของน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยระดับสารอินทรีย์ระเหยในอากาศได้ เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าบริเวณหัวจ่ายเป็นจุดที่ถูกระบุว่ามีการระเหยของไอน้ำมันสูง⁷

ผลกระทบต่อสุขภาพ ผลกระทบต่อสุขภาพกลุ่มตัวอย่างมีอาการเจ็บปวณที่พบมากที่สุด คือ อ่อนเพลีย ร้อยละ 55.3 รองลงมาคือ ปวดศีรษะ ร้อยละ 51.1 เวียนศีรษะ ร้อยละ 44.70 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ รัชณี นันทนุช² ได้ศึกษาเรื่อง ความเสี่ยงด้านสุขภาพต่อการได้รับอันตรายจากการสัมผัสน้ำมันเชื้อเพลิงของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตเทศบาลนครขอนแก่น พบว่า พนักงานมีอาการเวียนศีรษะพบสูงสุด ร้อยละ 67.74 รองลงมา คือ อาการอ่อนเพลีย และอาการปวดศีรษะ ร้อยละ 54.84 ส่วนอาการแบบเรื้อรังที่พบมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง คือ ภาวะกระดูกพรุน หงุดหงิด และความจำไม่ดีหรือหลงลืม ร้อยละ 51.1 รองลงมาคือ เบื่ออาหาร และนอนไม่หลับ คิดเป็นร้อยละ 27.7 และ 25.5 ตามลำดับ โดยอาการเหล่านี้จะเป็นอาการทางระบบประสาทเกิดขึ้นจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่ายปริมาณมาก ซึ่งจะกลับเป็นปกติหลังจากออกจากบริเวณนั้น ทั้งนี้เนื่องจาก กลุ่มตัวอย่างได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย โดยการสูดดมกลิ่นไอ น้ำมันขณะปฏิบัติงานมากที่สุด ร้อยละ 53.2 ซึ่งหากหายใจเอาสารวีไอซีเข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ ตามอาการทั้งแบบเจ็บปวณและเรื้อรัง ทั้งนี้เนื่องจาก สารอินทรีย์ระเหยง่ายนั้นมาจากการระเหยของน้ำมันกลายเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ รองลงมาคือ การสัมผัสน้ำมันทางผิวหนังขณะปฏิบัติงาน และการได้รับประทานมื้ออาหารในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ร้อยละ 19.1 การได้รับจากการรับประทานอาหารหรือเครื่องดื่มขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 17.0 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของฉัตรสุดา พิมพ์แสง และคณะ⁴ ได้ศึกษาเรื่องการรับสัมผัสสารเบนซินในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเขตเทศบาลนครขอนแก่น เมืองขอนแก่น พบว่า พนักงานทุกคนมีการสัมผัสไอระเหยน้ำมันที่

มีสารเบนซินผ่านทางเดินหายใจและรองลงมาเป็นทางผิวหนัง และทางการกินที่ปนเปื้อนมากับอาหารเท่ากัน คือร้อยละ 97.06 ซึ่งสามารถป้องกันได้โดยให้พนักงานสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสม จัดให้มีการอบรมด้านความปลอดภัยประจำปี

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่าย และสภาวะสุขภาพของพนักงานจากการได้รับสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงประเภท ก ในเขตเทศบาลนครอุบลราชธานี พบว่า ปริมาณสาร VOCs ในบรรยากาศการทำงานทั้ง 8 สถานีบริการ มีปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงสูง จำนวน 5 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง จำนวน 1 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยเท่ากับ $420 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และปริมาณสาร VOCs ที่ตรวจวัดได้ที่อยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ จำนวน 2 สถานีบริการ โดยปริมาณที่ตรวจวัดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งทุกสถานีบริการมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานตาม Internal Quality Assurance and the European Standards (IQA)⁵ ทุกแห่ง

ในด้านอุณหภูมิในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงพบว่า สถานีบริการมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 29.5°C (S.D. = 3.023) โดยอุณหภูมิสูงสุด คือ สถานีบริการที่ 1 เท่ากับ 33°C รองลงมาคือ สถานีบริการที่ 4 เท่ากับ 32°C และอุณหภูมิต่ำสุด คือ สถานีบริการที่ 7 คือ 25°C

ปริมาณรถที่เข้ามาใช้บริการเติมน้ำมันของสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยเท่ากับ 128 คัน โดยปริมาณรถมากที่สุดคือ สถานีบริการที่ 3 จำนวน 260 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 57.31 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 40.77 และปริมาณรถต่ำสุดคือ สถานีบริการที่ 8 จำนวน 21 คัน โดยเป็นรถจักรยานยนต์ คิดเป็นร้อยละ 52.38 รถยนต์สี่ล้อ คิดเป็นร้อยละ 47.62

กลุ่มตัวอย่างที่สัมผัสเป็นประจำมีการสูดดมกลิ่นไอน้ำมันขณะปฏิบัติงานมากที่สุด ร้อยละ 53.2 รองลงมาคือ การสัมผัสน้ำมันทางผิวหนังขณะปฏิบัติงาน และการได้รับประทานมืออาหารในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ร้อยละ 19.1 การได้รับจากการรับประทานหรือเครื่องดื่มขณะปฏิบัติงาน ร้อยละ 17.0

กลุ่มตัวอย่างมีอาการเจ็บปวณที่พบมากที่สุดคือ อ่อนเพลีย ร้อยละ 55.3 รองลงมาคือ ปวดศีรษะ ร้อยละ 51.1 เวียนศีรษะ ร้อยละ 44.7 ซึ่งรุนแรงถึงขั้นเข้าโรงพยาบาล คิด

เป็นร้อยละ 6.4 ส่วนอาการแบบเรื้อรังที่พบมากที่สุดในกลุ่มตัวอย่าง คือ ภาวะกระดูกพรุน หงุดหงิด และความจำไม่ดีหรือหลงลืม ร้อยละ 51.1 รองลงมาคือ เบื่ออาหาร และนอนไม่หลับ คิดเป็นร้อยละ 27.7 และ 25.5 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะในการใช้ประโยชน์

สถานีบริการควรติดตั้งระบบควบคุมไอรระเหยน้ำมันที่หัวจ่าย เพื่อดูดกลับไอรระเหยเข้าสู่ถังน้ำมันใต้ดินในขณะเติมน้ำมันให้กับรถ หรือการเปลี่ยนใช้ตู้จ่ายน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ เช่น มีอัตราเร็วในการจ่ายน้ำมันสูง มีระบบตัดการไหลของน้ำมันที่มีประสิทธิภาพ เนื่องจาก บริเวณหัวจ่ายเป็นจุดที่ถูกระบุว่ามีการระเหยของไอน้ำมันสูง ผู้ประกอบการควรจัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้พนักงานอย่างเพียงพอ และเหมาะสม เนื่องจาก ปริมาณสารอินทรีย์ระเหยง่ายในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน และจัดตรวจสุขภาพประจำปี รวมถึงมีกฎระเบียบในการปฏิบัติตนที่ถูกต้องชัดเจน และสถานีบริการควรจัดให้มีสถานที่รับประทานอาหารแยกออกจากบริเวณที่ปฏิบัติงานให้กับพนักงาน

ข้อเสนอแนะในการทำการศึกษ

ควรมีการศึกษา ด้านการเฝ้าระวังสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่มีสารอินทรีย์ระเหยง่ายในบรรยากาศการทำงาน โดยการตรวจเลือด เพื่อประเมินการสะสมของสารเคมีในร่างกาย

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับความช่วยเหลือจากเทศบาลเมืองอุบลราชธานี และผู้ประกอบการสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ในการดำเนินการเก็บข้อมูลวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ไพลิน ทวีวงษ์, "การรับสัมผัสสารประกอบอินทรีย์ระเหยจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในกรุงเทพมหานคร วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2551.
2. รัชนี้ นันทนุชและคณะ. ความเสี่ยงด้านสุขภาพต่อการได้รับอันตรายจากการสัมผัสน้ำมันเชื้อเพลิงของพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตเทศบาลนครขอนแก่น : การศึกษานำร่อง. ศรีนครินทร์เวชสาร 2556; 28(4)
3. ธนสร ดันตฤงฆารและคณะ. ศึกษาเรื่อง ภาวะสุขภาพพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงในเขตปทุมวัน

ประจำปี 2552. จุฬาลงกรณ์วารสาร 2552; 124: 294-323
แนวทางการจัดการสารอินทรีย์ระเหย. แหล่งกำเนิด
สารประกอบอินทรีย์ระเหยที่สำคัญ. 2545

4. ฉัตรสุดา พิมพ์แสง, สุณิสา ชายเกลี้ยง. การรับสัมผัส
สารเบนซีนในพนักงานสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง
กรณีศึกษาเทศบาลนครขอนแก่น เมืองขอนแก่น.
วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2557; 19(2):354-361
5. Internal Quality Assurance and the European Stand-
ards and Guidelines. [Online]. [www.enqa.eu/indirme/
papers-and-reports/](http://www.enqa.eu/indirme/papers-and-reports/)
6. ศศิธร สุกรีฑ และคณะ. การเฝ้าระวังโรคจากการประกอบ
อาชีพที่สัมผัสสารเบนซีน กรณีศึกษาสถานีบริการน้ำมัน
เชื้อเพลิง ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา.
นครราชสีมา : วารสารพิษวิทยาไทย; 2551,23(1)
7. วีรพงศ์ สายรัตนและคณะ. การกระจายเชิงพื้นที่ของ
เบนซีนและโทลูอีนในอากาศภายในสถานีบริการน้ำมัน.
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม 2557.

การวิเคราะห์ผลของวัสดุเชิงประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิดและพอลิบิวทิลีน ซัคซิเนต เมื่อเติมสารช่วยยืดสายโซ่โมเลกุล

Characterization of Polymer Composites between Poly (lactic acid) and Poly (butylene succinate) with Chain Extender

อรปรียา เวียงอินทร์¹, ยศฐา ศรีเทพ^{2*}

Onpreeya Veang-in¹, Yottha Srithep^{2*}

Received: 31 October 2016 ; Accepted: 12 January 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษสมบัติทางกลและปรับปรุงความเข้ากันได้ของพอลิแลคติกแอซิด (PLA) และพอลิบิวทิลีนซัคซิเนต (PBS) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ผสมสารยืดสายโซ่โมเลกุลโดยเครื่องเอ็กซ์ทรูเดอร์สกรูเดี่ยวที่อุณหภูมิ 160-190 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส โดยศึกษาผลกระทบของสารยืดสายโซ่โมเลกุลที่ปริมาณร้อยละ 0-4 โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติทางกล พฤติกรรมทางความร้อนและ สัณฐานวิทยาของ PLA โดยผสม PBS ที่อัตราส่วนร้อยละ 10-50 โดยน้ำหนัก แล้วทำการวิเคราะห์ทดสอบวัสดุด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแก้ว (T_g) อุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของสาร ($\% \lambda_c$) ของวัสดุผสม ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารยืดสายโซ่โมเลกุลส่งผลให้ค่า T_g , T_m และ $\% \lambda_c$ ของวัสดุผสมมีแนวโน้มลดลง เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิววัสดุผสมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) พบว่ามีความแตกต่างทางสัณฐานวิทยาอย่างชัดเจนขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม และพบว่าเกิดการแยกเฟสระหว่าง PLA และ PBS เกิดขึ้นเมื่อปริมาณ PBS เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสารยืดสายโซ่โมเลกุลสามารถปรับปรุงความเข้ากันได้ของวัสดุผสมระหว่าง PLA และ PBS ได้เป็นอย่างดี สำหรับตัวอย่าง PLA ผสม PBS ร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก เมื่อทำการทดสอบแรงดึงพบว่าวัสดุเกิดการยืดตัวที่จุดขาดเพิ่มขึ้น 600% และมีความเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ปริมาณ สารยืดสายโซ่โมเลกุลร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก แต่ค่าโมดูลัสและความต้านทานแรงดึงลดลง ในขณะที่ต้องการใช้งานทั้งความต้านทานแรงดึงและความเหนียวควรใช้ PLA และ PBS ที่ผสมกับสารยืดสายโซ่โมเลกุลร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ซึ่งให้ผลว่ามีความต้านทานแรงดึงและความเหนียวของวัสดุในระดับปานกลาง

คำสำคัญ: พอลิแลคติกแอซิด พอลิบิวทิลีนซัคซิเนต สารยืดสายโซ่โมเลกุล พอลิเมอร์ผสม

Abstract

Poly (lactic acid) (PLA) and poly(butylene succinate) (PBS) for biodegradable polymers composites with chain extenders were melt blended in a single screw extruder at 160-190°C. The blended materials were then processed at 190°C by injection molding to produce tensile specimens. The effect of chain extenders (0 to 4 wt%) on mechanical and thermal properties of PLA and PBS (10 to 50 wt%) blends was studied. Differential scanning calorimetry was used to study glass transition temperature (T_g), melting temperature (T_m) and degree of crystallinity ($\% \lambda_c$) of the blends. Adding chain extender resulted in the decrease of T_g , T_m and $\% \lambda_c$ of both PLA and PBS. The morphology of fractured surface was examined using scanning electron microscopy (SEM) and showed clear phase differences depending on blend compositions. Phase separation between PLA and PBS occurred as PBS composition increased. However, chain extender improved miscibility of the PLA/PBS blends. For PLA/50%PBS

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Graduate student, ²Asst. Prof., Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Mahasarakham 44150, Thailand., ^{2*}Corresponding author, Email: yottha.s@msu.ac.th

sample, tensile tests showed the elongation at break increased by 600% and thermal stability increased significantly with added 4 wt% chain extender but the Young's modulus and tensile strength decreased. Applications requiring both tensile strength and ductility should use PLA/PBS blends with 2 wt% of chain extender, which provides moderate tensile strength and ductility of the PLA.

Keywords: poly(lactic acid), poly(butylene succinate), chain extender, composite

Introduction

Biodegradable polymers from renewable sources such as poly(lactic acid) (PLA), poly(butylene succinate) (PBS) or degradable polymers from petroleum sources such as poly(butylene adipate/terephthalate) (PBAT), poly(ethylene terephthalate/succinate) (PETS) and poly(ϵ -caprolactone) (PCL) have been studied by various researchers.¹⁻³ PLA is a biodegradable thermoplastic polyester derived from biomass, such as sugar, corn and beet, which possesses good physical and mechanical properties combined with biocompatibility and biodegradability.^{4,5} Particular interest is the reinforcement of PLA because the thermal properties, toughness, water vapor and gas barrier properties of PLA are inferior to those of conventional petroleum based polymers.^{6,7} One strategy to tailor the properties of PLA is combining the polymer with reinforcing elements.

