



Volume 37 Number 1 January - February 2018

ISSN PRINT : 1686-9664

ISSN ONLINE : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th



ปีที่ 37 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2561

ISSN PRINT : 1686-9664

ISSN ONLINE : 2586-9795

วารสาร

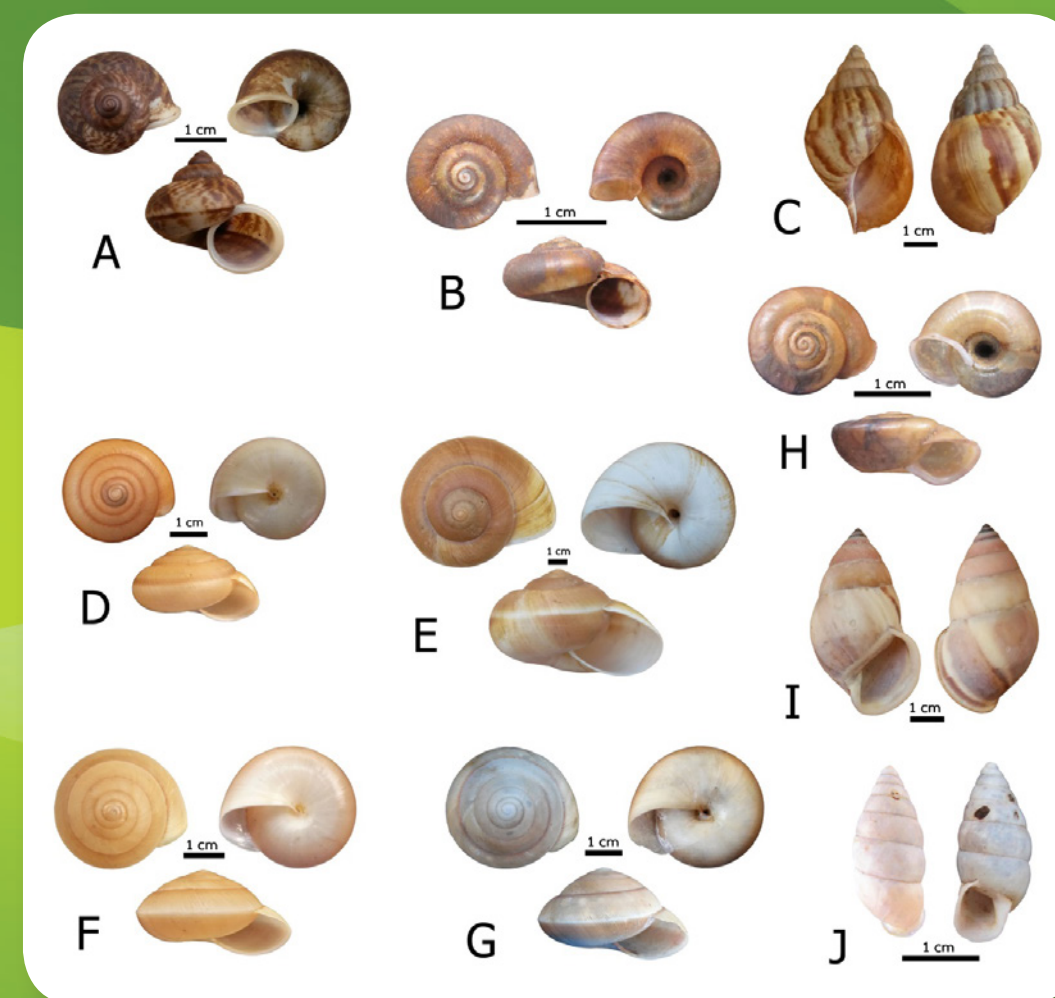
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 37 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2561

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 37 Number 1 January - February 2018



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

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการและผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่มีเนื้อหาครอบคลุมงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สุขภาพและวิศวกรรมศาสตร์ บทความและบทความวิจัยที่จะนำมาตีพิมพ์ในวารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จะต้องได้รับการตรวจสอบทางวิชาการจากผู้ทรงคุณวุฒิ (peer review) ทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัยเพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล

เจ้าของ

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

ที่ปรึกษา

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

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ
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 อานปรื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะสิทธิ์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิพงษ์
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.อดิเทพ รุ่งสิทธิชัย
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รักษิณดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Mr.Paul Alexander Dulfer
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางพัทตรีวิไล รุ่งวิสัย

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิราวัฒน์ ภูสิทธิ์

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 Somana
Professor Dr. Visut Baimai
Professor Dr. Vichai Boonsaeng

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

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

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

Secretary

Phakwilai Rungwisai

Assistant secretary

Jirat Puseerit

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับ อนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เริ่มต้นปีใหม่ ในปีพุทธศักราช 2561 ฉบับนี้ ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย จำนวน 15 เรื่อง ประกอบด้วยงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์กายภาพ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ และคณิตศาสตร์ ผลงานเหล่านี้ล้วนเกิดจากความมุ่งมั่นของผู้วิจัยที่จะค้นคว้าหาองค์ความรู้ใหม่ เพื่อสร้างความเข้มแข็งด้านการวิจัยของประเทศ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอร่วมเป็นส่วนหนึ่งในการเป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าเหล่านี้ให้กับผู้อ่านต่อไป กองบรรณาธิการ มีความมุ่งมั่นอย่างเต็มที่ที่จะยกระดับคุณภาพของผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารให้มีความเข้มแข็งทางวิชาการ โดยผ่านกระบวนการตรวจสอบทางวิชาการ กลั่นกรองความถูกต้อง โดยผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชา ทั้งนี้ เพื่อคุณภาพและมาตรฐานทางวิชาการของวารสาร

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ความหลากหลายของหอยทากบกภายในหย่อมป่าขนาดเล็กบางแห่งในจังหวัดศรีสะเกษ

ภาพปก : ชุตติมา สาสังข์ และคณะ. 2561, 85-97.

สารบัญ

นิพนธ์ต้นฉบับ

- การศึกษาาระดับเสียงและอาการผิดปกติจากการสัมผัสเสียงของพนักงานโรงงานผลิตกระดาษ 1
A Study of Sound Levels and Abnormal Symptoms of Noise Exposure in Workers at a Paper Plant
ปัทมพร กิตติกอง, พรพรรณ สกุลคู, กาญจนา นาทะพินธุ
Patthamaporn Kittikong, Pornpun Sakunkoo, Ganjana Nathapindhu
- ความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กและความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจในพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น 7
Concentration of respirable dust exposure and respiratory tract disorder among pulp and paper workers in Khon Kaen province
พิชญพงษ์ มุยกคำ, พรพรรณ สกุลคู
Pitchayapong Muikham, Pornpun Sakunkoo
- ผลของการให้แสงคลื่นกลางคืนและพาโคลบิวทราโซลต่อสารประกอบทางเคมีในปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่ปลูกนอกฤดู 16
Effect of Night-break and Paclobutrazol on Chemical Compound in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. 'Kimono' Pink Grown Off-season
เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง, เบ็ญจวรรณ ชูติชูเดช, ประสิทธิ์ ชูติชูเดช
Kriangsuk Boontiang, Benjawan Chutichudet, Prasit Chutichudet
- ซากดึกดำบรรพ์ฟิวซิลินิดยุคเพอร์เมียนตอนกลางและสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนหินปูนจากพื้นที่ศึกษาบ้านวชิราลงกรณ์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย 22
Middle Permian Fusulinids and depositional environment of limestones from Ban Vachiralongkorn area, Pak Chong district, Nakhon Ratchasima province, NE Thailand
คมกฤษ อุตวิเศษ, มงคล อุดชาชน, หทัยทิพย์ ทัศนภักดิ์
Komkit Uttarawiset, Mongkol Udchachon, Hathaihip Thassanapak
- การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยพฤติกรรมของกวาง: กรณีปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย 38
An optimization algorithm for behavior of Siamese Rhinoceros Beetles: solving the Traveling Salesman Problem
เสกสรรค์ วินยางค์กุล
Seksan winyangkul
- กายวิภาคศาสตร์พืชวงศ์ลีลาวดี (Apocynaceae) บางชนิดของประเทศไทย 51
Anatomy of some Apocynaceae in Thailand
กิตตภา มะลิมาตร, ปิยะพร แสนสุข,อุษา ทองไพโรจน์
Kittapha Malimart, Piyaporn Saensouk, U-sa Thongphairoj