The blending of conventional polymers has been extensively used to develop new polymeric materials. Blending PLA with other polymers is a practical and economic way to toughen PLA. Elastomers have commonly been considered as efficient tougheners for plastics. The elastomer particles behave as stress concentrators enhancing the fracture energy absorption of brittle polymers and ultimately result in a toughened material. Numerous elastomers have been blended with PLA, such as thermoplastic polyurethane (TPU). Such immiscible blends exhibit different types of heterogeneous morphology, which depends on the blend composition, interfacial tension, processing condition and rheological properties of the component.⁸

PBS is biodegradable aliphatic polyester produced by polycondensation of 1,4-butanediol with succinic acid.⁹ It has high flexibility, impact strength, thermal and chemical resistance.¹¹ It can be blended easily with PLA. Several PLA/PBS blends have been investigated.³ However, simple blending of PLA and PBS may produce a phase-

separated PLA/PBS mixture; therefore efforts have been made to improve the compatibility between PLA and PBS.¹²

We aimed to produce a blend of PLA and PBS by addition of an epoxy based chain extender. We focused on the influence of a chain extender on the mechanical and thermal properties of PLA/PBS blends. Such a blend would be expected to provide a better compatibility.

Experimental details

Materials

PLA 3051D, a NatureWorks LLC product, was designed for injection molding applications where the requirements are clarity with heat deflection temperatures lower than 55 °C, Melt Flow Index is 1.12 g/10 min (155 °C, 2.16 kg) were measured following ASTM D1238, T_m about 150 – 165 °C and T_g about 55-65 °C.

The other biodegradable polyester used PBS (gradeAZ71TN), supplied by Mitsubishi Chemical Corporation, Japan. PBS melting point is 115°C. Its density is 1.26 g/cm³ and Melt Flow Index is 220 g/10 min (155 °C, 2.16 kg).

Chain extender (Joncryl® ADR 4368-C from BASF (USA)) is a compound of hydroxyl, carboxylic acid, anhydride, amine and epoxy groups. Figure 1 shows schematically the multi-functional chain extension concept.¹³

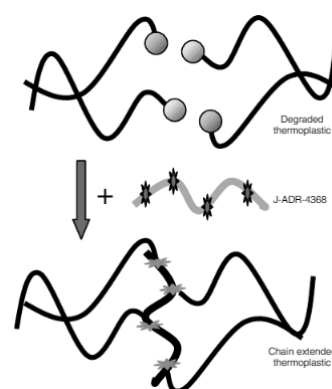


Figure 1 Schematic representation and the principal of chain extension

Blend preparation

Before blending, PLA and PBS were dried in vacuum oven at 80°C for 3 hours to remove moisture. The PLA, PBS and PLA/PBS (90/10, 70/30, 50/50) blends with 0, 2 and 4 wt% chain extender (C) were processed at 100 rpm and 190°C in a single screw extruder (HAAKE PolyLab OS system). Thick tensile bars (ASTM D638 Type I) were prepared by injection molding using a Plastic Injection Molding Machine (ING-58T) at 190°C. Sample characteristics are listed in Table 1.

Tensile testing

Tensile properties were measured following ASTM D638-10 at a crosshead speed of 50 mm/min. The static tensile modulus, strength and strain-at-break were measured at room temperature (~25°C) and atmospheric conditions (relative humidity ~50 ± 5%) on a universal testing machine (Narin Instrument Co. Ltd., Model: NRI-TS500-2S). Five specimens of each sample group were tested and the average results were reported.

The experimental data were compared with a theoretical model to predict the Young's modulus, tensile strength and elongation at break of the composite materials. The model used the classical Rule of Mixtures approach where the Young's modulus, tensile strength and elongation at break was calculated from:¹⁴

$$T = T_L X_L + T_B X_B \quad (1)$$

where T is the composite modulus, tensile strength or elongation at break, T_L is the PLA's modulus, tensile strength or elongation at break, T_B is the PBS's modulus, tensile strength or elongation at break, X_L is the matrix volume fraction and X_B is the PBS volume fraction.¹⁵

Scanning electron microscope (SEM)

The morphology of the sample surface was recorded with a JEOL JSM-6460LV scanning electron microscope (SEM) operated at 10 kV. Samples of neat PLA, neat PBS and PLA/PBS blends with fractured surfaces were prepared by brittle fracture in liquid nitrogen and all specimens were sputter-coated with a thin layer of gold (20 nm) prior to examination.

Differential scanning calorimetry (DSC)

The crystallinity of the PLA matrix phase usually influences the mechanical properties of the blends, so thermal analysis used a differential scanning calorimeter (DSC, PerkinElmer Instruments, DSC 4000) under a nitrogen atmosphere.

About 5 mg. samples cut from the molded tensile bars and sealed in aluminum pans then heated from -10 to 200°C at a rate of 10 °C/min. The melting temperature (T_m), apparent melting enthalpy (ΔH_f) and enthalpy of cold crystallization (ΔH_{cc}) were determined from DSC curves. Parameters T_m and ΔH_f were taken as the peak temperature and the area of the melting endotherm, respectively.

Crystallinity of PLA (λ_c (PLA)) and PBS (λ_c (PBS)) blends in the samples was estimated from the first heating cycle using:

$$\% \lambda_c (\text{PLA}) = \left[\frac{\Delta H_m(\text{PLA})}{\Delta H_f^0(\text{PLA})} \right] \times \frac{100}{W} \quad (2)$$

$$\% \lambda_c (\text{PBS}) = \left[\frac{\Delta H_m(\text{PBS})}{\Delta H_f^0(\text{PBS})} \right] \times \frac{100}{W} \quad (3)$$

where $\Delta H_f^0(\text{PLA})$ is the enthalpy of melting per gram of 100% crystalline (perfect crystal) (93 J/g)¹⁶ and PBS is 110.3 J/g¹⁷ and w is the weight fraction of PLA or PBS in the blends.

To determine the original crystallinity of the injection molded PLA which has low crystallization rate, the extra heat released during heating (i.e. enthalpy of cold crystallization) was subtracted from the total endothermic heat flow during melting of the whole crystallites.¹⁸ Thus, the modified equation for the crystallinity of the injection-molded can be written:

$$\% \lambda_c (\text{PLA}) = \left[\frac{\Delta H_m(\text{PLA}) - \Delta H_{cc}(\text{PLA})}{\Delta H_f^0(\text{PLA})} \right] \times \frac{100}{W} \quad (4)$$

Thermogravimetric Analysis (TGA)

TGA used a PerkinElmer Instruments (TGA4000) from 30 to 600°C at a heating rate of 10 °C/min under nitrogen. Approximately 10 mg of each sample was used for each test. The loss of weight was recorded and normalized against the initial weight. The thermal degra-

dation temperatures were defined from the decomposition temperatures at 5% weight loss ($T_{5\%}$).

Results and discussion

Tensile testing

Tensile testing was tested by a Universal Testing Machine (UTM) to investigate the influence of PBS on Young's modulus, tensile strength and elongation at break.

Figure 2 (a) shows the change of Young's modulus as more PBS was blended into PLA. The results clearly indicate that an increase in PBS content resulted in a gradual reduction of Young's modulus. The highest and lowest moduli were 27.5 MPa for neat PLA and 12.5 MPa for neat PBS. According to Bhatia et al.¹⁹, the gradual reductions of Young's modulus with increasing PBS is related to the compatibility of PLA/PBS blends, the higher portion of PBS results in lower compatibility of PLA/PBS blends. After adding 50 wt% PBS the Young's modulus decreased to around 15 MPa, after adding 2 wt% chain extender to the composite material, the Young's modulus further decreased slightly and then significantly when adding 4 wt% chain extender in (Figure 2 (b)).

Figure 2 (c) shows the influence of PBS on tensile strength. The tensile strength of neat PLA was 61 MPa and neat PBS was 30 MPa. Similar to Young's modulus, increasing the PBS portion reduced tensile strength gradually. According to Bhari K et al.⁹, the reductions of tensile strength with an increasing content of PBS are related to the compatibility of PLA/PBS blends, the higher content of PBS results in lower compatibility of PLA/PBS blends. Excessive chain extender reduces the tensile strength, so, for example an increase from 2 to 4 wt% chain extender in the 50 wt% PBS blend led to a decrease to 22 MPa from 41MPa (Figure 2 (d)). The combined blending of PLA with PBS and the incorporation of the chain extender imparted both ductility and melt strength to the system.²⁰

Figure 2 (e) shows that the elongation at break of neat PLA was 13% and PBS was 21% and increased with content of PBS in the blends. The elongation at break of PLA/PBS blends mixed with chain extender greatly increased with an increase in chain extender content see figure 2 (f). The blend with 50% PBS increased elongation at break up to 15.5% compared to PLA at 13%, ie a 17% increase in elongation. Compared with PLA/50%PBS blends without chain extender, we found that PLA/50%PBS blends with 4wt% of chain extender elongation at break increased by 600%. However, the elongation at break increased by only 200% when adding 2 wt% chain extender. This result is consistent with Radheshkumar et al.²¹ and Chou et al.²², who investigated the influence of compatibilizer content on the mechanical behavior of the blends. They reported that the compatibilizer can improve the ductility of PLA/PBS blends, because increasing compatibilizer content results in higher compatibility of PLA/PBS blends.

Even though the chain extender improved the ductility of PLA/PBS blends, in contrast, excessive chain extender also resulted in the reduction of the tensile modulus of PLA/PBS blends such as the sample with 4 wt% of chain extender. The use of chain extender therefore depended upon the application of PLA/PBS blends as a working material, for example, PLA/PBS blends with 4 wt% of chain extender is suitable only when high ductility PLA/PBS blends are needed. Applications requiring both tensile strength and ductility should use PLA/PBS blends with 2wt% of chain extender, which provides moderate tensile strength and ductility of the PLA.

Figure 3 compares Young's modulus, tensile strength and elongation at break from experimental data to the rule of mixtures model. Experimental data closely followed the mixing rule line. Figure 3(a) and (b) show that both Young's modulus and tensile strength decreased with the increase of PBS content in the blends and Figure 3(c) shows the elongation at break which increased with higher PBS content. Similar results have been reported by Bhatia et al.¹⁹

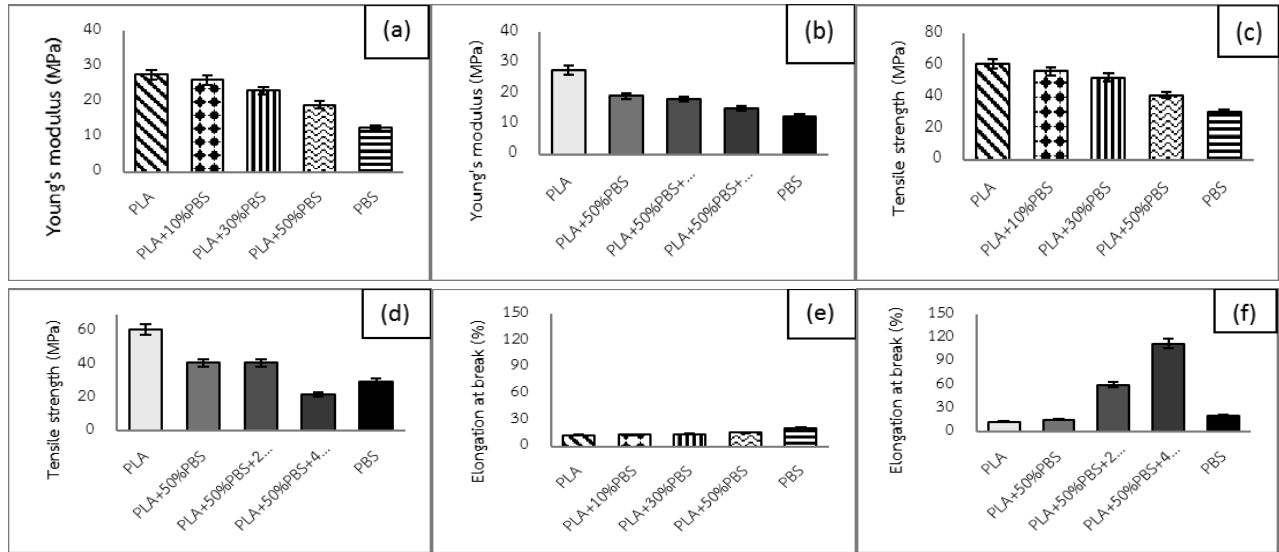


Figure 2 Mechanical properties of PLA, PBS, PLA/PBS and its PLA/PBS/chain extender composites (a) Young's modulus without chain extender, (b) Young's modulus with chain extender, (c) tensile strength without chain extender, (d) tensile strengths with chain extender, (e) elongation at break without chain extender and (f) elongation at break with chain extender

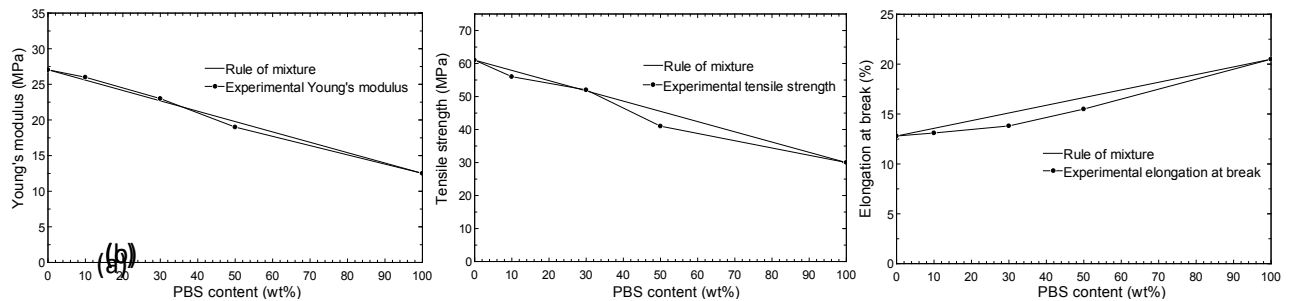


Figure 3 (a) Young's modulus, (b) tensile strength and (c) elongation at break from rule of mixtures Model and experiment

Scanning electron microscopy (SEM)

Figure 4 shows SEM micrographs of fractured surfaces of neat PLA, neat PBS, PBS/PLA blends and PBS/PLA blends adding chain extender under 100× magnification. As shown in Figure 4(a), the neat PLA showed a smooth fracture surface, indicating a typical brittle fracture and correspondingly low impact strength. Meanwhile, fractured neat PBS (Figure 4 (b)) showed rougher surfaces revealing more ductile behavior.¹⁷

With the different amounts of PBS, the blends presented the different impact fracture morphologies. Figures 4(c), (e) and (g), showing PBS content increasing from 10 wt% to 50 wt%: at 50 wt%, larger PBS particles appeared on the fracture surface, showing that PBS promoted phase separation. This was attributed to the

combination of low interfacial adhesion between PLA and PBS phases and much higher viscosity of the PLA dispersed phases in the relatively lower viscosity PBS matrix. Whereas for 10 wt% and 30 wt% blends, the fracture surface was smoother revealing brittle behavior and good dispersion of PBS in the PLA matrix was observed.¹⁹

When the chain extender content was increased to 4 wt% (Figure 4 (d), (f) and (h)), it was found that PLA dispersed phases were smaller compared to blends without chain extender. The ability to mix better caused the chain extender to make a homogeneous composite material. However, the morphology of the PLA/50%PBS blend with 4 wt% chain extender presents more uniform phases than that without chain extender and PBS particles were more evenly distributed, which resulted in polymer

blend toughness increase compared to lower PBS content blends. Clearly, the phase structure of the PLA/PBS/chain extender ternary blend played an important role in enhancing PLA toughness. As the content of chain extender increased, PBS and PLA became more phase compatible, with significantly improved interfacial adhesion between the PLA matrix and the PBS phase and the fracture surface became more homogeneous.²³

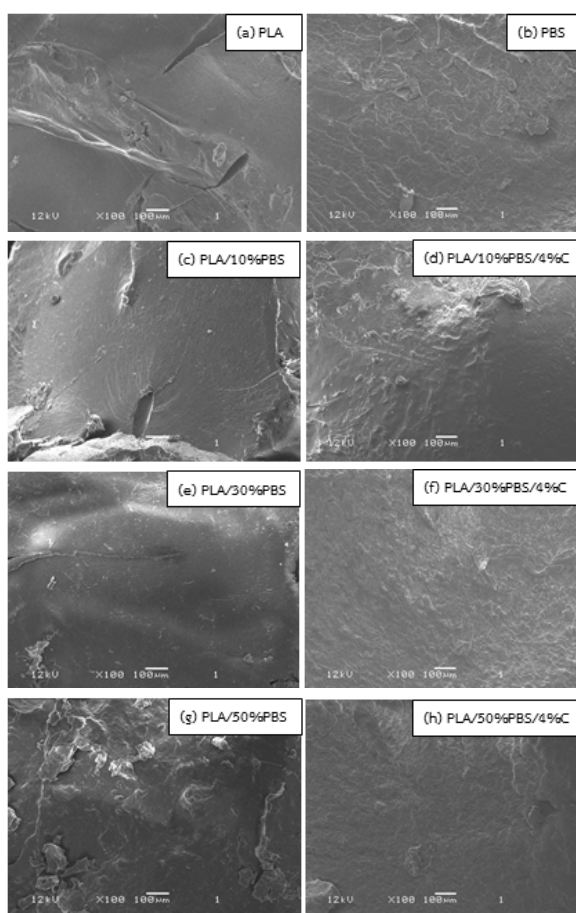


Figure 4 SEM micrographs of fractured surfaces of neat PLA, neat PBS, PLA/PBS and its PLA/PBS/chain extender composites

Differential scanning calorimetry (DSC)

Figure 5 shows DSC curves recorded during heating of PLA, PBS and PLA/PBS blends. The glass-transition temperature (T_g), the cold crystallization temperature (T_{cc}), the cold crystallization enthalpy of fusion (ΔH_{cc}), the melting temperature (T_m), the enthalpy of fusion (ΔH_m) and the percentage of crystallinity ($\% \lambda_c$) for all blends are summarized in Table 1.

The temperatures observed around 110 °C for PBS and 156 °C for PLA for all PLA/PBS blend specimens are the melting points. As shown in Table 1, T_m of neat PLA was about 156.1 °C and neat PBS about 110.7 °C. When PLA and PBS were mixed, we found two melting points (see figure 5 (a)), caused by separation of the mixed material: the first point is the melting point of the PBS and the second is that of PLA. T_m of PLA and PBS remained alike as the amount of PBS increased. In Figure 5 (b), (c) and (d), when adding chain extender, the T_m of both PLA and PBS decreased. Increase in chain extender content made the two melting points become closer together, because of enhanced homogeneity of PLA and PBS. The melting enthalpy of fusion (ΔH_m) of neat PLA was 28.4 J/g and neat PBS was 79.3 J/g. Increasing 10 to 50 wt% of PBS in PLA led to decreased ΔH_m (PLA) but ΔH_m (PBS) increased. When adding chain extender in the blend materials, the ΔH_m of both PLA and PBS decreased.

As shown in Figure 5(a) and Table 1, the shoulders around 60 to 80 °C in the DSC thermograms reveal the glass transition temperature of the PLA. We found that the T_g of neat PLA was 57.9 °C. Similar to other reports¹⁹, the blends of PLA/PBS were partially miscible as seen in lower T_g of PLA at higher PBS content. Increasing 10 to 50 wt% of PBS in PLA caused gradual reductions of T_g from 61.6 to 57.4 °C. Adding chain extender to PLA/PBS blends resulted in reduced T_g of the composite materials.

Moreover, the T_{cc} of neat PLA was 108.5°C. Increasing the PBS content in PLA decreased both T_{cc} and ΔH_{cc} and became invisible at 50 wt% PBS. The increased PBS from 10 to 30 wt% decreased T_{cc} from 96.4 °C to 95.9 °C and ΔH_{cc} from 21.1 J/g to 15.1 J/g. When the chain extender was added to the composites, the T_{cc} occurred at lower temperature and ΔH_{cc} became lower. The interfacial reaction between the epoxide group and the carboxyl end group of PLA and PBS occurred at the interface, which made the composites chain rearrangement (motion) more difficulty and retarded cold crystallization.

Table 1 DSC data for PLA/PBS blends adding chain extender

Sample	T _g (°)	T _m (PBS) (°)	ΔH _m (PBS) (J/g)	T _{cc} (°)	ΔH _{cc} (PLA) (J/g)	T _m (PLA) (°)	ΔH _m (PLA) (J/g)	%λ _c (PLA)	%λ _c (PBS)
PLA	57.9	-	-	108.5	19.9	156.1	28.4	9.1	-
PBS	38.6	110.7	79.3	-	-	-	-	-	71.9
PLA/10%PBS	61.5	108.8	4.7	96.4	21.07	154.6	20.3	0.9	4.3
PLA/10%PBS/2%C	61.2	106.4	4.3	94.8	16.2	154.5	18.9	2.9	3.9
PLA/10%PBS/4%C	50.2	107.8	4.0	84.8	14.3	150.3	17.4	3.3	3.6
PLA/30%PBS	60.2	110.1	20.1	95.9	15.1	154.6	19.6	4.8	18.2
PLA/30%PBS/2%C	49.0	108.1	15.8	89.0	13.0	150.8	16.1	3.3	14.3
PLA/30%PBS/4%C	41.7	107.0	9.6	87.0	8.8	150.6	10.5	1.8	8.7
PLA/50%PBS	57.4	110.3	35.9	-	-	154.8	12.1	13.1	32.5
PLA/50%PBS/2%C	55.2	109.3	28.5	-	-	151.6	11.7	12.5	25.8
PLA/50%PBS/4%C	53.8	107.8	27.5	-	-	150.2	11.0	11.8	25.0

The %λ_c of neat PLA was only 9.1% while neat PBS was 71.9%. This is because during injection molding, the crystallization process of PLA was partially hampered due to the high cooling rate and exhibited a cold crystallization peak during the DSC test when the specimens are re-heated and regained some mobility to re-crystallize. Increasing 10 to 50 wt% of PBS into PLA, we found that the %λ_c (PLA) increased, %λ_c (PBS) decreased. When adding chain extender to the blends, the %λ_c of both PLA and PBS decreased. In general, when chain extender was introduced in the blending system the chain-extending reaction among PLA would make the molecular weight of PLA increase; on the other hand, the reaction between PLA and PBS restricted the movements of PLA and PBS chains. As the mobility of the chains decreased, the materials were more difficult to crystallize than that without chain extender.

Thermal stability of the polymer was measured by TGA, where the weight loss due to the loss of degradable products was monitored as a function of temperature. Figure 5 shows thermograms of PLA, PBS and PLA/50% PBS with and without chain extender blends. From TGA curves in Figure 5, we found that the

decomposition temperature of PBS was slightly higher than PLA. PLA with 50 wt% PBS reached slightly higher thermal stability compared to pure PLA. Therefore, when PBS content is higher, dispersion of PBS leads to slightly higher degradation temperatures than that of neat PLA. When adding chain extender, the decomposition temperatures of material composite increased.

As shown in Table 2, the decomposition temperatures at 5% weight loss (T_{5%}) were 344.9 °C for PLA/50%PBS blend and 346.2 °C for PLA/50%PBS/4%chain extender blend. This is similar to Pilla et al.²⁴, indicating that the PLA-chain extender has a better thermal stability than pure PLA system. According to Srithep et al.²⁵, the melt flow index of the blends increased with increasing the content of the chain extender in polyester which means the increase of molecular weight and caused higher thermal stability because chain extender can be connect molecules of the material cause molecular weight and strength increases. As a result, thermal stability increased.

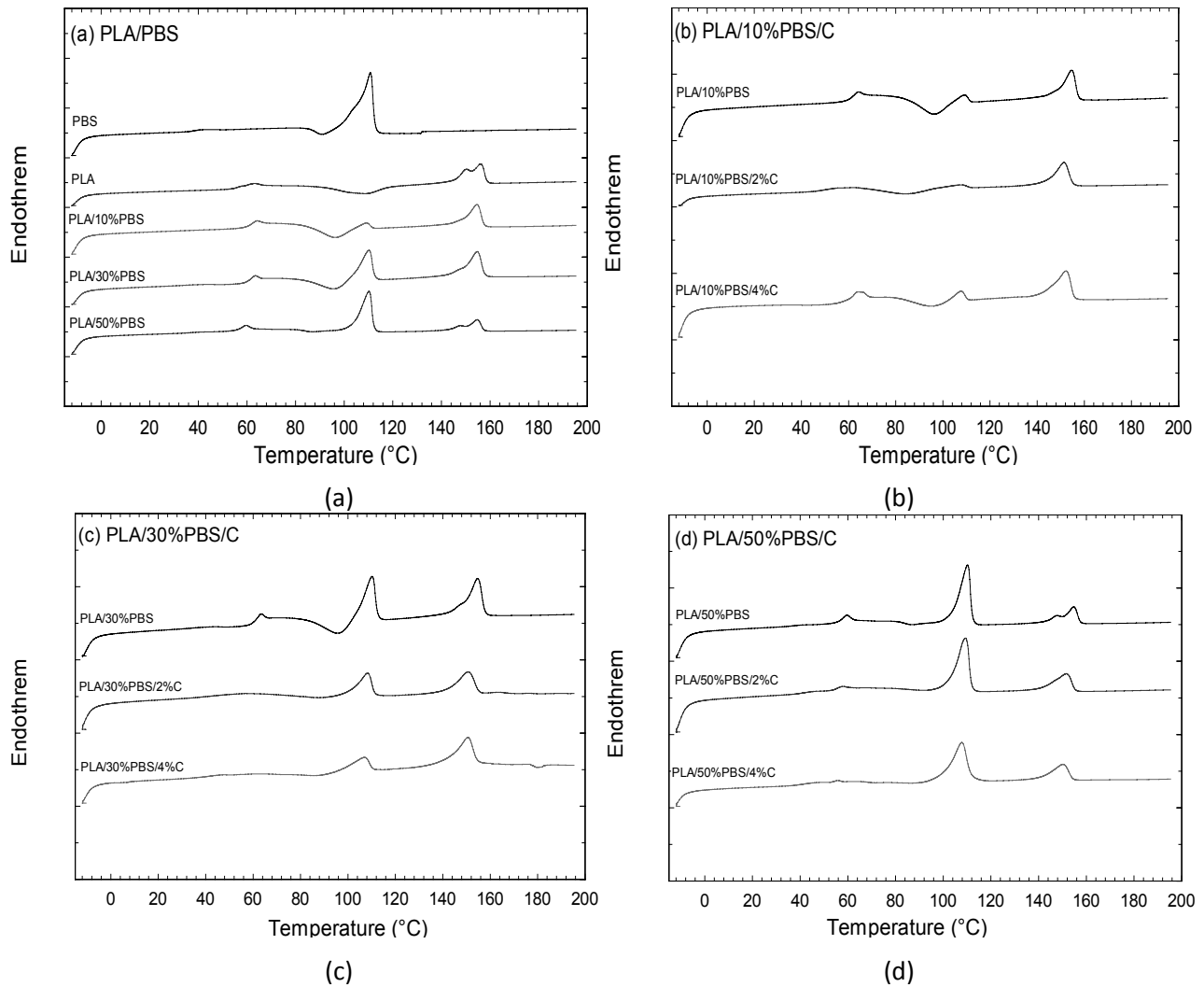


Figure 5 DSC thermograms for various blends (a) PLA/PBS (b) PLA/10%PBS/chain extender (c) PLA/30%PBS/chain extender (d) PLA/50%PBS/chain extender

Thermal stability

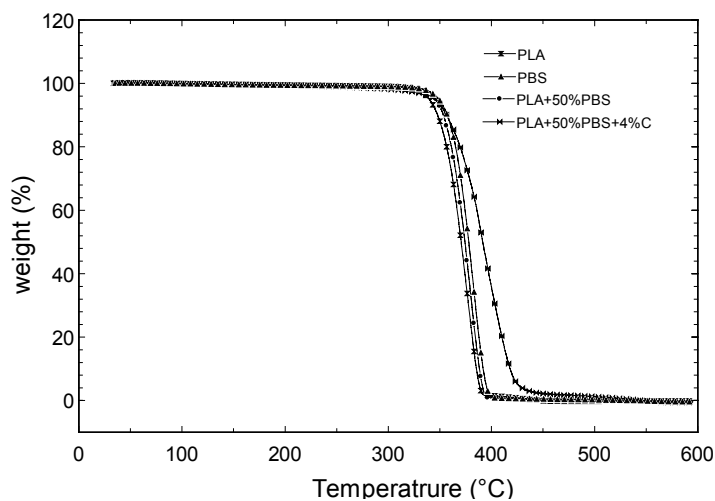


Figure 6 TGA curves for PLA, PBS, PLA/PBS adding chain extender

Table 2 Degradation temperatures of PLA, PBS and PLA/PBS adding chain extender

Sample	T _{5%} (°)
PLA	339.7
PBS	348.8
PLA+50%PBS	344.9
PLA+50%PBS+4%C	346.2

Conclusion

Adding chain extender led to mixed morphology of interacting particles within the polymer matrices. From thermal analysis, 4 wt% chain extender demonstrated greatest thermal stability. SEM studies demonstrated that higher concentrations of chain extender enhanced miscibility for PLA/PBS polymer blends. For DSC studies, T_g, T_m, ΔH_m and %λ_c of the composite material decreased, due to the higher flexibility of the PBS, that, combined with PLA, is a strong but brittle polymer, so that PLA based blends will be more flexible and tougher. Elongation at break significantly increased, while tensile strength and Young's modulus of the blends were reduced with excessive chain extender.