สารบัญ

ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวัน ในอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย Species diversity of butterflies in Phu Ruea National Park, Phu Ruea district, Loei province กิตติ ตันเมืองปัก, ศิริกรณ์ ศรีโพธิ์, พิสุทธิ์ เอกอำนวย Kitti Tanmuangpak, Sirikorn Sripho, Pisuth Ek-Amnuay	65
ผลจากสารสกัดจากใบสาบเสือในการควบคุมเพลี้ยอ่อนถั่ว <i>Aphis craccivora</i> Koch (Hemiptera: Aphididae) Effect of siam weed leaf extract, <i>Chromolaena odorata</i> (L.) R.M. King & H. Rob in controlling cowpea aphid, <i>Aphis craccivora</i> Koch (Hemiptera: Aphididae) ณัฐพงศ์ เมธินธรังสรรค์ Nathapong Matintarangsarn	79
ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกภายในหย่อมป่าขนาดเล็กบางแห่งในจังหวัดศรีสะเกษ Species diversity of land snails in some small forest patches in Si Sa Ket province ชุตินา สาสังข์, ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ, ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ Chutima Sasang, Chanidaporn Tumpeesuwan, Sakboworn Tumpeesuwan	85
การวิเคราะห์ความเสี่ยงพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา Flood Risk Analysis based on a Decision Tree Model at Songkhla Lake Basin ธิดาภัทร อนุชาญ, นิตี เอี่ยมชื่น Thidapath Anucharn, Niti lamchuen	98
วิธีการทำนายการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองของชายฝั่งทะเล Predictive approach for corrosion study of low alloy steel in a simulated coastal atmosphere ธีร์ เชาวนนทปัญญา, ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ Thee Chowwanonthapunya, Chaiyawat Peeratatsuwan	108
ผลความเข้มข้นที่มีต่อสเปกตรัมการวาวแสงของสีย้อมในสารละลายน้ำ Concentration effects on the spectra of fluorescence dyes in aqueous solution ธนกฤต โครงเซ็น, อธิพงศ์ งามจาร์โรจน์, อภิชาติ ลิ้มปิชัยพานิช, ศักดิ์สิทธิ์ สุขประสงค์ Thanakit Krongsen, Athipong Ngamjarrojana, Apichart Limpichaipanit, Saksit Sukprasong	113
การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคาดการณ์น้ำท่วม ณ สถานี Y.16 บางระกำ Development of an Artificial Neural Network Model for Flood Prediction at Y.16 Bang Rakam Station สุภาวดี ช้องกำ, ทวี ชัยพิมผลิน Supawadee Songka, Tawee Chaipimonplin	119

สารบัญ

- การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิว
ในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม 130
- Application of Landsat Data for Detecting Land Surface Temperature in Mueang Maha Sarakham District,
Maha Sarakham Province**
- อุเทน पीบขุนทด, ปรมะษฐ์ จันทร์เพ็ง, ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ
Uten Peebkhunthod, Pormate Chunpang, Teerawong Laosuwan
- สมบัติของพื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส 136
- The properties of area of a Nine-Point Circle of an Archimedes' Triangle**
- ภิญโญ มนุสิลป์, ยุพพร ริมชลการ
Pinyo Manoosilp, Yuporn Rimcholakarn

การศึกษาระดับเสียงและอาการผิดปกติจากการสัมผัสเสียงของพนักงานโรงงานผลิตกระดาษ A Study of Sound Levels and Abnormal Symptoms of Noise Exposure in Workers at a Paper Plant

ปัทมพร กิตติกอง¹, พรพรรณ สกุลคู², กาญจนา นาถะพินธุ³

Patthamaporn Kittikong¹, Pornpun Sakunkoo², Ganjana Nathapindhu³

Received: 17 March 2017 ; Accepted: 8 June 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นวิจัยเชิงพรรณนาภาคตัดขวาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับเสียง อาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียง และหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ ดำเนินการตรวจวัดระดับเสียงด้วยเครื่องวัดระดับเสียง (Sound level meter) จำนวน 10 แผนก 36 จุดตัวอย่าง และใช้แบบสอบถามอาการผิดปกติจากการสัมผัสเสียงของพนักงาน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 155 คน ทำการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) โดยเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2560

ผลการวิจัยพบว่า การตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) ในเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง พบระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.5 - 89.4 เดซิเบล (เอ) บริเวณที่มีระดับเสียงเฉลี่ยสูงสุด คือ แผนกพลังงาน มีระดับเสียงอยู่ที่ 89.4 เดซิเบล(เอ) ส่วนบริเวณที่มีระดับเสียงเฉลี่ยต่ำสุด คือ แผนกสนับสนุนบำรุงรักษา มีระดับเสียงอยู่ที่ 75.5 เดซิเบล (เอ) และระดับเสียงต่ำสุดถึงสูงสุด อยู่ใน ช่วง 71.7 - 97.9 เดซิเบล (เอ) พบว่าบริเวณที่มีระดับเสียงต่ำสุด คือ แผนกผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มีระดับเสียงอยู่ที่ 71.7 เดซิเบล (เอ) ส่วนบริเวณที่มีระดับเสียงสูงสุด คือ แผนกผลิตน้ำยาเคมีกลับคืน ซึ่งมีระดับเสียงอยู่ที่ 97.9 เดซิเบล (เอ) การศึกษาอาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียง พบอาการผิดปกติ 1 อาการ ร้อยละ 30.32 อาการผิดปกติ 2 อาการ ร้อยละ 21.94 และอาการผิดปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ คิดเป็นร้อยละ 47.74 โดยอาการที่พบส่วนใหญ่ คือ อาการปวดศีรษะ เครียด การสื่อสารกับผู้อื่นไม่ค่อยได้ยิน หูอื้อหรือเสียงดังในหู ขาดสมาธิ และเวียนศีรษะ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ พบว่าอาการผิดปกติ 1, 2 และมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\text{-value}>0.05$)

การป้องกันระดับเสียงที่เกินมาตรฐานในโรงงานผลิตกระดาษ ควรมีการควบคุมระดับเสียงให้ได้มาตรฐานโดยมีการตรวจวัดระดับเสียงเป็นประจำทุกปี และเฝ้าระวังอาการผิดปกติของพนักงาน รวมถึงศึกษาปัจจัยอื่นที่มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติต่อไป

คำสำคัญ: ระดับเสียง อาการผิดปกติ การสัมผัสเสียง โรงงานผลิตกระดาษ

¹ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา สาขาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม อาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

¹ Graduate Student in Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Khon Kaen University E-mail: Pat_kittikong@hotmail.com

² Assist. Prof., Department of Environmental Health Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Khon Kaen University

³ Assoc. Prof., Department of Environmental Health Occupational Health and Safety, Faculty of Public Health, Khon Kaen University

Abstract

This cross-sectional descriptive research aimed to study the sound levels, abnormal symptoms and the correlations between abnormal symptoms of noise exposure in workers and sound levels of paper plant. Measurement carried out by using sound level meter and abnormal symptoms questionnaire. The stratified random samples were 155 employees by collecting data during January to March, 2017.

The results revealed that the equivalent continuous sound level (L_{eq}) 8 hour work day (TWA) were 75.5-89.4 dB(A). Department of Energy was the area that has sound at the highest level with 89.4 dB (A). Department of Maintenance support was the area that has the lowest sound level with 75.5 dB (A). The minimum sound level (L_{min}) to maximum sound level (L_{max}) was 71.7-97.9 dB (A). The minimum area of sound level was found at Department of Instant production with 71.7 dB(A) and the maximum area of sound level was found at Department of Chemical recovery production with 97.9 dB(A). The study of abnormal symptoms of noise exposure in workers by interviewing with 1 symptom were 30.32%, two abnormal symptoms were 21.94% and more than or equal three abnormal symptoms were 47.74%. Most of abnormal symptoms were stress, headaches, tinnitus, no concentration and dizzy. The correlations between abnormal symptoms of noise exposure in workers and sound levels of paper plant was not statistically significant.

Sound prevention exceeded standard of paper plant should restrict sound level to meet the standard by measuring annually along with monitor abnormal symptoms of workers including study the others factor that correlated with abnormal symptoms.

Keywords: sound level, abnormal symptoms, noise exposure, paper plant

บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะการขยายตัวทางภาคอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้น¹ ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางเสียงขึ้นในสถานประกอบการ โดยเสียงสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดเสียง ได้แก่ เสียงดังสม่ำเสมอ เสียงที่เปลี่ยนแปลงระดับสม่ำเสมอ เสียงที่ดังเป็นระยะ เสียงกระทบหรือเสียงกระแทก² ซึ่งพนักงานที่ทำงานอยู่ในกระบวนการผลิตจะได้รับสัมผัสเสียงตลอดระยะเวลาการทำงาน ก่อให้เกิดความรำคาญและผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน ทั้งผลเสียด้านกายภาพ ด้านจิตใจ ด้านประสิทธิภาพในการทำงาน³ จากงานวิจัยในหลายประเทศทั่วโลก โดยการศึกษาในประเทศอินเดีย⁴ พบว่าพนักงานที่ทำงานในภาคอุตสาหกรรมที่มีเสียงดัง ทำให้เกิดปัญหาด้านการได้ยินโดยเฉลี่ย ร้อยละ 62.5 และยังคงพบว่าพนักงานมีอาการปวดศีรษะเนื่องจากการสัมผัสเสียงดังในการทำงาน ร้อยละ 58.1 ในประเทศสหรัฐอเมริกา พบประชากรประมาณ 22 ล้านคน ได้รับเสียงรบกวนจากการประกอบอาชีพทำให้เป็นอันตรายต่อการได้ยินเพิ่มมากขึ้น⁵ และหากพนักงานได้รับสัมผัสเสียงที่ดังเกินกว่ามาตรฐาน คือ 85 เดซิเบล(เอ) ตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมงการทำงาน⁶ จะทำให้พนักงานมีโอกาสสูญเสียสมรรถภาพการได้ยิน ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการบังคับใช้กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการ

ทำงานของพนักงานที่สัมผัสเสียง คือ กฎกระทรวงแรงงาน เรื่อง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ.2559 หมวด 3 ได้กำหนดมาตรฐานของระดับเสียง โดยให้ลูกจ้างได้รับสัมผัสเสียงในบริเวณสถานประกอบการที่มีระดับเสียงสูงสุดไม่เกิน 140 เดซิเบล(เอ) หรือได้รับสัมผัสเสียงดังต่อเนื่องแบบคงที่ไม่เกิน 115 เดซิเบล(เอ)⁷

ระดับเสียงนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของสภาพแวดล้อมการทำงาน ซึ่งอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญในประเทศไทย⁸ โรงงานผลิตกระดาษแห่งนี้ ประกอบกิจการผลิตกระดาษบรรจุภัณฑ์ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตบรรจุภัณฑ์ รวมถึงกระดาษพิมพ์เขียนต่างๆ มีกระบวนการผลิตที่ต้องใช้เครื่องจักรหลายชนิด⁹ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตแต่ละกระบวนการมีระดับเสียงดังที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องสับไม้ เครื่องผลิตเยื่อ เครื่องผลิตกระดาษ เครื่องตัดกระดาษ เป็นต้น ทำให้พนักงานที่ทำงานอยู่ในกระบวนการผลิตมีโอกาสเกิดอาการผิดปกติจากการสัมผัสเสียงในการทำงานแต่ละวัน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาระดับเสียง อาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียง และหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับ

เสียงในโรงงานผลิตกระดาษ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการป้องกัน และแก้ไขระดับเสียงในโรงงานและอาการผิดปกติของพนักงาน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ
2. เพื่อศึกษาอาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ

วิธีการศึกษา

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาในโรงงานผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง จังหวัดขอนแก่น ทำการตรวจวัดระดับเสียงจากสภาพแวดล้อมการทำงาน (Area measurement) โดยใช้เครื่องวัดระดับเสียง (Sound level meter) เป็นตัวแทนการวัดเสียง (Unit of measurement) ในการทำงานของพนักงานแผนกต่างๆ ตรวจวัดเสียงในช่วงเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมงการทำงาน (TWA) และใช้แบบสอบถามอาการผิดปกติของพนักงาน โดยเก็บตัวอย่างระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ. 2560

รูปแบบการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนาแบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive study)

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ พนักงานโรงงานผลิตกระดาษ จำนวน 329 คน จาก 10 แผนก

กลุ่มตัวอย่าง คือ ทำการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 155 คน จำนวน 10 แผนก ได้แก่ แผนกเตรียมวัตถุดิบ สนับสนุนบำรุงรักษาผลิตเยื่อแผ่น ผลิตกระดาษ ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป บำรุงรักษาไฟฟ้า-กระดาษ บำรุงรักษาไฟฟ้า-เยื่อ บำรุงรักษาไฟฟ้า-พลังงานและสิ่งแวดล้อม ผลิตน้ำยาเคมีกลั่น และพลังงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

- เครื่องตรวจวัดระดับเสียง (Sound level meter: SLM) รุ่น NL-21 Serial No.: 00398417 (Meter), 124757 (Microphone), 30079 (Pre-amplifier)
- แบบสอบถามอาการผิดปกติของพนักงาน ซึ่งผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรงของเนื้อหา โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน

โดยก่อนนำเครื่องมือไปใช้จริง งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ HE592313 วันที่ 29 ธันวาคม 2559

การเก็บรวบรวมข้อมูล

- ทำหนังสือขออนุญาตจากคณะกรรมการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยขอนแก่น ถึงผู้อำนวยการโรงงาน
- ติดต่อประสานงานกับแผนกงานอาชีพอนามัยและความปลอดภัย โดยสื่อสารกับเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพเพื่อขอเข้าพื้นที่ปฏิบัติงานในการตรวจวัดระดับเสียง และประสานงานกับแผนกบุคคลเพื่อขออนุญาตเก็บแบบสอบถามอาการผิดปกติของพนักงานที่เข้าร่วมการวิจัย
- ขออนุญาตพนักงานในการเก็บแบบสอบถาม
- ดำเนินการเก็บแบบสอบถามจากพนักงาน
- ดำเนินการตรวจวัดระดับเสียงในโรงงาน (Area measurement)
- ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ครบถ้วน สมบูรณ์
- นำข้อมูลที่ได้นำมาบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ เพื่อเตรียมวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ระดับเสียง นำเสนอข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และอาการผิดปกติ นำเสนอข้อมูลเป็น จำนวน ร้อยละ

สถิติเชิงอนุมาน หาความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ สถิติที่ใช้วิเคราะห์ Simple logistic regression นำเสนอค่า odds ratio (OR) และค่าความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95%; CI) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

ผลการศึกษา

การศึกษาระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ ผลการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) ในเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง จำนวน 10 แผนก 36 จุดตัวอย่าง พบระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ในช่วง 75.5 - 89.4 เดซิเบล (เอ) แสดงดัง (Figure 1) พบว่าบริเวณที่มีระดับเสียงเฉลี่ยต่ำสุด คือ แผนกสนับสนุนบำรุงรักษา ซึ่งมีระดับเสียงอยู่ที่ 75.5 เดซิเบล (เอ) ส่วนบริเวณที่มีระดับเสียงเฉลี่ยสูงสุด คือ แผนกพลังงาน ซึ่งมีระดับเสียงอยู่ที่ 89.4 เดซิเบล (เอ) และระดับเสียงต่ำสุดถึงสูงสุด อยู่ในช่วง 71.7 - 97.9 เดซิเบล (เอ) พบว่า บริเวณที่มีระดับเสียงต่ำสุด คือ ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป มีระดับเสียงอยู่ที่ 71.7 เดซิเบล (เอ) ส่วนบริเวณที่มีระดับเสียงสูงสุด คือ แผนกผลิตน้ำยาเคมีกลั่น ซึ่งมีระดับเสียงอยู่ที่ 97.9 เดซิเบล (เอ)

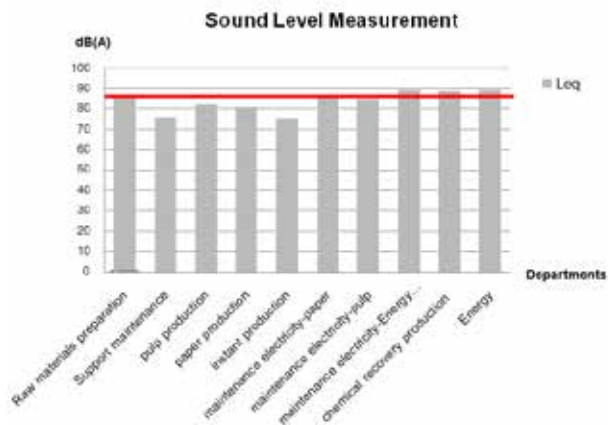


Figure 1 Equivalent continuous sound level in each department compared with standard*85 dB(A) means the sound standard from environmental work referenced from NIOSH, WHO, ACGIH

การศึกษาอาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ โดยใช้แบบสอบถาม พบว่ากลุ่มตัวอย่างจำนวน 155 คน มีอาการผิดปกติ 1 อาการ จำนวน 47 คน คิดเป็นร้อยละ 30.32 ผิดปกติ 2 อาการ จำนวน 34 คน คิดเป็นร้อยละ 21.94 และผิดปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ จำนวน 74 คน คิดเป็นร้อยละ 47.74 โดยอาการที่พบส่วนใหญ่ คือ อาการปวดศีรษะ เหนื่อย การสื่อสารกับผู้อื่นไม่ค่อยได้ยิน หูอื้อหรือเสียงดังในหู ขาดสมาธิและเวียนศีรษะ

ความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ แบ่งอาการออกเป็น 1 อาการ คือ กลุ่มตัวอย่างมีอาการผิดปกติ 1 อาการ สำหรับ 2 อาการ คือ กลุ่มตัวอย่างจะมีอาการผิดปกติ 2 อาการ และกลุ่มมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ คือ กลุ่มตัวอย่างจะมีอาการผิดปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ พบว่าอาการผิดปกติ 1, 2 และมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ (95%CI= 0.44-1.89) มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value> 0.05) ดังแสดงผลใน Table1

Table1 Association between abnormal symptoms of noise exposure in workers and sound levels of paper plant.

Abnormal symptoms	Sound level exposure	Sound level exposure	Odds ratio (95% CI)
	< 85 dB(A)	≥ 85 dB(A)	
1 symptom	23 (35.94)	24 (26.37)	1
2 symptoms	13 (20.31)	21 (23.08)	0.92 (0.37-2.25)
≥ 3 symptoms	28 (43.75)	46 (50.55)	0.91 (0.44-1.89)

วิจารณ์และสรุปผล

จากการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย (L_{eq}) การศึกษามลพิษทางเสียงพบว่ามีการตรวจวัดระดับเสียงในเวลาปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง (TWA) โดยมีพื้นที่ที่มีระดับเสียงเกินมาตรฐานร้อยละ 60 เมื่อเทียบกับจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 36 จุด จากทั้งหมด 10 แผนกสอดคล้องกับผลการศึกษาคำสั่งการลดมลพิษทางเสียง¹⁰ พบระดับเสียงเฉลี่ยเกินมาตรฐานถึงร้อยละ 73.3 อยู่ในช่วง 81.0-98.1 เดซิเบล (เอ) และยังพบการศึกษาศาสนาการณการสูญเสียการได้ยินในโรงงานแปรรูปไม้ยางพารา ความดังเสียงเกินมาตรฐาน ร้อยละ 63.64 ซึ่งมีการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ทำงานโดยใช้เครื่องวัดระดับเสียงเทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎหมาย¹¹ จากการศึกษาพบระดับเสียงเฉลี่ยสูงสุด คือ แผนกพลังงาน ซึ่งพบว่ามีเครื่องจักรที่เป็น Boiler ขนาดใหญ่จำนวนมาก และมีเครื่องปั๊มจำนวนหนึ่งที่มีเสียงดังตลอดเวลา โดยที่พนักงานควบคุมดูแลเครื่องจักรนั้นต้องสัมผัสกับระดับเสียง ลักษณะเสียงที่สัมผัสเป็นแบบต่อเนื่อง (Steady-state Noise) สาเหตุที่ระดับเสียงเฉลี่ยเกินมาตรฐานอาจเนื่องมาจากเครื่องจักรในแผนกมีอายุการใช้งานนาน และการซ่อมบำรุงอาจไม่ทั่วถึงทุกจุด นอกจากนั้นวัสดุดูดซับเสียงของเครื่องจักรอาจชำรุดเสียหาย ซึ่งทางโรงงานได้กำหนดมาตรการต่างๆ ตามกฎหมาย แต่ยังคงพบปัญหาเสียงดัง อาจเพราะเกิดจากปัจจัยที่กล่าวมา อย่างไรก็ตามในประเทศไทยได้มีการใช้กฎหมายประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานเรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ พ.ศ. 2553¹² ได้กำหนดให้สถานประกอบการที่มีระดับเสียงเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน 8 ชั่วโมง ตั้งแต่ 85 dB(A) ขึ้นไป ให้นำจ้างจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบกิจการ ซึ่งถือว่าเป็นการออกกฎหมายที่ป้องกันและเฝ้าระวังการสูญเสียการได้ยินของพนักงานในโรงงานได้

การศึกษาอาการผิดปกติของพนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ บอกมีอาการผิดปกติ 1 อาการ ร้อยละ 30.32 ผิดปกติ 2 อาการ ร้อยละ 21.94 และผิดปกติมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ ร้อยละ 47.74 อาการที่พบส่วนใหญ่ คือ อาการปวดศีรษะ เหนื่อย การสื่อสารกับผู้อื่นไม่ค่อยได้ยิน หูอื้อหรือเสียงดังในหู ขาดสมาธิ และเวียนศีรษะ โดยอาการที่พบจากการศึกษาอาจเกิดจากการทำงานที่สัมผัสเสียงเป็นระยะเวลาสั้น สอดคล้องกับการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงานบริษัทผลิตมอเตอร์คอมเพลกซ์¹³ พบว่าการสัมผัสเสียงของพนักงานระหว่างมาทำงานมีผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ อาการเครียด คลื่นไส้ ร้อยละ 23.49 อาการสื่อสารกับผู้อื่นไม่ค่อยได้ยิน ร้อยละ 16.38 และผลการศึกษา ยังสอดคล้องกับการศึกษาในพนักงานอุตสาหกรรมประเภทเบียร์¹⁴ พบผลกระทบของเสียงจากการทำงาน พนักงานมีอาการผิดปกติ ได้แก่ ไมเกรน ร้อยละ 50 อาการหงุดหงิด ร้อยละ 27.5 และอาการนอนไม่หลับ ร้อยละ 55 เป็นไปในทิศทางเดียวกับการศึกษาปัจจัยด้านการทำงานของพนักงาน¹⁵ พบว่าพนักงานมีความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยการทำงาน มีระดับความเครียดอยู่ในระดับมากที่สุด ด้านพฤติกรรมความเครียด¹⁶ พบว่าวัยทำงานโดยเฉพาะคนที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันต้องทำงานสัมผัสเสียงและมีการทำงานที่ล่วงเวลา จึงมักจะมีอาการเครียดทางร่างกายและจิตใจ

ความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ มีอาการผิดปกติ 1, 2 และมากกว่าหรือเท่ากับ 3 อาการ มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สอดคล้องกับการศึกษาในพนักงานอุตสาหกรรมประเภทเบียร์¹⁴ พบอาการผิดปกติ ได้แก่ ไมเกรน อาการนอนไม่หลับ มีความสัมพันธ์กับระดับเสียงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติและยังสอดคล้องกับการศึกษาความเครียดและความเสี่ยงจากเสียงรบกวนในพนักงานโรงงานผลิตเบียร์¹⁷ พบความเครียดของพนักงานโดยรวม ร้อยละ 33.74 ระดับเสียงอยู่ในช่วง 87.9-100 dB(A) พบการศึกษา ระดับเสียงกับความเครียด มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากการศึกษาผลกระทบของเสียงที่เกิดจากการประกอบอาชีพ¹⁸ ไม่สอดคล้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเสียงจากการทำงานเสียงดังกับอาการผิดปกติ คือ อาการนอนไม่หลับมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (RR= 2.49; 95%CI=1.12-5.57) กล่าวคือ พนักงานที่ทำงานสัมผัสเสียงดังจะมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นในการนอนไม่หลับ อีกทั้งยังพบการรายงานเชิงวิชาการ¹⁹ ทั้งนี้พบว่าระดับเสียงดังมีความสัมพันธ์กับอาการเครียดในการทำงานของพนักงาน และส่งผลให้หน่วยความจำในการทำงานลดลงนอกเหนือจาก

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียงกับอาการผิดปกติของพนักงาน ยังพบการศึกษาการสัมผัสเสียงจากการทำงาน อาจมีผลเสียต่อสุขภาพของพนักงาน โดยจากการศึกษาในพนักงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ²⁰ พบว่าการเพิ่มขึ้นของระดับเสียงส่งผลต่อความเข้มข้นของฮอร์โมนแอลโดสเทอโรน จากการศึกษารังนี้พบความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติของพนักงานกับระดับเสียงในโรงงานผลิตกระดาษ มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องมาจากอาการผิดปกติของพนักงานไม่ได้มาจากการสัมผัสเสียงเพียงอย่างเดียว อาจมาจากสิ่งแวดล้อมรอบข้างของตัวพนักงานที่ทำให้เกิดอาการผิดปกติ และระดับเสียงที่พบในแต่ละแผนกมีทั้งเกินและไม่เกินมาตรฐาน ดังนั้นควรมีการเฝ้าระวังอาการผิดปกติของพนักงานในโรงงานผลิตกระดาษ และควบคุมระดับเสียงให้ได้มาตรฐานต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกลาง คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ยืมเครื่องมือตรวจวัดระดับเสียง (Sound level meter: SLM) ขอขอบพระคุณผู้อำนวยการโรงงาน พนักงานทุกท่านในโรงงานผลิตกระดาษแห่งหนึ่ง ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์และอนุญาตเข้าพื้นที่ในตรวจวัดระดับเสียงและเก็บแบบสอบถาม อีกทั้งช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. (2559) ภาวะเศรษฐกิจอุตสาหกรรม เดือนมกราคม 2559. [สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2560]; จาก: http://www.oie.go.th/sites/default/files/attachments/summary_report/industryeconomic-situationreportjan2016.pdf
2. กาญจนา นาคะพินธุ. อาชีวอนามัยและความปลอดภัย. พิมพ์ครั้งที่ 2(ฉบับปรับปรุง). ขอนแก่น:มหาวิทยาลัยขอนแก่น; 2551.
3. World Health Organization. Noise sources and their measurement. Guidelines for Community Noise. 1999.[serial online] Available from: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. Accessed Mar 10, 2017
4. Manzoor J, Mamta, Jaganadha Rao R, Wani KA. Health impact and noise exposure assessment in the cricket bat industry of Kashmir, India. Int J Occup Saf