Acknowledgements

We thank the Faculty of Engineering Maharashtra University for facilities and the Graduate School of Maharashtra University for the research grant.

References

1. Fujimaki T. Processability and properties of aliphatic polyesters, 'BIONOLLE', synthesized by polycondensation reaction. *Polym Degrad Stab* 1998(59):209-14.
2. Garlotta D. A Literature Review of Poly(Lactic Acid). *Polym Degrad Stab* 2001;9(2):63-84.
3. Park JW, Im SS. Phase behavior and morphology in blends of poly(L-lactic acid) and poly(butylene succinate). *J Appl Polym Sci* 2002;86(3):647-55.
4. Vink ETH, Rabago KR, Glassner DA, Gruber PR. Applications of life cycle assessment to Nature Works™ polylactide (PLA) production. *Polym Degrad Stab* 2003;80(3):403-19.
5. Fortunati E, Armentano I, Zhou Q, Puglia D, Glassner A et al. Microstructure and nonisothermal cold crystallization of PLA composites based on silver nanoparticles and nanocrystalline cellulose. *Polym Degrad Stab* 2012;97(10):2027-36.
6. Petersen K, Nielsen P, Olsen M. Physical and Mechanical Properties of Biobased Material Starch, Polylactata and Polyhydroxybutyrate. *Starch* 2001 (53):356-61.
7. Bastioli C. Global Status of the Production of Biobased Packaging Materials. *Starch* 2001;53(8): 351-5.
8. Han JJ, Huang HX. Preparation and Characterization of biodegradable polylactide/thermoplastic polyurethane elastomer blends. *J Appl Polym Sci* 2011;120(6): 3217-23.
9. Bhari K, Mitomo H, Enjoji T, Yoshii F, Makuuchi K. Radiation crosslinked poly(butylene succinate) foam and its biodegradation. *Polym Degrad Stab* 1998; 62(3):551-7.
10. Doi Y, Kasuya K, Abe H, Koyama N, Ishiwatari S, Takagi K et al. Evaluation of biodegradabilities of biosynthetic and chemosynthetic polyesters in river water. *Polym Degrad Stab* 1996;51(3):281-6.
11. Sinha Ray S, Okamoto K, Okamoto M. Structure-property relationship in biodegradable poly (butylene succinate)/ layered silicate nanocomposites. *Macromolecules* 2003;36(7):2355-67.
12. Homklin R, Hongsriphan N. Mechanical and Thermal Properties of PLA/PBS Cocontinuous Blends Adding Nucleating Agent. *Energy Procedia* 2013;34:871-9.
13. Frenz V, Scherzer D, Villalobos M, Awojulu AA, Edison M, Meer R. Multifunctional Polymers as Chain Extenders and Compatibilizers for Polycondensates and Biopolymers. . ANTEC 2008:1682-6.
14. Srithep Y, Turng LS, Sabo R, Clemons C. Nanofibrillated cellulose (NFC) reinforced polyvinyl alcohol (PVOH) nanocomposites properties, solubility of carbon dioxide, and foaming. *Cellulose* 2012;19(4): 1209-23.
15. Bulota M, Jääskeläinen AS, Paltakari J, Hughes M. Properties of biocomposites: influence of preparation method, testing environment and a comparison with

- theoretical models. *J Master Sci* 2011;46(10): 3387-98.
16. Suksut B, Deeprasertkul C. Effects of Nucleating Agents on Physical Properties of Poly(lactic acid) and Its Blend with Natural Rubber. *J Polym Environ* 2011;19(1):288-96.
 17. Homklin R, Hongsriphan N. Mechanical and Thermal Properties of PLA/PBS Cocontinuous Blends Adding Nucleating Agent. *Energy Procedia* 2013;34:871 – 9
 18. Srithep Y, Nealey P, Turng LS. Effects of annealing time and temperature on the crystallinity and heat resistance behavior of injection molded poly (lactic acid). *Polym Eng Sci* 2013;53(3):580-8.
 19. Bhatia A, Gupta RK, Bhattacharya SN, Choi HJ. Compatibility of biodegradable poly (lactic acid) (PLA) and poly (butylene succinate) (PBS) blends for packaging application. *Korea-Aust Rheol J* 2007; 19(3):125-31.
 20. Eslami H, Kamal MR. Effect of a chain extender on the rheological and mechanical properties of biodegradable poly(lactic acid)/poly[(butylene succinate)-co-adipate] blends. *J Appl Polym Sci* 2013;129(5): 2418-28.
 21. Radheshkumar C, Munstedt H. Morphology and mechanical properties of antimicrobial polyamide/silver composites. *Mater Lett* 2005;59(14-15): 1949-53.
 22. Chou PM, Zulkifli A, Sreekantan S. Evaluation of the flexural properties and bioactivity of bioresorbable PLLA/PBSL/CNT and PLLA/PBSL/TiO₂ nanocomposites. *Compos Eng* 2012;43(3):1374-81.
 23. Chen L, Qiu X, Xie Z, Hong Z, Suna J, Chena X et al. Poly(L-lactide)/starch blends compatibilized with poly(L-lactide)-g-starch copolymer. *Carbohydr Polym* 2006;65(1):75-80.
 24. Pilla S, Kramschuster A, Yang L, Lee J, Gong S, Turng LS. Microcellular injection-molding of polylactide with chain-extender. *Mater Sci Eng C* 2009;29(4): 1258–65.
 25. Srithep Y, Javadi A, Pilla S, Turng LS, Gong S, Clemons C et al. Processing and characterization of recycled poly (ethylene terephthalate) blends with chain extenders, thermoplastic elastomer, and/or poly (butylene adipate co terephthalate). *J Polym Eng Sci* 2011;51(6):1023-32.

การประยุกต์ใช้เมนูผักพื้นบ้านตามภูมิปัญญาท้องถิ่นสำหรับผู้ป่วยเบาหวาน

The applications of vegetables menu with the local wisdom for diabetic patients

อุดมศักดิ์ มหาวิวัฒน์¹, ธิดารัตน์ สมดี², กัลยา คำผา³, ชีรดา ภูนางดาว³, รจเรจ นามสวัสดิ์³,
สุนิรัตน์ ยั่งยืน²

Udomsak Mahaweerawat¹, Thidarat Somdee², Kallaya Kampha³, Theeralda Phunangdao³,
Rojaraje Namsawat³, Suneerat Yangyuen²

Received: 18 February 2017 ; Accepted: 18 May 2017

บทคัดย่อ

การวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi Experimental study) เปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ระหว่างกลุ่มที่รับประทานเมนูผักพื้นบ้านและกลุ่มที่รับประทานอาหารตามวิถีปกติ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างคืออาสาสมัครผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่รับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านชี จำนวน 42 คน ทำการสุ่มอย่างง่ายด้วยการจับฉลากแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลอง ($n_c=21$) รับประทานอาหารตามเมนูผักพื้นบ้าน 3 เมนู ได้แก่ ลาบเพกา ลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว และกลุ่มควบคุม ($n_c=21$) รับประทานอาหารตามวิถีปกติของผู้ป่วย เป็นระยะเวลา 7 วัน สถิติที่ใช้ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ Relative risk (RR) ผลการศึกษาพบว่าก่อนการทดลอง ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 151.66 และ 159.05 มก./ดล. ตามลำดับ ($p>0.05$) และหลังการทดลอง พบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเท่ากับ (157.52 และ 157.57 มก./ดล. ตามลำดับ) ($p>0.05$) แต่เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำตาลในเลือดกับการบริโภคเมนูผักพื้นบ้านโดยพบจำนวนผู้ที่สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ 12 คน และโดยการควบคุมตัวแปรจำนวนครั้งของการออกกำลังกาย ได้ค่า $RR = 1.33$ (95% CI = 0.71-2.46) นั่นคือกลุ่มทดลองสามารถแสดงการจำนวนคนที่สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ 1.33 เท่าของกลุ่มควบคุม ซึ่งแสดงว่าการบริโภคเมนูผักพื้นบ้านจะเพิ่มโอกาสที่จะทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลงได้ 33% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าผักพื้นบ้านที่มีตามฤดูกาล (เพกา ดอกขจร ผักชีลาว) สามารถนำมาปรุงประกอบเป็นเมนูทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ป่วยเบาหวานเพื่อควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้

คำสำคัญ : ผู้ป่วยเบาหวาน ผักพื้นบ้าน ระดับน้ำตาลในเลือด

Abstract

This quasi experimental study aimed to compare the fasting blood glucose (FBS) level of diabetic mellitus type 2 (DMP) patients separated into two groups: a DMP experimental (DMPE) group who actually consumed local vegetables and a DMP control (DMPC) group who did not eat the local vegetables on the menu at Ban Khee Health Promotion Hospital. All 42 voluntary subjects were divided into two groups: experimental group (DMPE) 21 DMP and control group (DMPC) 21 DMP. The local vegetable menu prescribed three meals: Spicy minced *Oroxylum indicum* spp salad, Spicy minced *Telosma minor Craib* and chicken with *Anethum graveolens* spp, curry. These were given to the DMPE group with the combination rotated every 7 days. The percentage, average, standard deviation, and relative risk (RR) was applied for statistical interpretation.

¹ รองศาสตราจารย์, สาขาวิชาสาขาโภชนาการและการจัดการความปลอดภัยในอาหาร คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาวิชาสาขาโภชนาการและการจัดการความปลอดภัยในอาหาร คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ นิสิต, หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาโภชนาการและการจัดการความปลอดภัยในอาหาร คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Associated Professor, Faculty of Public Health, Mahasarakham University

² Assistant Professor, Faculty of Public Health, Mahasarakham University

³ Nutrition and food safety students, Faculty of Public Health, Mahasarakham University

The results found that the FBS level average of the DMPE group and the DMPC group before the experiment were 151.66 and 159.05 mg/dL, respectively ($p>0.05$) After experiment the FBS level average of the DMPE group and the DMPC group was 157.52 and 157.57 mg/dL, respectively ($p>0.05$). An association analysis of FBS level between both DMPE group and DMPC group was controlled

The study concludes that the local vegetables (local seasoning) menu is a suitable alternative to promote and reduce FBS for DMPE.

Keywords: diabetics, local vegetable, fasting blood sugar

บทนำ

โรคเบาหวานเป็นโรคเรื้อรังที่เป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในชุมชน โดยที่สถานการณ์ในประเทศไทยพบผู้ป่วยโรคเบาหวานทั่วประเทศในปี 2556 มีผู้ป่วยจำนวน 107,818 (166.85 ต่อแสนประชากร) ปี 2557 ผู้ป่วยจำนวน 95,645 (147.25 ต่อแสนประชากร) ซึ่งจากสถานการณ์ข้อมูลโรค ไม่ติดต่อของตำบลเขาใหญ่ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดมหาสารคาม ในปี 2557-2558 พบว่ามีประชากรที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานจำนวน 123 คน (อัตราป่วย 2.97 ต่อประชากรแสนคน) โรคความดันโลหิตจำนวน 15 คน (อัตราป่วย 0.36 ต่อแสนประชากรแสนคน) และพบว่ามีผู้ป่วยเบาหวานที่มีภาวะแทรกซ้อนถึงร้อยละ 10 ได้แก่จอประสาทตาเสื่อม โรคไต และแผลเรื้อรัง เป็นต้น¹ ซึ่งในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานไม่ใช่เฉพาะการรักษาด้วยยาเท่านั้น แต่ผู้ป่วยจะต้องมีการควบคุมอาหารและออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอด้วย² ดังนั้นการส่งเสริมเรื่องการบริหารกิจเป็นประเด็นหนึ่งที่สำคัญที่จะช่วยในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ ทั้งนี้ผักเป็นอาหารที่ผู้ป่วยเบาหวานสามารถรับประทานได้โดยไม่จำกัดปริมาณ ซึ่งควรรับประทานทุกวันและทุกมื้อให้หลากหลายชนิดในหนึ่งวัน เพราะผักมีแคลอรีต่ำและมีใยอาหารสูง ทำให้การดูดซึมน้ำตาลช้าลง อีกทั้งใยอาหารยังช่วยดูดซับน้ำตาล ไม่ให้เข้าสู่กระแสเลือดเร็วเกินไป ทำให้ร่างกายสามารถดึงน้ำตาลไปใช้ได้พอดี³

ผัก นอกจากจะเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามิน แร่ธาตุที่จำเป็นสำหรับร่างกายแล้ว ส่วนประกอบที่สำคัญในผักยังเป็นยาหรือสมุนไพรที่สามารถช่วยป้องกันและรักษาโรคได้ตามภูมิปัญญาในท้องถิ่น โดยเฉพาะผักพื้นบ้านซึ่งมีมากตามท้องถิ่นต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประกอบอาหารรับประทานได้ตลอดปี โดยบางชนิดสามารถรับประทานได้ทั้งหัว ราก ใบ ดอก ผัก ต้นอ่อน และเมล็ด ทั้งนี้คุณค่าทางโภชนาการและสรรพคุณทางยาของพืชผักพื้นบ้านนี้มีมากมาย เช่น ข่า เหง้า แก้วก๋วยต้อ งู เสียด, ตะไคร้ช่วยบำรุงธาตุ ขับลมในลำไส้, ผักชี ช่วยเจริญอาหาร ขับเสมหะ แก้วก๋วยต้อ, ดอกขจร ช่วยเจริญอาหาร บำรุงตับ บำรุงสายตา, ผักชีลาว แก้วก๋วยต้อ ขับ

เหงื่อและ เพกาบำรุงธาตุ ขับเสมหะ ขับลม เป็นต้น⁴ นอกจากนี้ผักพื้นบ้านยังเป็นแหล่งของสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญทั้งวิตามินเอ วิตามินซี และเบต้าแคโรทีน เช่น ใบยา ใบชะพลู ใบตำลึง ผักชีลาว ใบแมงลัก ผักหวานบ้าน ผักติ้ว ใบมะกรูด เพกา ดอกขจร ผักชีฝรั่ง มะเขือขื่น มะสัง มะอึก เป็นต้น^{4,5} และยังพบว่าผักบางชนิดมีคุณสมบัติในการลดระดับน้ำตาลในเลือด ได้แก่ กระตุมทองเลื้อย เป๊าะดำปึง อินทนิลน้ำ พญาวานร มะระขี้นก มะตุม ใบจิกนา เพกา มะเดื่อขี้น้อย มะเดื่อกรวด เป็นต้น ซึ่งผักพื้นบ้านเหล่านี้สามารถยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดส ได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน Acarbose® ซึ่งเป็นยารักษาโรคเบาหวาน ดังนั้นผักเหล่านี้มีความเหมาะสมในการเป็นอาหารเสริมสุขภาพที่มีผลต่อการบำบัดและป้องกันโรคเบาหวานได้ในระดับหนึ่ง^{6,7} นอกจากนี้ในการรักษาโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคไขมันในเลือดสูง โรคความดันโลหิตสูง โรคหัวใจ และโรคเบาหวาน จะจำเป็นต้องได้รับสารต้านอนุมูลอิสระปริมาณสูงซึ่งการรับประทานผักที่อุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระก็จะเป็นสิ่งหนึ่งที่จะช่วยในการรักษาโรคได้⁵ ดังนั้นการส่งเสริมการบริหารกิจผักพื้นบ้านจึงเป็นทางเลือกที่จำเป็นเพื่อจะช่วยลดปัญหาโรคเรื้อรังต่างๆได้ ทั้งนี้การบริหารกิจผักนอกจากจะบริโภคผักสดแล้วอาจจะนำมาปรุงประกอบอาหารต่างๆเพื่อรับประทานได้ และที่สำคัญการนำผักพื้นบ้านมาพัฒนาเป็นเมนูในการป้องกันโรคตามภูมิปัญญาท้องถิ่นในรูปแบบวิธีการปรุงประกอบตามวิธีการบริโภคหรือบริบททางวัฒนธรรมของท้องถิ่น ก็จะช่วยให้เมนูสุขภาพนั้นสามารถบริโภคได้จริงในชุมชน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์เมนูผักพื้นบ้านโดยใช้กรรมวิธีการปรุงประกอบตามวิธีการบริโภคของท้องถิ่น โดยใช้ผักพื้นบ้าน 3 ชนิดได้แก่ เพกา ดอกขจร และ ผักชีลาว ซึ่งเป็นผักที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงคือร้อยละ 60.31, 52.35, 52.35 ตามลำดับ⁴ ซึ่งในการที่ผักทั้ง 3 ชนิดมีเส้นใยที่สูงซึ่งช่วยในการลดน้ำตาล และการที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจะยังช่วยลดภาวะแทรกซ้อนของโรคเบาหวานได้ นอกจากนี้เพกายังมีคุณสมบัติยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลโคซิเดสด้วยมาประกอบเป็นเมนูผักพื้นบ้าน 3 ชนิดได้แก่ ลาบเพกา ลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว ให้ผู้ป่วยเบาหวานรับประทานเพื่อ

ทดสอบว่าเมนูผักพื้นบ้านดังกล่าวมีผลต่อการระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยหรือไม่ โดยผลจากการศึกษาจะเป็นแนวทางในการพัฒนาเมนูอาหารเสริมสุขภาพจากผักพื้นบ้านในการดูแลสุขภาพผู้ป่วยเบาหวานต่อไป

วิธีการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ เป็นการวิจัยกึ่งทดลอง (Quasi Experimental Research) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยเบาหวานชนิดที่ 2 ที่รับบริการที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านซีต. เขาใหญ่ อ. กันทรวิชัย จ. มหาสารคาม โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกคือ 1) มีระดับน้ำตาลในเลือดระหว่าง 127 -180 มิลลิกรัม/เดซิลิตร 2) มีอายุระหว่าง 45-75 3) มีความยินดีและยอมรับการปฏิบัติตามวิธีการทดลองทุกประการ และเกณฑ์การคัดออกคือ ผู้ที่มีปัญหาการสื่อสาร ปัญหาสุขภาพจิต มีภาวะแทรกซ้อนโรคอื่น ๆ และไม่ยินดีเข้าร่วมการศึกษาทั้งนี้ ผู้เข้าร่วมการศึกษาทุกรายสามารถออกจากการศึกษาได้ตลอดเวลาการศึกษา ซึ่งจากเกณฑ์ดังกล่าวมีผู้ป่วยเข้าร่วมการวิจัย จำนวน 42 คน จากนั้นทำการสุ่มอย่างง่ายด้วยการจับฉลากแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มทดลองซึ่งได้รับประทานเมนูผักพื้นบ้าน จำนวน 21 คน และกลุ่มควบคุมซึ่งรับประทานอาหารตามวิถีปกติ จำนวน 21 คน

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือกลุ่มผู้ป่วยเบาหวานตำบลเขาใหญ่ อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม จำนวน 42 คนประชากรที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดขนาดตัวอย่างโดยใช้สูตร กรณีที่ทราบจำนวนประชากร (Krejcie and Morgan, 1970)

$$\text{จากสูตร } n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 P(1-P)}{e^2(N-1) + Z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}$$

โดย N แทน จำนวนประชากร 170 คน
 n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
 $Z_{\alpha/2}^2$ แทน ค่าสถิติมาตรฐานภายใต้โค้งปกติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น
 $Z_{\alpha/2}^2$ เท่ากับ 1.96
 E แทน ค่าความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0.13
 P แทน ผลการศึกษาการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้เป็นเบาหวาน ภายหลังเข้าโครงการการอบรมความรู้การจัดการเบาหวานด้วยตนเองแบบกลุ่มร้อยละ 58.53 = 0.58 (บุญจันทร์ วงศ์สุนพรัตน์ และคณะ, 2551)

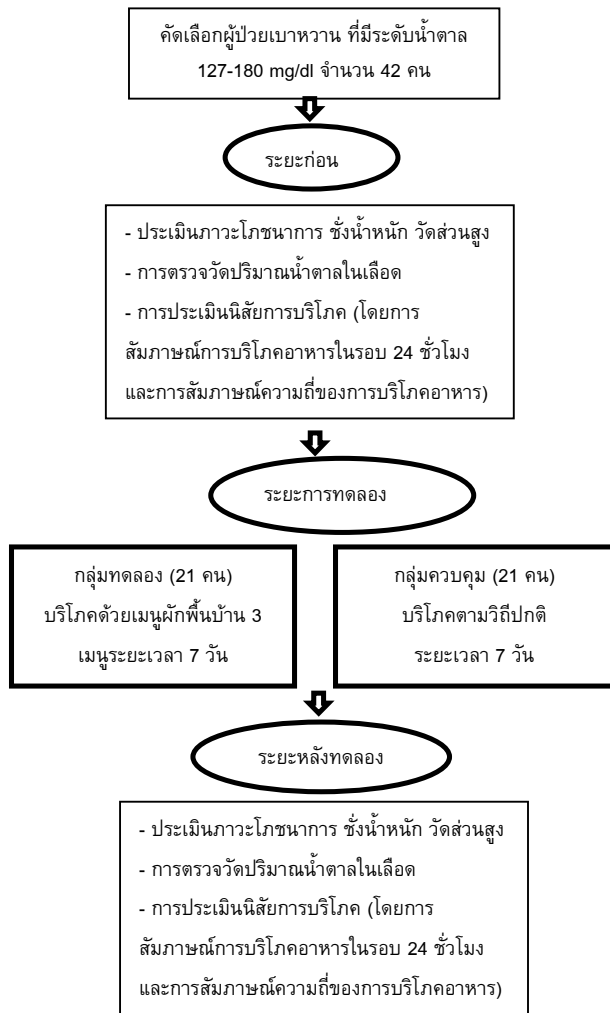
$$\text{จากสูตร } n = \frac{NZ_{\alpha/2}^2 P(1-P)}{e^2(N-1) + Z_{\alpha/2}^2 P(1-P)}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{170 \times (1.96)^2 \times 0.58 \times (1-0.58)}{0.13^2 \times (170-1) + 1.96^2 \times 0.58 \times (1-0.58)} \\ &= \frac{170 \times 0.9358}{2.8561 + 0.9358} \\ &= \frac{159.086}{3.7919} \\ &= 41.95 \approx 42 \text{ คน} \end{aligned}$$

เครื่องมือในการวิจัย ได้แก่ เครื่องตรวจปริมาณน้ำตาลในเลือดขนาดพกพา กลูโคสมิเตอร์ ยี่ห้อ ACCU-CHEK performa(ความถูกต้องแม่นยำ ของระบบตามมาตรฐาน EN ISO 1517: ตัวอย่าง 199 จาก 200 ตัวอย่าง (99.5%) อยู่ภายในช่วงที่ยอมรับได้ที่แคบที่สุด) เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องวัดส่วนสูง และแบบสัมภาษณ์ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลทั่วไป ข้อมูลการบริโภคอาหารย้อนหลัง 24 ชั่วโมง (24 hour recall) ข้อมูลความถี่การบริโภคอาหารภายใน 1 สัปดาห์ (Food frequency questionnaire) และข้อมูลการออกกำลังกาย

วิธีการดำเนินการวิจัยคณะผู้วิจัยติดต่อประสานงานกับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านซีตเพื่อขอความร่วมมือในการดำเนินการวิจัย จากนั้นชี้แจงวัตถุประสงค์และขั้นตอนการดำเนินการวิจัยกับกลุ่มตัวอย่างทั้ง 42 คน สำหรับขั้นตอนการทดลองนั้น กลุ่มทดลองจะได้รับประทานอาหารตามเมนูสุขภาพ 3 เมนู ได้แก่ ลาบเพกา ลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว เป็นระยะเวลา 7 วัน (วันละ 1 เมนู) วันละ 3 มื้ออาหาร (เช้า กลางวัน เย็น) โดยกำหนดปริมาณให้รับประทานมื้อละ 1 ส่วน (ประมาณ 100 กรัม) ส่วนกลุ่มควบคุมจะรับประทานอาหารตามวิถีปกติของผู้ป่วย จนครบ 7 วันเช่นกัน โดยทั้งนี้ก่อนและหลังการทดลองผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ทั้งในกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมดังนี้ การประเมินภาวะโภชนาการโดยการ ชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง, เก็บข้อมูลตามแบบสัมภาษณ์ ได้แก่ข้อมูลการบริโภคอาหารในรอบ 24 ชั่วโมง (24-hour recall) ข้อมูลความถี่ของการบริโภคอาหาร Food frequency questionnaire; FFQ) และการออกกำลังกาย ส่วนการตรวจวัดปริมาณน้ำตาลในเลือดดำเนินการโดยเจ้าหน้าที่สาธารณสุขของ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านซีต

การวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเปรียบเทียบข้อมูลทั่วไป ระดับน้ำตาลในเลือด พลังงานและสารอาหาร จำนวนครั้งการออกกำลังกายระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมโดยใช้สถิติ Independent t-test ส่วนการวิเคราะห์การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระดับน้ำตาลในเลือดกับการบริโภคเมนูสุขภาพ โดยการคำนวณหาค่า Relative risk (RR) กรณีที่มีการควบคุมตัวแปรกวนด้วยสถิติ Mantel-Haenszel



สำหรับแผนการดำเนินการทดลองตามแผนและการศึกษาครั้งนี้ได้ยื่นขอจริยธรรมวิจัยในมนุษย์ต่อคณะสาธารณสุขศาสตร์เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

หมายเหตุ: ปริมาณน้ำตาลที่เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือ ปริมาณน้ำตาลที่ลดลง (decreased) คือ ปริมาณน้ำตาลระยะหลังทดลองที่ลดลงจากระยะก่อนทดลอง 20%

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบว่า ผู้ป่วยเบาหวานกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีอายุเฉลี่ยใกล้เคียงกัน (กลุ่มทดลองอายุเฉลี่ย 64.62 ปี กลุ่มควบคุม 61.76 ปี) และมีสัดส่วนเพศชาย: เพศหญิงใกล้เคียงกัน (กลุ่มทดลองเพศชาย 9 คน และเพศหญิง 12 คน ส่วนกลุ่มควบคุมเพศชาย 6 คน และเพศหญิง 15 คน) กลุ่มทดลองน้ำหนักเฉลี่ย 60.88 กิโลกรัม กลุ่มควบคุมน้ำหนักเฉลี่ย 64.62 กิโลกรัม และกลุ่มทดลองส่วนสูงเฉลี่ย 158.66 เซนติเมตร กลุ่มควบคุมส่วนสูงเฉลี่ย 155.52 เซนติเมตรเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลทั่วไปของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (Table1)

การเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดพลังงานและสารอาหารจำนวนการออกกำลังกายครั้งต่อสัปดาห์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (ทั้งก่อนทดลองและหลังทดลอง)

เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดพลังงานและสารอาหารจำนวนการออกกำลังกายครั้งต่อสัปดาห์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในช่วงก่อนการทดลองพบว่า ทั้งสองกลุ่มมีค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 151.66 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร และกลุ่มควบคุมมีค่าเฉลี่ยระดับน้ำตาลในเลือดเท่ากับ 159.05 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร ส่วนการได้รับพลังงานและสารอาหารก็พบว่า กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมได้รับพลังงานในแต่ละวันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (กลุ่มทดลองได้รับพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 773.93 กิโลแคลอรีต่อวัน และกลุ่มควบคุมได้รับพลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 915.65 กิโลแคลอรีต่อวัน) ส่วนสารอาหารหลักที่ได้รับ ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน พบว่าทั้ง 2 กลุ่มได้รับสารอาหารไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เช่นกัน (กลุ่มทดลองได้รับโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 26.35 กรัม และกลุ่มควบคุมได้รับโปรตีนเฉลี่ยเท่ากับ 39.17 กรัม, กลุ่มทดลองได้รับคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ยเท่ากับ 137.06 กรัม และกลุ่มควบคุมได้รับคาร์โบไฮเดรตเฉลี่ยเท่ากับ 155.98 กรัม, กลุ่มทดลองได้รับไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 25.94 กรัม, กลุ่มควบคุมได้รับไขมันเฉลี่ยเท่ากับ 18.34 กรัม) ส่วนการเปรียบเทียบจำนวนการออกกำลังกายครั้งต่อสัปดาห์ของผู้ป่วยเบาหวานระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม (ก่อนการทดลอง)พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งการออกกำลังกายไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการออกกำลังกายของกลุ่มทดลองเท่ากับ 4.33 ครั้งต่อสัปดาห์ และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 5.19 ครั้งต่อสัปดาห์) (Table 1)

Table 1 Demographic characteristics, fasting blood glucose level, energy, nutrients and physical activity of experimental and control group (before experimented) (n=42)

variables	Experimental group (n =21) Mean (S.D.)	control group (n =21) Mean (S.D.)	Mean Difference	p- value
Age (yrs)	64.62 (6.90)	61.76 (8.13)	2.86	0.227
Weight (kg.)	60.88 (10.52)	64.62 (6.90)	2.54	0.387
Height (cm.)	158.00 (9.42)	155.52 (6.11)	2.48	0.318
fasting blood glucose(mg./dL.)	151.66 (21.18)	159.05 (11.26)	7.38	0.166
Energy (Kcal./day)	773.93 (553.41)	951.65 (794.46)	177.72	0.970
Protein (g)	26.35 (13.73)	39.17 (49.41)	12.82	0.950
Carbohydrate (g)	137.06 (112.72)	155.98 (133.63)	18.92	0.678
Fat (g)	25.94 (51.41)	18.34 (17.07)	7.61	0.772
physical activity time/week	4.33 (1.39)	5.19 (2.21)	0.86	0.062

เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำตาลในเลือดพลังงานและสารอาหารจำนวนการออกกำลังกายครั้งต่อสัปดาห์ระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในช่วงหลังการทดลองพบว่า ทั้งสองกลุ่มมีค่าค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือด (ค่าเฉลี่ยของระดับน้ำตาลในเลือดของกลุ่มทดลองเท่ากับ 157.52 มิลลิกรัม/เดซิลิตร และกลุ่มควบคุมมีเท่ากับ 157.57 มิลลิกรัม/เดซิลิตร) พลังงานที่ได้รับในแต่ละวัน(พลังงานเฉลี่ยกลุ่มทดลองเท่ากับ 1573.80 กิโลแคลอรีต่อวัน และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 1353.12 กิโลแคลอรีต่อวัน) และจำนวนครั้งการออกกำลังกาย (ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการออกกำลังกายของกลุ่มทดลองเท่ากับ 4.76 ครั้งต่อสัปดาห์ และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 4.81 ครั้งต่อสัปดาห์) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำตาลในเลือดกับการบริโภคเมนูผักพื้นบ้าน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำตาลในเลือดกับการบริโภคเมนูผักพื้นบ้าน โดยการคำนวณหาค่า Relative risk (RR) พบว่า ได้ค่า Crude RR เท่ากับ 1.33 (95% CI=0.72-2.47) นั่นคือกลุ่มทดลอง (บริโภคเมนูสุขภาพ) สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ 1.33 เท่าของกลุ่มควบคุม (บริโภคอาหารตามวิถีปกติ) ดังนั้นแสดงว่าการบริโภคเมนูผักพื้นบ้านจะมีศักยภาพในการบ่งชี้แนวโน้มในการลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ 33% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (Table 2)

Table 2 The association between fasting blood glucose level and local vegetable menu consumed

Group	fasting blood glucose level		Total	Crude RR	Adjusted RR	95% CI of Adjusted RR	p-value
	Decrease	No decrease					
Experimental group (consumed local vegetable menu)	12	9	21	1.33	1.33	0.71-2.46	0.56
control group (did not consumed local vegetable menu)	9	12	21				
Total	21	21	42				

เมื่อควบคุมตัวแปรการออกกำลังกาย (โดยใช้สถิติ Mantel-Haenszel) พบว่า ได้ค่า Adjusted relative risk เท่ากับ 1.33 และค่า 95 %CI เท่ากับ 0.71-2.46 แสดงว่าเมื่อควบคุมตัวแปรจำนวนครั้งการออกกำลังกาย กลุ่มทดลองซึ่งบริโภคเมนูผักพื้นบ้านก็ยังคงสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ 1.33 เท่าของกลุ่มควบคุม เหมือนเดิม (Crude RR = Adjusted RR)

แสดงให้เห็นว่าในการศึกษาครั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำตาลในเลือดและการบริโภคเมนูผักพื้นบ้านไม่ได้มีอิทธิพลมาจากการออกกำลังกาย ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าการบริโภคเมนูผักพื้นบ้านจะเพิ่มโอกาสที่จะทำให้อัตราส่วนน้ำตาลในเลือดลดลงได้ 33% ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการศึกษาพบว่ากลุ่มผู้ป่วยที่บริโภคเมนูผักพืชบ้านจากผักพื้นบ้านทั้ง 3 เมนู ประกอบไปด้วย ลาบเพกา ลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว มีระดับน้ำตาลเลือดลดลง เป็น 1.33 เท่าของกลุ่มควบคุม ทั้งนี้เนื่องในเมนูผักพืชบ้านมีผักพืชบ้านอยู่ 3 ชนิด ได้แก่ เพกา ดอกขจร และผักชีลาว ซึ่งผักเหล่านี้มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ดังการศึกษาของธิดารัตน์ สมดี⁴ พบว่า ลาบเพกา เมนูลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาวมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ ได้แก่ สารประกอบฟีนอลรวมและฟลาโวนอยด์รวมอยู่ในปริมาณมาก (เช่นในลาบเพกามีปริมาณ 161.38 และ 25.38 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของลาบเพกา ตามลำดับ), (ลาบดอกขจรมีปริมาณ 110.6 และ 29.80 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของลาบดอกขจร ตามลำดับ) และ (อ่อมไก่ใส่ผักชีลาวมีปริมาณ 289.22 และ 28.50 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว ตามลำดับและการศึกษาในหนูทดลอง พบว่า polyphenols สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของหนูที่เป็นเบาหวาน ซึ่งกลไกของ polyphenols ในการลดระดับน้ำตาลในเลือด โดยยับยั้งการทำงานของ amylase ซึ่งเป็นเอนไซม์ย่อยแป้ง โดย polyphenols จะยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ amylase ทั้งในน้ำลายและลำไส้ ซึ่งผลที่เกิดขึ้นคือ แป้งจะถูกย่อยช้าลง ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของน้ำตาลในเลือดเป็นไปอย่างช้า ๆ และนอกจากนี้ในเพกายังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดส โดยเปรียบเทียบกับยารักษาโรคเบาหวาน Acarbose® พบว่าสารสกัดเพกาที่มีความเข้มข้น 4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มีฤทธิ์การยับยั้งเอนไซม์ดังกล่าวร้อยละ 17.62⁶ ทั้งนี้เอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสเป็นเอนไซม์ซึ่งอยู่บริเวณผนังเซลล์ของลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ย่อยแป้งและคาร์โบไฮเดรตให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวด้วยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์⁹ ซึ่งการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจะทำให้สามารถชะลอการดูดซึมกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด และชะลอการเพิ่มของระดับน้ำตาลในกระแสเลือดได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการบริโภคผักทั้ง 3 ชนิด ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสดังกล่าวข้างต้น ซึ่งผลสามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดได้

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การบริโภคเมนูผักพืชบ้านจากผักพื้นบ้าน 3 ชนิด ได้แก่ ลาบเพกา ลาบดอกขจร และอ่อมไก่ใส่ผักชีลาว สามารถลดระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวานได้ ดังนั้นจึงควรแนะนำให้บริโภคเมนูผักพืชพื้นบ้านเป็นทางเลือกในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดของผู้ป่วยเบาหวาน และอาจจะนำไปปรุงประกอบเป็นเมนูอื่นๆ เช่น ยำเพกาใส่หมู

แกงส้มดอกขจร ดอกขจรผัดน้ำมันหอย อ่อมเนื้อหมูใส่ผักชีลาว เป็นต้นส่วนข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในครั้งต่อไปคือ ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลอง เพิ่มขึ้น เช่น 3-4 สัปดาห์ เพื่อศึกษาผลในระยะยาวต่อไป และควรศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อระดับน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง เช่น การศึกษาการออกกำลังกายทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดลดลง และพลังงานที่สูญเสียไปขณะการออกกำลังกาย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่สนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณอาสาสมัครผู้ป่วยเบาหวานทุกคนที่ให้ความร่วมมือในการวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านชีทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัยและการเก็บข้อมูล จึงทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลบ้านชี. ข้อมูลพื้นฐานด้านสุขภาพ ปี 2558. กันทรวิชัย มหาสารคาม: ม.ป.พ., 2558
2. ณีภูจิรา ทงบัวศิริไล, กุลพร สุขุมลตระกูล, วีระวัลย์ กรมงคลลักษณ์, วสุนทรี เสรีสุชาติ และวรรณชนก บุญชู. อ่อมอร่อยได้สุขภาพสไตล์เบาหวาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข; 2555.
3. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างสุขภาพ. กินอย่างไรคุมเบาหวานให้อยู่หมัด. ได้จาก: <https://goo.gl/Xi8f34> Jan 1 2017.
4. ธิดารัตน์ สมดี. อาหารกับการต้านอนุมูลอิสระ ในพืชผักพื้นบ้าน. พิมพ์ครั้งที่ 1. ขอนแก่น: สรรพโสการพิมพ์; 2558
5. อ้อมใจ วงษ์มณฑา. ผักพื้นบ้านและอาหารพื้นเมืองในการรักษาโรค. ได้จาก: <https://www.gotoknow.org/posts/188725> Jan 15 2017.
6. วิชุดา กล้าเวช, ฮายาดี เจ๊ะตาเห, ศิญาพร เจ้ยทองศรี และปวีณา ดิกิจ. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและยับยั้งเอนไซม์แอลฟาไกลูโคซิเดสจากสารสกัดผักพื้นบ้านในจังหวัดพัทลุง. วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ฉบับพิเศษการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. 2554. หน้า 331-336.

7. วิมลพรรณ รุ่งพรหม, ศิริรัตน์ ศิริพรวิศาล, สัญญา เขียวไสว, และ มุกดา ทรงไตรย์.
8. สารยับยั้งแอลฟาไกลูโคซิเดสจากพืชสมุนไพรเพื่อใช้บำบัดโรคเบาหวาน.ว. วิทยาศาสตร์เกษตร 2553; 41(3/1): 301-304.
9. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2559. พอลิฟินอล.ได้จาก: <https://goo.gl/u8QkFm> Jan 25 2017.

การถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับชนิดมีครีบบโดย ใช้เงินนาโนเป็นสารทำงาน

Heat Transfer of Closed-loop Oscillating Heat Pipe with CV on fin by using Silver-nanofluid

พัฒนพล มีนา,^{1*} ไพรัตน์ ธรรมแสง,² ชัยภัทร พลายบัว³

Pattanapol Meena,^{1*} Pairat Thammasaeng,² Chaiphath Plybour³

Received: 19 February 2017 ; Accepted: 20 June 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับชนิดมีครีบบโดยใช้เงินนาโนและน้ำดีไอเป็นสารทำงาน ในการศึกษานี้ท่อความร้อนทำจากทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อและและครีบบ คือ 5 และ 16 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความยาวของส่วนทำระเหย ส่วนกันความร้อน และส่วนควบแน่น คือ 200 100 และ 200 มิลลิเมตร ตามลำดับ ท่อความร้อนมี 24 ท่อ โดยใช้เงินนาโนและน้ำดีไอเป็นสารทำงาน ใช้อัตราเติมสาร 50% ของปริมาตรรวมท่อ ส่วนทำความร้อนให้ความร้อนด้วยลวดความร้อนหล่อเย็นส่วนควบแน่นด้วยอากาศ ควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส ปรับเปลี่ยนความเร็วอากาศที่มารับความร้อน 3 ระดับ คือ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ในการทดสอบจะมุ่งเน้นที่การถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับชนิดมีครีบบโดยใช้เงินนาโนและน้ำดีไอเป็นสารทำงาน พบว่าเมื่อใช้เงินนาโนเป็นสารทำงาน ที่ความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที ค่าการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพทางความร้อนของท่อความร้อนจะมีค่าสูงที่สุด คือ 5,973.94 วัตต์ต่อตารางเมตร และ 0.33

คำสำคัญ: ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ การถ่ายเทความร้อน เงินนาโน

Abstract

This research determined heat transfer rate of a CLOHP/cv by using Silver-nanofluid and Di-water as the working fluids. The CLOHP/cv in this study was made of copper. The copper tube and fin had an outside diameter were 5, 16 mm, respectively. The length of the evaporator, adiabatic and condenser sections were 200, 100 and 200 mm, respectively. The CLOHP/cv had 24 tubes with Silver-nanofluid and Di-water as the working fluids, and a filling ratio 50% of total volume. The evaporator section was heated by a heater, while the condenser section was cooled by fresh air. The hot air was controlled to 60 °C, and the fresh air velocities were adjust to three levels: 0.5, 1.0 and 1.5 m/s. The test operation was focused on the heat transfer rate and thermal effectiveness of the CLOHP/cv when using Silver-nanofluid and Di-water as the working fluids. It was found that the maximum value were 5,973.94 W/m² and 0.33 of the heat transfer rate and thermal effectiveness occurred when the air velocity was 0.5 m/s and using the silver-nanofluid as the working fluid.