- Ergon. 2016 Dec;22(4): 473-478.
5. Masterson EA, Bushnell PT, Themann CL, Morata TC. Hearing impairment among noise-exposed workers - United States, 2003-2012. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2016 Apr 22;65(15): 389-394.
 6. ACGIH. The American Conference of Governmental Industrial hygienists. TLVs and BELs. 2007.[serial online] Available from: <http://www.acgih.org/> Accessed Mar 10, 2017
 7. กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และ ดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และ เสียง พ.ศ.2559 ฉบับที่ 1 (2559). ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 133 ตอนที่ 91 ก (ลงวันที่ 7 ตุลาคม 2559)
 8. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือ อุตสาหกรรมกระดาษ. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2548.
 9. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือ การอนุรักษ์พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษ. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2548.
 10. พันชัย เม่นฉาย. การจัดการมลพิษทางเสียงเพื่อจัดการ สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนด้วยเทคโนโลยีกระบวนการผลิต ข้อต่อท่อประปาเหล็ก: กรณีศึกษาโรงงานบีเอสไฟฟ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด.วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต. 2553; 4(1): 25-37.
 11. พีระ คงทอง. สถานการณ์การสูญเสียการได้ยินในโรงงาน แปรรูปไม้ยางพารา จังหวัดนครศรีธรรมราช.วารสารวิจัย ระบบสาธารณสุข. 2550; 1(2): 1-9.
 12. ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการจัดทำโครงการอนุรักษ์การได้ยิน พ.ศ. 2553 ฉบับที่ 1(2553). ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 127 ตอนที่ พิเศษ 64 ง (ลงวันที่ 27 เมษายน 2553)
 13. สาวิตรี ชัยรัตน์. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและผลกระทบต่อ สุขภาพจากการเปลี่ยนระดับความสามารถในการได้ยิน มาตรฐานในพนักงานบริษัทผลิตมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขา อาชีวเวชศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 2555.
 14. Rojas-Gonzalez L , Martinez-Leal R , Paz-Araviche V , Chacin-Almarza B , Corzo-Alvarez G , Sanabria-Vera C , Montiel-López M. Serum cortisol levels in pre and post journal labor and non auditory manifestations in noise exposed workers of a brewer industry. *Investigacion Clinica* 2004; 45(4):297-307.
 15. ฐานันท์ ว่างานนท์. ปัจจัยด้านการทำงานที่มีอิทธิพลต่อ ความเครียดของพนักงาน: กรณีศึกษา บริษัท แอมพาส อินดัสตรี จำกัด (วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหา บัณฑิต). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี; 2556.
 16. กิติกร มีทรัพย์. พฤติกรรมความเครียดและการตอบสนอง ต่อความเครียด.พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก; 2541.
 17. Chacin-Almarza B , Corzo-Alvarez G , Rojas-Gonzalez L , Rodriguez-Chacin E , Corzo-Rios G. Organiza-tional stress and noise exposure in workers at the packing plant of a brewer factory. *Investigacion Cli-nica* 2002; 43(4):271-289.
 18. Gitanjali B, Dhamotharan R. Effect of occupational noise on the nocturnal sleep architecture of health subject. *Indian J Physiol Pharmacol* 2003; 47(4): 415-422.
 19. Purdy K. Background Noise May Increase Stress Levels for Some. 2010. Available from: <http://lifelifehacker.com/5442544/background-noise-may-increase-stress-levels-for-some>. Accessed Mar 10, 2017
 20. Zare S, Nassiri P, Monazzam MR, Pournabakht A, Azam K, Golmohammadi T. Evaluation of the effects of occupational noise exposure on serum aldosterone and potassium among industrial workers. *Noise Health.* 2016 Jan-Feb; 18(80):1-6.

ความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กและความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ในพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น

Concentration of respirable dust exposure and respiratory tract disorder among pulp and paper workers in Khon Kaen province

พิชญพงศ์ มุยกคำ¹, พรพรรณ สกุงกู²

Pitchayapong Muikham¹, Pornpun Sakunkoo²

Received: 17 March 2017 ; Accepted: 23 August 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก ความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ และพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจในพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น ในแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ และแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน จำนวน 6 ลักษณะงาน (รวม 18 ตัวอย่าง) ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กทั้ง 2 แผนก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $0.22 \pm 0.13 \text{ mg/m}^3$ และ $0.12 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ ตามลำดับ (95%CI เท่ากับ 0.02-0.41) ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย และ Occupational safety and health administration (OSHA) ข้อมูลสมรรถภาพปอดของพนักงานจากผลตรวจสุขภาพประจำปี (พ.ศ. 2556-พ.ศ. 2558) มีแนวโน้มพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติ (จากการพบค่า FVC FEV1 และ FEV1/FVC ใน 2 ลักษณะ คือ FVC <80% FEV1 และ FEV1/FVC >70% และ FVC >80% FEV1 และ FEV1/FVC <70%) สูงขึ้น และพนักงานส่วนใหญ่มีพฤติกรรมในการเลือกใช้หน้ากากผ้าเป็นอุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ จำนวน 50 คน (ร้อยละ 60.98) ในกลุ่มพนักงานที่ไม่ได้เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจเนื่องจากคิดว่าหายใจไม่สะดวก จำนวน 33 คน (ร้อยละ 40.24) มีพฤติกรรมในการทำความสะอาดมือหลังปฏิบัติงานเป็นประจำ จำนวน 64 คน (ร้อยละ 78.05) และได้รับการอบรมเกี่ยวกับอันตรายฝุ่นละอองจากการปฏิบัติงาน 1 ครั้ง ในช่วง 1 ถึง 3 เดือน จำนวน 57 คน (ร้อยละ 69.51) ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองจะไม่เกินมาตรฐานแต่สามารถสะสมทำอันตรายแก่สุขภาพระยะยาวได้ ทางโรงงานควรเฝ้าระวังเรื่องสุขภาพของพนักงานอย่างใกล้ชิด

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก อาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ โรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ

Abstract

The objective of research was to study the intensity of respirable dust exposure, irregular's respiratory system and behavior of personal protective equipment for respiratory protection in pulp and paper manufacturing factory employees in Khon Kaen. For a case study, we collected information from employees using 6 work scopes, in two departments¹ Preparation of Materials² Produce lime and chemicals for return [in total 18 examples]. We found that the Intensity of respirable dust in both departments had a mean equal to $0.22 \pm 0.13 \text{ mg/m}^3$ and $0.12 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ respectively [95%CI=0.02-0.41] and there for passed the standards announced by the Ministry of Interior and Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. Lung efficiency information derived from Annual Health checkups between 2013-2015 indicated that employees tend to irregular lung efficiency with values of FVC, FEV1 and FEV1/FVC in 2 types as [FVC < 80% FEV1 and FEV1/FVC > 70% and FVC >80% FEV1 and FEV1/FVC < 70%] are increasing and employees [50 people, 60.98%] mostly choose a cloth mask for respiratory protection. 33 people [40.24%] did not wear a respirator because they found it uncomfortable. Hand cleaning after work' behavior occurred in 64 persons [78.05%] and the incidence of training in hazards from total dust within 1-3 mouths amounted to 57 persons [69.51%]. Even if intensity of respirable dust is not over standard levels, a hazard to health may accumulate in the long term.

The factory should be more concerned with employees' health.

Keywords: Respirable dust, Respiratory tract disorder, Pulp and paper plant

บทนำ

โรคปอดจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม เป็นโรคไม่ติดต่อที่มีความสำคัญต่อคนงานในอุตสาหกรรม มักเกิดจากการสูดดมสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์เข้าไปและเกิดปฏิกิริยาต่อเนื้อเยื่อของปอด หากไม่มีการควบคุมที่สิ่งแวดล้อมการทำงานที่ดีพออาจนำไปสู่การเจ็บป่วยที่รุนแรงและเสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้ จากรายงาน 506 และ 506/2 ของสำนักกระบวนาติวิทยา ในปี พ.ศ. 2557 พบโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม จำนวน 651 รายคิดเป็นอัตราป่วย 1.00 ต่อประชากรแสนคน โดยพบว่าเป็นโรคปอดจากการประกอบอาชีพเพิ่มขึ้นจากรายงานปีที่ผ่านมา¹ โดยหนึ่งในความเสี่ยงของโรคปอดจากการประกอบอาชีพคือฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

หนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีโอกาสก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กนั้นคืออุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องในปัจจุบัน ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจเกิดจากกระบวนการผลิตเยื่อและกระดาษในขั้นตอนของการจัดเตรียมวัตถุดิบ ได้แก่ ฝุ่นไม้ และในขั้นตอนของการผลิตปูนและสารเคมีกลับคืน ได้แก่ ฝุ่นปูนขาว ซึ่งฝุ่นละอองขนาดเล็กจากกระบวนการผลิตเหล่านี้อาจก่อให้เกิดความผิดปกติแก่ผู้ปฏิบัติงานที่มีโอกาสสัมผัสและชุมชนโดยรอบโรงงานได้ ดังจากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นไม้กับอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสฝุ่นไม้พบว่า ฝุ่นไม้มีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติในระบบทางเดินหายใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสฝุ่นไม้ เช่น การศึกษาที่ผ่านมาพบว่า ผู้ที่ทำอาชีพที่มีโอกาสสัมผัสฝุ่นไม้ (อาชีพช่างไม้) มีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งโพรงจมูกเป็น 6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่ไม่ได้ทำอาชีพที่มีโอกาสสัมผัสฝุ่นไม้ ในจังหวัดอุบลราชธานี² และพบความชุกของโรคหอบหืดจากการประกอบอาชีพ อาการเคืองต่อเยื่อและโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรังในพนักงานโรงเลื่อยไม้ยางพาราในจังหวัดยะลา³ เป็นต้น จากข้อมูลข้างต้นจะสังเกตได้ว่าการศึกษามากมายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นไม้กับอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจในอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการสัมผัสฝุ่นไม้ในอาชีพต่างๆ เช่น ช่างไม้ คนงานก่อสร้าง ช่างทำเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น แต่ยังมีอีกอาชีพหนึ่งที่ยังไม่ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ทั้งที่เป็นอาชีพที่มีโอกาสที่จะสัมผัสกับฝุ่นไม้เช่นเดียวกับอาชีพอื่น ได้แก่ อาชีพพนักงานแผนกจัด