Keywords: Oscillating heat pipe, Check valve, Heat transfer, silver-nanofluid

¹ รองศาสตราจารย์, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³อาจารย์, หน่วยวิจัยนวัตกรรมพลังงานและเทคโนโลยีท่อความร้อน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Assoc. Prof., ² Assist. Prof., Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University ³ Lecturer, Energy Innovation and Heat Pipe Technology Research Unit,

* Corresponding author; Assoc. Prof. Pattanapol Meena, Ph.D., Energy Innovation and Heat Pipe Technology Research Unit, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand, E-mail: pattanapol.m@hotmail.com

Introduction

The heat pipe is a type of heat transfer equipment that has high performance and can operate even if the difference in temperature between the heat sources is less have been developed. The principle of the heat pipe was first proposed by RS Gaugler in 1942. Later experimental research and development continued until the heat pipe could be widely applied.¹⁻⁵ Their use includes the cooling of electronic equipment, retaining heat from the gases leaving the engine cooling system to breakdown snow and medical uses, etc. Heat transfer enhancement techniques have been applied to the heat exchanger

equipment widely. In the design of heat exchangers, heat transfer efficiency must take into account the size, shape and proper use. Currently, when developing heat exchangers there are two methods used: active and passive. Most researchers are often interested in the passive method because it does not require external power to stimulate the increase of the surface area inside or outside the pipe. To help increase the efficiency of the heat pipe, the heat transfer must be better. For several years, many researchers have undertaken research on the thermal performance, until now.

Nomenclature	
A	Surface area, (m^2)
C_p	Specific heat capacity, (kJ/kg K)
d	Diameter, (m)
k	Thermal conductivity, (W/m K)
L	Length (m)
L_d / d_i	Aspect ratio
\dot{m}	Mass flow rate (kg/s)
Q	Heat-transfer rate, (W)
q	Heat-flux, (W/m^2)
R_{cv}	Ratio of check valves
T	Temperature, ($^{\circ}C$)
T_{in}	Inlet temperature at condenser section, ($^{\circ}C$)
T_{out}	Outlet temperature at condenser section, ($^{\circ}C$)
V	Velocity, (m/s)
Greek symbols	
μ	Viscosity, (Pa s)
ρ	Density, (kg/m^3)
σ	Surface tension, (N/m)
ε	Effectiveness
η	Fin efficiency
η_0	Surface efficiency
Subscripts	
a	Adiabatic
e	Evaporator
c	Condenser, cool air
f,	fin Fin
h	Hot air
i	Inside
l	Liquid
o	Outside
t	Fin thickness
v	Vapor

Miyazaki et al.⁶ studied an oscillating heat pipe including a check valve under normal operating conditions where the liquid and vapour are effectively separated. Charoensawan and Terdtoon.⁷ investigated the thermal performance of a horizontal closed-loop oscillating heat pipe (HCLOHP) under normal operating conditions. The tested HCLOHPs were made out of copper capillary tubes with various inner diameters, evaporator lengths and number of turns.

The working fluids were distilled water and absolute ethanol with various filling ratios. The thermal performance of the HCLOHP was demonstrated to improve with increasing evaporator temperature and decreasing ratio of the evaporator length to the effective length. The best performance of all the HCLOHPs occurred at the maximum number of 26 turns. Rittidech et al.⁸ Investigated the thermal performance of various horizontal closed-loop

oscillating heat pipe systems with check valves (HCLOHPs/CVs). The results showed that the heat-transfer performance of the HCLOHP/CV could be improved by decreasing the evaporator length. The highest performance of all the tested systems was obtained in the system with two check valves. The maximum specific heat flux occurred when a tube with an inner diameter of 2 mm was used, and R-123 was determined to be the most suitable working fluid. Rittidech et al.⁹ studied the heat-transfer characteristics of the CLOHP/CV. The inclination of the CLOHP/CV used in the experiments was 90° to the horizontal line. The experimental results showed that the heat flux increases with an increase in the ratio of the check valve with a decrease in the aspect ratio Le/d . This study focuses on determining the heat transfer of a CLOHP/cv on fin by using Silver-nanofluid.

Theoretical consideration

The Oscillating Heat Pipe (OHP), by Akachi et al.¹⁰, was invented as a new type of heat-pipe made from capillary tube that has been applied to cool small electronic devices. This new type of heat-pipe is called an oscillating heat-pipe (OHP), and has the same basic operational principle as the oscillating movement of the fluid and phase change phenomena. The first type is a closed-end oscillating heat pipe (CEOHP). In this type, a capillary tube is bent into many meandering turns and closed at both ends. The second type is a closed loop oscillating heat-pipe (CLOHP), in which the capillary tube is connected at both ends to form close-loop. The third type is a closed-loop oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CV). This type is a closed-loop oscillating heat-pipe, in which both ends of the capillary tube are connected to form a closed-loop. The loop has one or more check valves¹¹, see Figure 1.

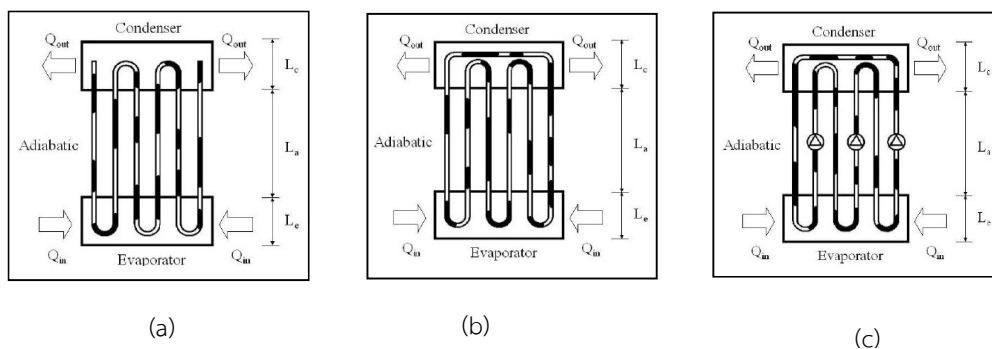


Figure 1 Type of Oscillating Heat Pipes: (a) CEOHP, (b) CLOHP, (c) CLOHP/CV¹²

Heat transfer characteristics of the CLOHP/CV

Determination of the heat transfer to the condenser section is calculated by the calorific method. By measuring the temperature of the inlet and outlet of the heating fluid, the condenser values can be calculated using the following equation:

$$Q = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \tag{1}$$

Where Q is the heat transfer (W), \dot{m} is the mass flow rate (kg/s), C_p is the specific heat (J/kg·°C), T_{in} is the inlet temperature (°C) and T_{out} is the outlet temperature (°C).

The mass flow rate is given by the following equation:

$$\dot{m} = \rho VA \tag{2}$$

Where ρ is the density (kg/m³), V is the velocity (m/s) and A is the area (m²).

The heat transfer rate can be determined from the following equation:

$$q = \frac{Q}{A_c} = \frac{Q}{\pi D_o L_c N} \tag{3}$$

Where q is the heat flux (W/m^2), D_o is the outside diameter of the tube (mm), L_c is the length of condenser section (mm) and N is the number of rods in the heat pipe condenser section.

Fin efficiency, η_f performance of the fin is the ratio between the heat transfer surface of the cooling fins. The actual ratio of the heat transfer surface intermediates, but not the fin thermal performance of the fins (Fins efficiency), can be obtained from the following equation:

$$\eta_{fin} = \frac{Q_{fin}}{Q_{max}} \tag{4}$$

The heat transfer rate of fin efficiency is given by the following equation:

$$Q_{max} = A_{fin} (T_{out} - T_{in}) \tag{5}$$

The heat transfer rate of the fins is given by the following equation:

$$Q_{fin} = n\eta_{fin}h(T_b - T_a) \tag{6}$$

Fin surface area exposed to the fluid is obtained from:

$$A_{fin} = [2\pi(r_o^2 - r_i^2) + 2\pi r_o t] \tag{7}$$

When η_{fin} is the fin efficiency, Q_{fin} is the heat transfer rate at the fin surface (W), Q_{max} is the heat transfer rate at the maximum surface of the fins (W), A_{fin} is the fin surface area exposed to the fluid (m^2), h is the coefficient of heat transfer (W/m^2-K), T_b and T_a are the temperature of the pipe surface and ambient temperature, respectively ($^{\circ}C$), r_i is the internal radial of the fin (mm), r_o is the external radius of the fin (mm), t is the thickness of the fin (mm) and n is the number of fins. Gardner, analyzed the performance of a circular copper fin, then analyzed it in the form of graphs for ease of use, as shown in Figure 2.

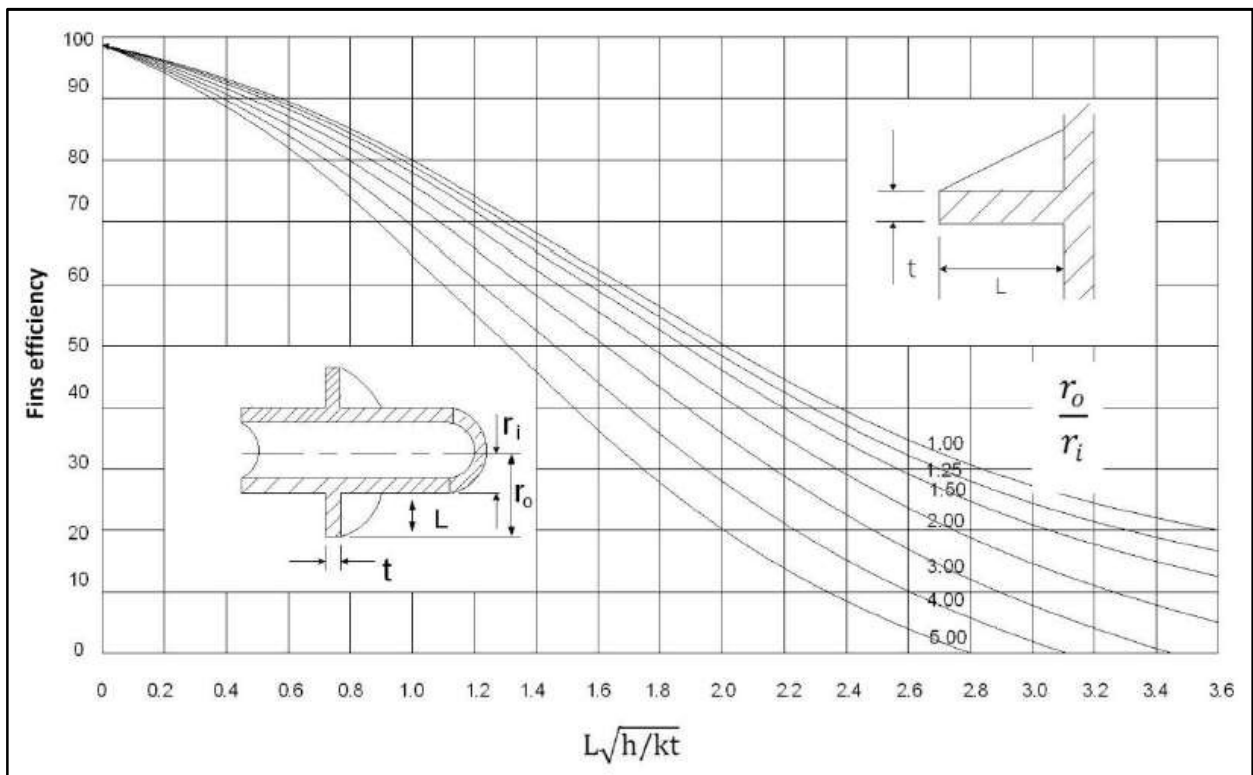


Figure 2 Performance graphs of circular copper fin form Gardner¹²

The y axis is given by the following equation:

$$y = \frac{r_o}{r_i} \quad (8)$$

And the x axis is given by the following equation:

$$x = L \sqrt{\frac{h}{kt}} \quad (9)$$

When L is the length of the tube surface to the fin (mm) and k is the thermal conductivity of the fin material ($\text{W/m}^2\text{-K}$).

Effectiveness of CLOHP/CV with fins

The effectiveness (ε) of the CLOHP/CV can be defined as the ratio of the actual heat transfer rate (Q_{act}) for a CLOHP/CV to the maximum possible heat transfer rate (Q_{max})¹³. This can be represented by the following equation:

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \quad (10)$$

When:

$$Q_{act} = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{e,in} - T_{e,out}) / \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) \quad (11)$$

As:

$$\varepsilon_e = \dot{m}_h C_{p,h} (T_{e,in} - T_{e,out}) / \left(\dot{m} C_p \right)_{\min} (T_{e,in} - T_{c,in}) \quad (12)$$

$$\varepsilon_c = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in}) / \left(\dot{m} C_p \right)_{\min} (T_{e,in} - T_{c,in}) \quad (13)$$

From which it follows:

Where d_{max} [m] maximum inner diameter of the capillary tube, σ [N/m] is the surface tension of the fluid, ρl [kg/m^3] is the liquid density and g [m/s^2] is the gravitational acceleration.

$$\varepsilon = Q_e / Q_{max} = Q_c / Q_{max} = Q_{ave} / Q_{max} \quad (14)$$

Where the maximum possible heat transfer rate (Q_{max}) can be represented by the following equation:

In case $C_c < C_h$

$$Q_{max} = C_c (T_{e,in} - T_{c,in}) \quad (15a)$$

In case $C_c > C_h$

In case $C_c > C_h$

$$Q_{max} = C_h (T_{e,in} - T_{c,in}) \quad (15b)$$

When $C_c = \dot{m}_c C_{p,c}$ and $C_h = \dot{m}_h C_{p,h}$ Equations 19a and 20b can be rewritten to obtain the general expression¹⁴:

$$Q_{max} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \quad (16)$$

$$Q_{ave} = (Q_e + Q_c) / 2$$

By definition the effectiveness, which is dimensionless, must be in the range

$$0 \leq \varepsilon \leq 1 \quad (17)$$

Experimental details

An important factor that has to be considered in building a CLOHP/CV is the tube diameter. The maximum inner diameter of the CLOHP/CV can be defined by the equation derived by Maezawa et al.¹⁵

$$d_{max} \leq 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho l g}} \quad (18)$$

Where d_{max} [m] is the maximum inner diameter of the capillary tube, σ [N/m] is the surface tension of the fluid, ρl [kg/m^3] is the liquid density and g [m/s^2] is the gravitational acceleration.

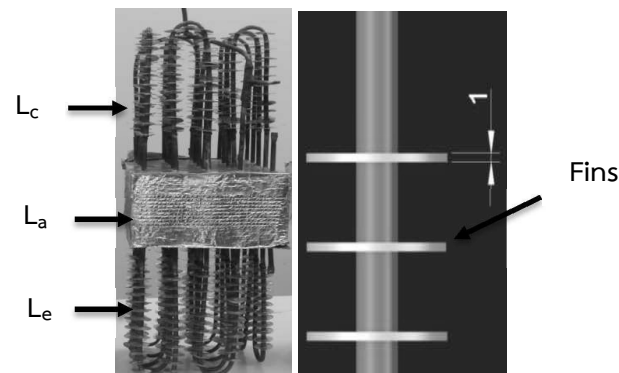


Figure 3 CLOHP/CV used in experiment¹²

Table 1 Specification of CLOHP/CV.

	Parameters	Specification
Copper tube	Inlet diameter (mm)	5.0
	Material	Copper
	Number of turns	24
	Alignment	Inline
	Length total (mm)	500
	Length of condenser (mm)	200
	Length of evaporator (mm)	200
	Length of adiabatic (mm)	100
Fin	Fin type	Annular
	Material	Copper
	Fin pitch (mm)	10
	Diameter (mm)	16
	Thickness (mm)	1.0
	Alignment	Inline

Specifications of the CLOHP/CV used in the experiment are shown in Table 1. The check valve is a floating-type valve that consists of a stainless steel ball and a copper tube, in which a ball stopper and conical valve seat are provided at the ends of the top and bottom of the check valve case, respectively (Figure 4). The ball can move freely between the ball stopper and the conical

valve seat. The conical valve seat contacts the stainless-steel ball in order to prevent the working fluid from flowing in reverse. The ball stopper allows the working fluid to travel to the condenser section for transferring heat. The CLOHP/CV operation principle relies on three driving forces: surface tension, gravity, and oscillating forces. These forces are influenced by many parameters.

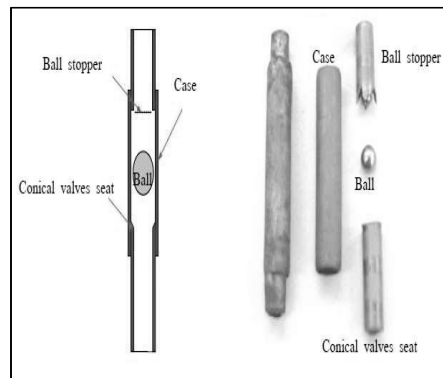


Figure 4 Check valve structure⁹

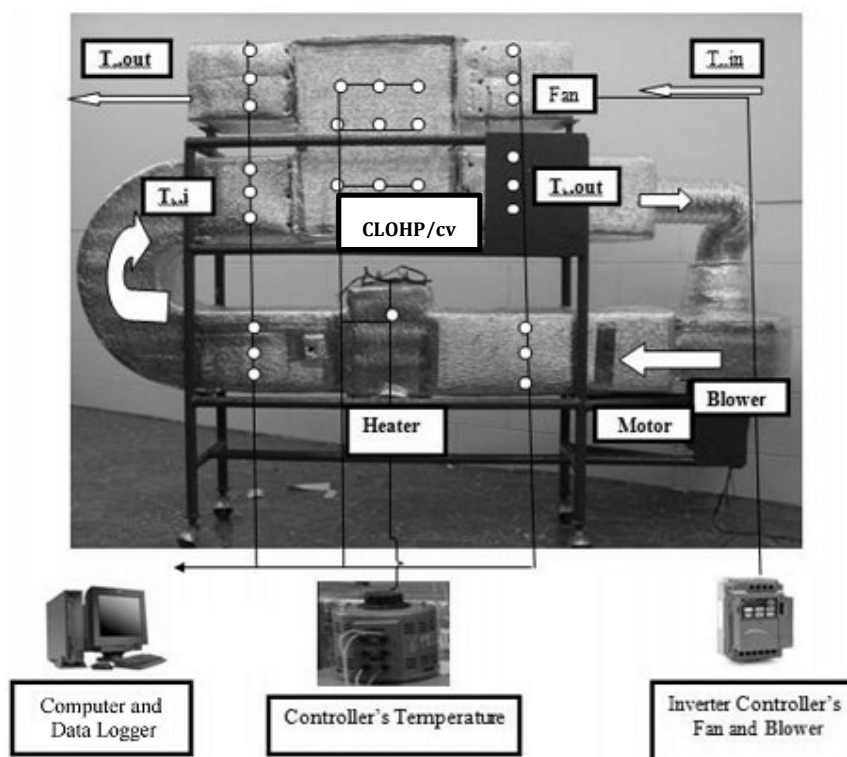


Figure 5 Schematic diagram of the experimental setup

Table 2 Experimental conditions

Parameters	
Inlet temperature evaporator section (°C)	60 °C
Inlet temperature of fresh air (°C)	25 °C
Working fluid	Di-Water, Silver-nano
Velocity of hot air (m/s)	0.5
Filling ratio	50 % by volume

The experimental setup used in this study and the thermocouple locations are shown in Figure 5. The specifications of the CLOHP/CV are given in table 1. The test consisted of three main sections: the CLOHP/CV section, the heating loop and the cooling section. The device use in the experiment was completely insulated with the glass wool. The amount of heat loss from the evaporator and condenser surfaces is negligible. The adiabatic section of the heat exchanger is completely insulated with **polyethylene**, in Figure 3. Measurements were taken using thermocouples (K-type) with an uncertainty of $\pm 0.1^\circ\text{C}$ at a total 25 points. These were attached to a Data Logger (Agilent Technologies 34970A and the 34970A features 61/2 digits (22bits) of resolution, 0.004% basic DCV accuracy). The heating loop was in the region of the evaporator section of CLOHP/CV. The heating was controlled by a voltage regulator to the heater, which is attached to the evaporator section, and the controlled temperature of hot air to the evaporator section was 60°C . A blower was used to control the heating loop with an inverter (Siemens sinamics g110, output frequency 0 Hz-650 Hz and Cos ($\phi \geq 0.95$) to controller the speed motor. The air inlet and outlet temperatures of the experiment were measured when the system reached a steady state condition. The cooling loop is in the region of the condenser section of the CLOHP/CV. This was cooled by a fresh air and the velocity was controlled at 0.5 m/s by an inverter. The cool air was allowed to flow through the condenser to cool the CLOHP/CV, the experiment condition are shown in Table 2.

Results and discussion

Effect of inclination angles on the heat transfer rate in Figure 6 shows the relationship between the effects of the working fluid on the heat transfer rate of the CLOHP/cv heat exchanger. When the fresh air velocities were adjusted at three levels: 0.5, 1.0 and 1.5 m/s, and using Ag-nanofluid and Di-water as the working fluids, it was found that using the Ag-nanofluid as the working fluid gave the highest heat transfer rate performance, which was better than the Di-water for all variables. This indicated that the heat transfer rate performance

increased when compared with the Di-water for all variables. The Ag-nanofluid improved the heat transfer rate performance because it has a high thermal conductivity that increases the proportion of the vapor more than Di-water, which increases the heat transfer rate.

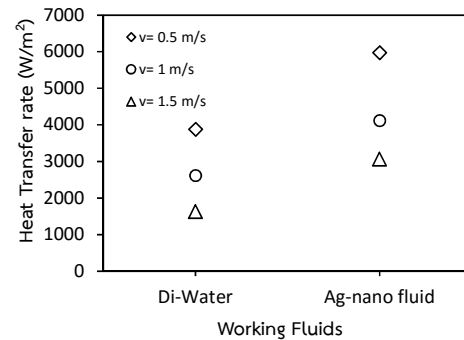


Figure 6 Effect of working fluid on heat transfer rate of CLOHP/cv heat exchanger at a temperature of 60°C

Figure 7 shows the relationship between the effects of the working fluid on the thermal effectiveness of the CLOHP/cv heat exchanger when the air velocity was changed between 0.5, 1.0 and 1.5 m/s and using the Ag-nanofluid and Di-water as the working fluids. It was found that when using the Ag-nanofluid as the working fluid that it gave the highest thermal effectiveness performance for all the variables. This indicated that the thermal effectiveness performance was increased when compared with the DI-water for all variables. The Ag-nanofluid improved the thermal efficiency performance because it has a high thermal conductivity that causes the heat transfer to increase and also caused the proportion of the vapor to be more than the Di-water, and this increased the thermal efficiency.

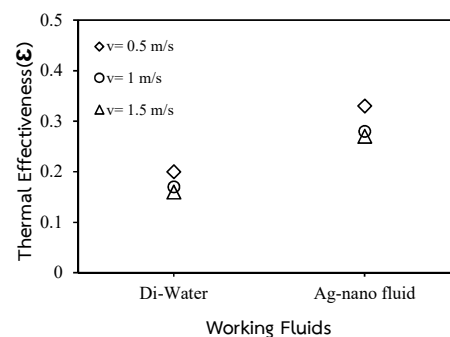


Figure 7 Effect of working fluid on thermal effectiveness of CLOHP/cv heat exchanger at a temperature of 60°C

Conclusions

Experimental investigations were carried out on the effect of various parameters on the heat transfer rate and thermal effectiveness of the CLOHP/cv heat exchanger using Ag-nanofluid as the working fluid. The CLOHP/cv heat exchanger was made from copper. The copper tube and fin had an outside diameter were 5, 16 mm, respectively. The lengths of the evaporator, adiabatic and condenser sections were 200, 100 and 200 mm, respectively. The CLOHP/cv heat exchanger had 24 tubes with Silver-nanofluid or Di-water used as the working fluids, with a filling ratio of 50% by total volume. The evaporator section was heated by the heater while the condenser section was cooled by fresh air with velocities adjust to three levels: 0.5, 1.0 and 1.5 m/s. The experiments can be summarized as follows:

1. When the air velocity input into the condenser increased, the heat transfer rate decreased.
2. When the air velocity input into the condenser increased, the thermal effectiveness decreased.
3. When using the Ag-nanofluid, the heat transfer rate and thermal effectiveness was higher than when using DI-water for all variables.

Therefore, as indicated when comparing between the heat exchanger using silver-nanofluid and Di-water as the working fluid it was shown that the heat transfer rate and thermal effectiveness performance of the silver-nanofluid was better than the Di-water for all variables.

Acknowledgment

The authors wish to express thanks to the Nation Research Council of Thailand, for the financial support of this work. Thanks to the Energy Innovation and Heat Pipe Technology Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Mahasarakham University.

References

1. Kroger, Detlev. Air-cooler heat Exchangers and Cooling towers. Tulsa Okl. Penn well, c2004.
2. Hishida M., Mitsuno R., Zhang X., Tanaka G., Heat transportation by oscillatory flow in a new type of heat transportation pipe, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol.52, pp. 5634–5642, 2009.
3. Hagens H., Ganzevles F.L.A., Van der Geld C.W.M., Grooten M.H.M., Air heat exchangers with long heat pipes: Experiments and predictions, Applied Thermal Engineering. vol. 27, pp.2426–2434, 2007.
4. Song F., Ewing, C.Y. Ching D., Heat transfer in the evaporator section of moderate-speed rotating heat pipes, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 51, pp.1542–1550, 2008.
5. Marcarino P., Merlone A., Gas-controlled heat-pipe for accurate temperature measurements, Applied Thermal Engineering. vol. 23, 1145–1152, 2003.
6. Miyazaki Y., Polasek S., Akachi H., Oscillating Heat Pipe with Check Valves, in Proc. of the 6th Int. Heat Pipe Symp. (Chiang Mai, Thailand, pp. 389–393. 2000.
7. Charoensawan P., Terdtoon P., Thermal Performance of Horizontal Closed-Loop Oscillating Heat Pipes, Appl. Therm. Eng. Vol.28 (5/6), pp.460–466, 2008.
8. Rittidech S., Pipatpaiboon N., Thongdaeng S., Thermal Performance of Horizontal Closed-Loop Oscillating Heat-Pipe Systems with Check Valves (HCLOHPs/CVs), J. Eng. Appl. Sci. vol.24 (2), pp.545–550, 2010.
9. Rittidech S., Pipatpaiboon N., Terdtoon P., Heat Transfer Characteristics of a Closed Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves, Appl. Energ. Vol.84 (5), pp.565–577, 2007.
10. Akachi H., Polasek F., Stulc P., Pulsating heat pipe, Proceeding of the 5th International Heat Pipe Symposium, Australia: s.n., 1996, pp. 208-217.
11. Wannapakhe S., Heat Pipe and Thermosyphon Applications in Thailand," The Journal of KMUTNB., Vol. 22, No. 3, 2012.
12. Pholkho A., Chompookham T., Meena P., Effect of Inclination Angle on the HeatTransfer Performance of a Closed Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valve (CLOHP/CV) and Fins on Tube Wall. J. Sci. Technol. MSU, V.33 (2), 2014.
13. Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer. School of Mechanical Engineering Purdue University, Ed.4th. 1996.

14. Pipatpaiboon N., Rittidech S., Meena P., Experimental Study of a Thermosyphon Heat Exchanger (TPHE) in a Bio-diesel Factory in Thailand, Arab. J. Sci. Eng. Vol.37, pp.2047–2060, 2012.
15. Maezawa S., Minamisawa A. Gi, K., Akachi H., Thermal Performance of Capillary Tube Thermosyphon,” in Proc. of the 9th Int. Heat-Pipe Conf., 1995 (Albuquerque, 1996) pp. 791–795.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาผลงานในวารสารใด บทความอาจถูกตัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์

3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา

4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างใดอย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".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 ไม่ใช่คำย่อ 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 และไม่ควรถูกย่อ

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 สิ่งที่มาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปรผล

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

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) แสดงให้เห็นว่าผลการศึกษาดตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบด้วยสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และให้จบด้วยข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือทิ้งประเด็นคำถามการวิจัย 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. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998 Mar 1;55(5):697-701

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

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

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. Procedings of the 7th World Congress on Medical Informatics; 1992 Sep 6-10; Geneva, Switqerland, Amsterdam: North Holland; 1992. P.1561-5.

พิทักษ์ พุทธวรชัย, กิตติ บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสูกของพริก. 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. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

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

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

3. Browallia font type is required with font size as follows:

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

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

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณัติหรือตัวแลกเงิน 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