เตรียมวัตถุดิบ โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งแผนกดังกล่าวจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่ 1. ฝ่ายรวบรวมวัตถุดิบ หรือ Yard section ทำหน้าที่รับซื้อไม้จากเกษตรกรและเก็บรักษาวัตถุดิบ และ 2. ฝ่ายปรับขนาดวัตถุดิบหรือ Chopper ทำหน้าที่ปอกเปลือกและสับชิ้นไม้ให้มีขนาดที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป จะสังเกตได้ว่ากระบวนการทั้ง 2 ส่วนนี้มีลักษณะการทำงานที่ต้องเกี่ยวข้องกับวัตถุดิบที่เป็นไม้โดยตรง และมีโอกาสที่พนักงานในแผนกดังกล่าวจะสัมผัสกับฝุ่นไม้จากการฟุ้งกระจายระหว่างขั้นตอนการเก็บขน หรือ จากขั้นตอนของการปอกเปลือกและสับชิ้นไม้ ได้ นอกจากฝุ่นไม้แล้วฝุ่นปูนขาวจากกระบวนการผลิตที่มีขนาดเล็กก็สามารถทำให้เกิดโรคทางระบบทางเดินหายใจได้อีกด้วย

ทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาโดยมุ่งเน้นไปยังปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในสิ่งแวดล้อมการทำงานและอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจในพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น

วัตถุประสงค์

1. วัตถุประสงค์หลักของการวิจัย

1.1 เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในสิ่งแวดล้อมการทำงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น

1.2 เพื่อศึกษาอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจของพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น

2. วัตถุประสงค์เฉพาะของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมในการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจในพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

1. เก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง โดยแบบบันทึกข้อมูลประกอบไปด้วย สภาพสิ่งแวดล้อมขณะเก็บตัวอย่าง การระบายอากาศ และการควบคุมปริมาณฝุ่นละออง ณ จุดเก็บตัวอย่าง เริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงเดือนกุมภาพันธ์

พ.ศ. 2560

2. ตรวจวัดความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน ตรวจวัด ณ จุดปฏิบัติงานในแผนก ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง (TWA) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองชนิดติดตัวบุคคล ชุดไซโคลนกับตัวอุปกรณ์ยึดและสายนำอากาศ และกระดาษกรองชนิด Polyvinyl chloride (PVC)⁵ แบ่งตามลักษณะงานได้แก่ แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบประกอบด้วย 4 ลักษณะงาน ได้แก่ คัดแยกวัตถุดิบที่มีขนาดใหญ่ บริเวณสายพานลำเลียงวัตถุดิบและบริเวณสิ้นสุดสายพานลำเลียงวัตถุดิบ ทำความสะอาดบริเวณสายพานลำเลียงวัตถุดิบและบริเวณพื้น และทำความสะอาดวัตถุดิบบริเวณพื้นอย่างเดียว ลักษณะงานละ 3 ตัวอย่าง รวม 12 ตัวอย่าง แผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนประกอบด้วย 2 ลักษณะงาน ได้แก่ การปฏิบัติงานทั้งในสำนักงานและกระบวนการผลิต และทำความสะอาดบริเวณหน้ากระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียว ลักษณะงานละ 3 ตัวอย่าง รวม 6 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 18 ตัวอย่าง

3. รวบรวมข้อมูลความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจในพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนจากผลการตรวจสุขภาพประจำปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556-2558 เพื่อศึกษาจำนวนและแนวโน้มของการเกิดความผิดปกติ

4. เก็บข้อมูลทั่วไปและพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจในพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนจากแบบสอบถามจำนวน 82 ชุด ที่ผ่านการพิจารณาจากผู้เชี่ยวชาญด้านเครื่องมือจำนวน 3 ท่าน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วย เพศ อายุ ระดับการศึกษา พฤติกรรมการสูบบุหรี่ในปัจจุบันของผู้ตอบแบบสอบถามและบุคคลอื่นในครอบครัว ประเภทของบุหรี่ยี่ห้อที่สูบบุหรี่ของผู้ตอบแบบสอบถามและบุคคลอื่นในครอบครัว ทิศที่ตั้งของที่พักกับโรงงาน ประวัติการเกิดโรกระบบทางเดินหายใจก่อนเข้าทำงาน อาชีพในอดีตก่อนเข้าทำงานที่โรงงาน อาชีพเสริมระหว่างทำงานที่โรงงาน ประเภทของพนักงาน แผนกในการทำงาน ลักษณะการทำงาน ระยะเวลาในการทำงานในแผนกต่อวันและต่อปี กะในการทำงาน เงินเดือนจากการทำงาน ช่องทางการได้รับความรู้เกี่ยวกับเรื่องอุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ และเหตุผลในการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตราย ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจของผู้ตอบแบบสอบถาม แบ่งตามระดับความถี่ของการปฏิบัติ จำนวน 20 ข้อ ประกอบด้วย การเลือก

ใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ จำนวน 8 ข้อ และพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ จำนวน 12 ข้อ

5. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดฝุ่นละอองและแบบสอบถามโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) จำนวน ร้อยละ ด้วยโปรแกรม Stata version 10

ผลการศึกษา

1. ข้อมูลสภาพแวดล้อมบริเวณจุดเก็บตัวอย่างแบ่งตามลักษณะงานดังต่อไปนี้

1.1 ลักษณะงานคัดแยกวัตถุดิบขนาดใหญ่ บริเวณสายพานลำเลียงวัตถุดิบและบริเวณสิ้นสุดสายพานลำเลียงวัตถุดิบแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ สภาพสิ่งแวดล้อมขณะเก็บตัวอย่าง ท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ มีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอในการทำงาน มีการติดตั้งพัดลมบริเวณเหนือศีรษะด้านหลังของผู้ปฏิบัติงานเพื่อลดการสัมผัสฝุ่นละอองกับผู้ปฏิบัติงานและเป็นการระบายอากาศ

1.2 ลักษณะงานทำความสะอาดบริเวณสายพานและบริเวณพื้นแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ สภาพสิ่งแวดล้อมขณะเก็บตัวอย่างท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ มีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอในการทำงาน มีการควบคุมปริมาณฝุ่นละอองในแผนกโดยควบคุมความเร็วของรถทุกชนิดที่จะเข้ามาในแผนกไม่เกิน 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง รถบรรทุกวัตถุดิบมีผ้าใบในการปิดคลุมวัตถุดิบ จัดให้มีรถสำหรับดูดฝุ่นละอองและจัดคนสำหรับทำความสะอาดฝุ่นละอองในแผนกตลอดทั้งวัน

1.3 ลักษณะงานหน้างานการผลิตแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน สภาพสิ่งแวดล้อมขณะเก็บตัวอย่างท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆ มีแสงสว่างจากธรรมชาติเพียงพอในการทำงาน มีการควบคุมปริมาณฝุ่นละอองในแผนกโดย จัดให้มีคนทำความสะอาดเศษปูนขาวโดยการตักและขนออกไปภายนอกแผนก และมีการฉีดพรมน้ำบริเวณแผนกตลอดเวลา

2. ข้อมูลการตรวจวัดความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

ผลการศึกษาพบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบเฉลี่ย เท่ากับ $0.22 \pm 0.13 \text{ mg/m}^3$ (95%CI 0.02 to 0.41) โดยพบค่าเฉลี่ยสูงสุดในลักษณะงานทำความสะอาดสายพานและบริเวณพื้นเฉลี่ย เท่ากับ $0.33 \pm 0.14 \text{ mg/m}^3$ และค่าเฉลี่ยต่ำสุดในลักษณะงานทำความสะอาดพื้นอย่างเดียวเฉลี่ยเท่ากับ $0.08 \pm 0.07 \text{ mg/m}^3$ มีค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กในแผนกผลิตปูนขาว

และสารเคมีกลับคืนเฉลี่ยเท่ากับ $0.12 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ โดยพบค่าเฉลี่ยสูงสุดในลักษณะงานอยู่ทั้งในสำนักงานและหน้างานการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ $0.16 \pm 0.07 \text{ mg/m}^3$ และค่าเฉลี่ยต่ำสุดในลักษณะงานทำความสะอาดหน้างานการผลิตอย่างเดียวเฉลี่ยเท่ากับ $0.08 \pm 0.07 \text{ mg/m}^3$ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable dust) ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นไม้และฝุ่นปูนขาวที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable dust friction) ตาม Occupational safety and health administration (OSHA)^{6,7} ตลอดระยะเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง (TWA) พบว่าไม่เกินค่ามาตรฐาน (Figure 1)

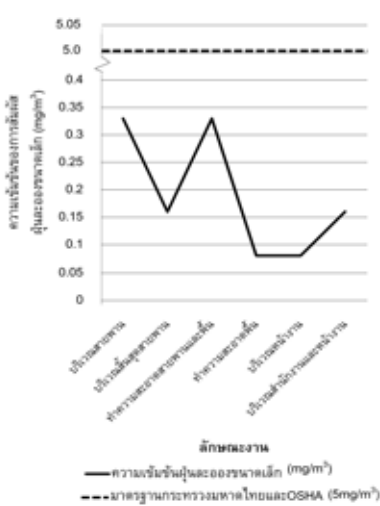


Figure 1 Concentration of respirable dust exposure compare with standards

3. ข้อมูลผลการตรวจสอบสมรรถภาพปอดพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ. 2558

จากการรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบสมรรถภาพปอดพนักงานโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2558 พบว่า ในปี พ.ศ. 2556 แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ พบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 1 คน จากพนักงานจำนวน 35 คน คิดเป็นร้อยละ 2.86 ของพนักงานในแผนก ค่า FVC อยู่ที่ 79% และแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนพบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 3 คน จากพนักงานจำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 15 ของพนักงานในแผนก ค่า FVC สูงสุด อยู่ที่ 78% ต่ำ

สุดอยู่ที่ 71% และค่า FEV1/FVC อยู่ที่ 64.4 ในปี พ.ศ. 2557 แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบพบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 1 คน ค่า FVC อยู่ที่ 65% และแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนพบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 4 คน ค่า FVC สูงสุด อยู่ที่ 75% ต่ำสุดอยู่ที่ 66% และในปี พ.ศ. 2558 แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบพบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 7 คน จากพนักงานจำนวน 50 คน คิดเป็นร้อยละ 14 ของพนักงานในแผนก ค่า FVC สูงสุดอยู่ที่ 79% ต่ำสุดอยู่ที่ 73% ค่า FEV1 สูงสุดอยู่ที่ 83% ต่ำสุดอยู่ที่ 72% และค่า FEV1/FVC สูงสุดอยู่ที่ 89% ต่ำสุดอยู่ที่ 82% และแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนพบพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวน 7 คน จากพนักงานจำนวน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 15.56 ของพนักงานในแผนก ค่า FVC สูงสุดอยู่ที่ 80% ต่ำสุดอยู่ที่ 46% ค่า FEV1 สูงสุดอยู่ที่ 92% ต่ำสุดอยู่ที่ 45% และค่า FEV1/FVC สูงสุดอยู่ที่ 98% ต่ำสุดอยู่ที่ 84% แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มพนักงานที่มีสมรรถภาพปอดผิดปกติจำนวนสูงขึ้น (Figure 2)

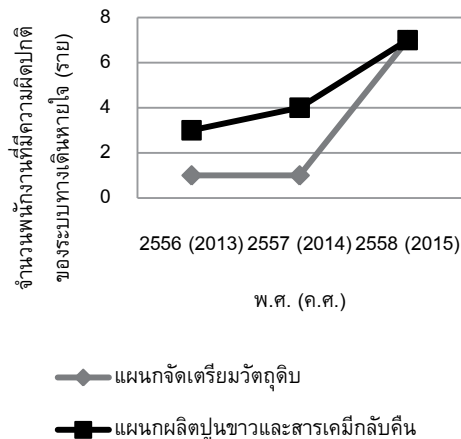


Figure 2 Result of pulp and paper worker's lung function since 2013 to 2015

4. ข้อมูลทั่วไปและข้อมูลพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจในพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน

4.1 ข้อมูลทั่วไปของพนักงาน

ผลการศึกษาพบว่าพนักงานเป็นเพศชายจำนวน 61 คน คิดเป็นร้อยละ 74.39 อายุของพนักงานอยู่ในช่วง 35 ถึง 49 ปี คิดเป็นร้อยละ 72.68 โดยอายุมากที่สุดคือ 59 ปี และอายุน้อยที่สุดคือ 19 ปี 1 คน ระดับการศึกษาอยู่ที่

ระดับอนุปริญาหรือเทียบเท่า 39 คน คิดเป็นร้อยละ 47.56 ส่วนมากมีพฤติกรรมไม่สูบบุหรี่จำนวน 58 คนคิดเป็นร้อยละ 70.73 ประเภทของบุหรี่ยี่ที่สูบส่วนใหญ่คือ บุหรี่สำเร็จรูป 21 คน คิดเป็นร้อยละ 87.50 ส่วนมากบุคคลในครอบครัวมีพฤติกรรมไม่สูบบุหรี่จำนวน 56 คน คิดเป็นร้อยละ 68.29 ประเภทของบุหรี่ยี่ที่สูบของบุคคลในครอบครัวมีสัดส่วนเท่ากันคือ บุหรี่สำเร็จรูป และยาเส้นม้วนเอง 3 คน คิดเป็นร้อยละ 50 ทิศที่ตั้งของที่พักกับโรงงานส่วนใหญ่คือทิศเหนือและทิศตะวันออกของโรงงาน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 25.61 รองลงมาคือ ทิศใต้ของโรงงาน 14 คนคิดเป็นร้อยละ 17.07 และประวัติการเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจก่อนเข้าทำงาน โรคที่พนักงานส่วนใหญ่เป็นก่อนเข้ามาทำงาน 1-3 ปี คือ โรคภูมิแพ้ทางอากาศ 10 คน คิดเป็นร้อยละ 12.20 รองลงมาคือโรคหอบหืด 8 คน คิดเป็นร้อยละ 9.76 และโรคที่พนักงานไม่เคยเป็นก่อนเข้าทำงาน 1-3 ปี คือ โรคเมะเร็งปอด

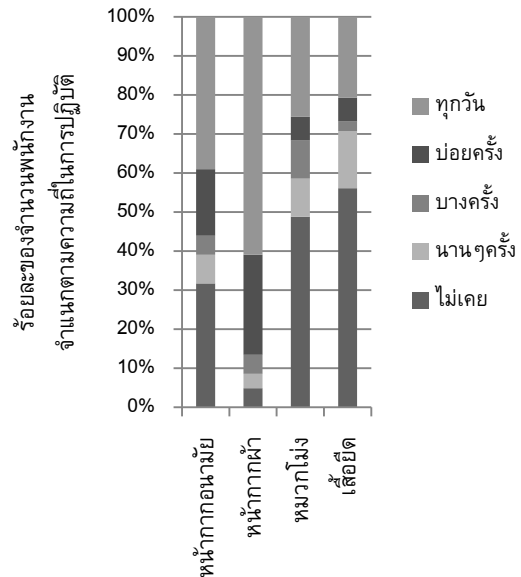
4.2 ข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของพนักงาน

ผลการศึกษาพบว่าพนักงานส่วนมากเคยประกอบอาชีพอื่นก่อนเข้ามาทำงานที่โรงงาน 45 คน คิดเป็นร้อยละ 54.88 ซึ่งส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม 24 คน คิดเป็นร้อยละ 29.27 พนักงานส่วนมากทำอาชีพเสริมระหว่างทำงานที่โรงงาน 42 คน คิดเป็นร้อยละ 51.22 พนักงานส่วนมากเป็นพนักงานประจำของโรงงาน 49 คน คิดเป็นร้อยละ 59.76 ส่วนมากอยู่ที่แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ 50 คน คิดเป็นร้อยละ 60.98 ลักษณะการทำงานของพนักงานส่วนมากจะอยู่ทั้งในสำนักงานและหน้างานกระบวนการผลิต 43 คน คิดเป็นร้อยละ 52.44 ระยะเวลาการทำงานในแผนกส่วนมาก 11 ปีขึ้นไป 32 คน คิดเป็นร้อยละ 39.02 ระยะเวลาในการทำงานในแผนกส่วนมาก 8 ชั่วโมงต่อวัน 68 คน คิดเป็นร้อยละ 82.93 กะในการทำงานส่วนมากอยู่ในกะปกติ (8.00น.-17.00น.) 45 คน คิดเป็นร้อยละ 54.88 เงินเดือนจากการทำงานส่วนมากอยู่ที่ 20,000 บาท ขึ้นไป 38 คน คิดเป็นร้อยละ 46.34 พนักงานทั้งหมดได้รับความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนมากผ่านการอบรมจากโรงงาน 79 คน ร้อยละ 96.34 และเหตุผลในการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายมากที่สุดคือเกรงกลัวอันตราย 61 คน คิดเป็นร้อยละ 74.39

4.3 ข้อมูลพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ

ผลการศึกษาพบว่าพนักงานทั้ง 2 แผนกมีพฤติกรรมการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจมากที่สุดคือ หน้ากากผ้าสำหรับป้องกันฝุ่นละออง โดยมีความถี่คือปฏิบัติทุกวันจำนวน 50 คน คิดเป็นร้อยละ 60.98 และเลือกใช้อุปกรณ์อันตรายของระบบทางเดินหายใจ

น้อยที่สุดคือไม่เคยใช้เสื้อยืดปิดปากและจมูกในการป้องกันฝุ่นละอองเลยจำนวน 46 คน คิดเป็นร้อยละ 56.10 (Figure 3)



อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ

Figure 3 Behavior to select respiratory tract protective equipment

4.4 เหตุผลที่พนักงานไม่เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ

ในกรณีที่พนักงานทั้ง 2 แผนก ไม่ได้เลือกใช้อุปกรณ์ใดๆในการป้องกันอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจเลยเหตุผลที่พนักงานไม่เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจมากที่สุดคือ เนื่องจาก คิดว่าหายใจไม่สะดวกรวมทุกความถี่ในการปฏิบัติ จำนวน 33 คน คิดเป็นร้อยละ 40.24 ส่วนเหตุผลที่พนักงานไม่เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจน้อยที่สุด คือ คิดว่าฝุ่นละอองที่ได้รับไม่เป็นอันตรายต่อตัวผู้ปฏิบัติงาน รวมทุกความถี่ในการปฏิบัติ จำนวน 28 คน คิดเป็นร้อยละ 34.15 (Figure 4)

4.5 พฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจ

ผลการศึกษาพบว่าพนักงานทั้ง 2 แผนก ส่วนมากมีพฤติกรรมในการล้างมือหลังจากปฏิบัติงานทุกวันจำนวน 64 คน คิดเป็นร้อยละ 78.05 และพฤติกรรมที่พนักงานทั้ง 2 แผนกจะไม่ปฏิบัติมากที่สุดคือ การตรวจสอบความสมบูรณ์ของอุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจจำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 19.51 (Figure 5)

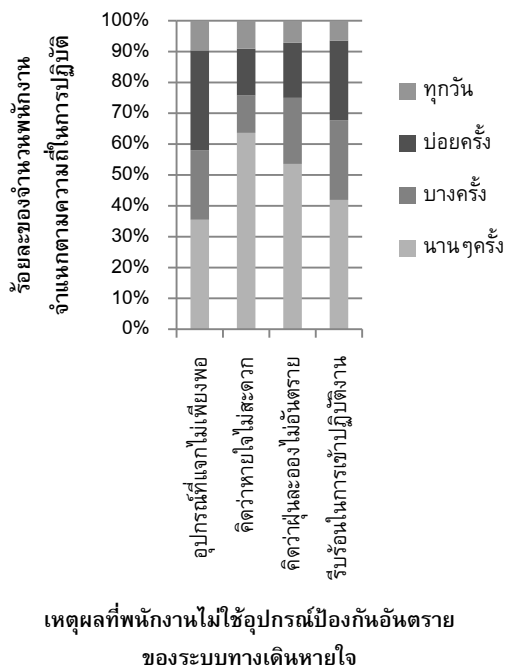


Figure 4 Reason to not select respiratory tract protective equipment

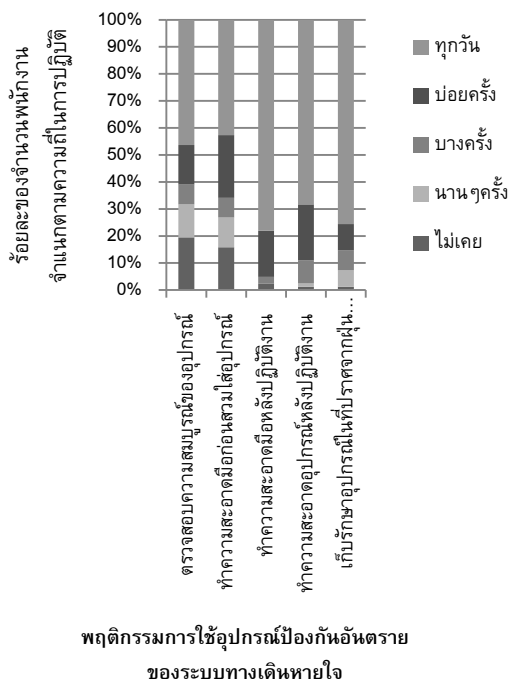


Figure 5 Behavior to use respiratory tract protective equipment

4.6 ความถี่ของการได้รับการอบรมของพนักงานเกี่ยวกับฝุ่นละออง อุปกรณ์ป้องกันระบบทางเดินหายใจ และอันตรายจากการปฏิบัติงาน

ผลการศึกษาพบว่า พนักงานส่วนมากได้รับการอบรมเกี่ยวกับเรื่องความรู้ทั่วไปของโรคระบบทางเดินหายใจที่อาจจะเกิดจากการปฏิบัติงานที่มีความถี่ในการปฏิบัติคือนาน ๆ ครั้ง (1 ครั้ง ในช่วง 1 ถึง 3 เดือน) จำนวน 57 คน คิดเป็นร้อยละ 69.51 (Figure6)

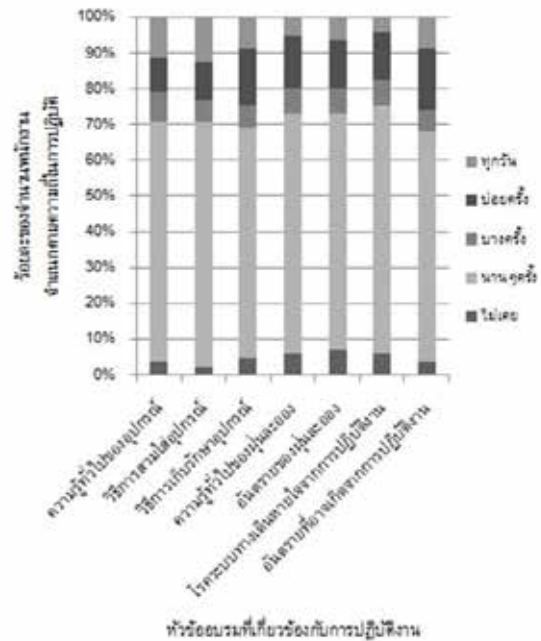


Figure 6 Frequency of know about dust, respiratory tract protective equipment and danger from work from plant training.

วิจารณ์และสรุปผล

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในระยะเวลาการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง (TWA) ใน 2 แผนก ได้แก่ แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ โดยพบค่าเฉลี่ยสูงสุดในลักษณะงานทำความสะอาดสายพานและบริเวณพื้น เนื่องจากลักษณะงานผู้ปฏิบัติงานมีการสัมผัสฝุ่นละอองอย่างใกล้ชิดตลอดระยะเวลาการทำงาน และ แผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน โดยพบค่าเฉลี่ยสูงสุดในลักษณะงานอยู่ทั้งในสำนักงานและหน้างานการผลิต เนื่องจากลักษณะงานมีการเคลื่อนไหวไปรอบบริเวณแผนกเป็นวงกว้างจึงสามารถสัมผัสกับฝุ่นละอองได้นาน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นขนาดที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable dust) ตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) และค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นไม้และฝุ่นปูนขาวที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable dust friction) ตาม OSHA^{6,7} พบว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สอดคล้องกับการ

ศึกษาที่มีการศึกษามาก่อนหน้านี้ (โดยใช้ค่าแทนคำว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้อุปกรณ์ในการตรวจวัดเช่นเดียวกับการศึกษานี้) เกี่ยวกับปริมาณฝุ่นละอองและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอาหารสัตว์ พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM 10) ในกระบวนการผลิตและสำนักงานเท่ากับ $0.32 \pm 0.06 \text{ mg/m}^3$ และ $0.16 \pm 0.05 \text{ mg/m}^3$ ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการในประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2535⁸ การศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการทำงานและการได้รับปริมาณฝุ่นละอองของแรงงานในอุตสาหกรรมไม้เทพทาโร จังหวัดตรัง พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM 10) ในสถานประกอบการผลิตภัณฑ์ไม้เทพทาโร เท่ากับ $4.53 \pm 0.87 \text{ mg/m}^3$ ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการในประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2535⁹ และสอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กในโรงเลื่อยไม้ยางพารา จังหวัดยะลา ในฤดูร้อนและฤดูฝนเฉลี่ย 0.08 mg/m^3 (95%CI 0.07 to 0.08) และ 0.08 mg/m^3 (95%CI 0.07 to 0.09) ตามลำดับ ไม่เกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในสถานประกอบการในประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2535³ แต่ไม่สอดคล้องกับการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในอุตสาหกรรมผลิตปูนขาว จังหวัดตรัง พบว่าอยู่ในช่วง $3.04 \pm 0.48 \text{ mg/m}^3$ - $16.26 \pm 2.07 \text{ mg/m}^3$ เกินค่ามาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กที่สามารถเข้าถึงและสะสมในถุงลมปอดได้ (Respirable dust) ตามประกาศของกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี)¹⁰ เนื่องจากการระบายอากาศ และควบคุมปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เหมาะสมของโรงงานส่งผลให้ความเข้มข้นของการสัมผัสฝุ่นละอองใน 2 แผนก ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอย่างไรก็ตามค่ามาตรฐานที่ทางหน่วยงานตั้งขึ้นเป็นค่าประมาณการณเบื้องต้นเพียงเท่านั้น ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าผู้ที่สัมผัสกับฝุ่นปริมาณไม่เกินมาตรฐานเมื่อสะสมไปเป็นเวลานานจะไม่เกิดอันตรายแก่ผู้สัมผัส เพราะฉะนั้นโรงงานควรทำการเฝ้าระวังเรื่องนี้อย่างใกล้ชิด

จากผลการรวบรวมข้อมูลการตรวจสมรรถภาพปอดพนักงานโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ จังหวัดขอนแก่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึงปี พ.ศ. 2558 พบว่า แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืน โดยพบว่าพนักงานส่วนมากมีอาการความจุปอดลดลงจากความยืดหยุ่นของปอดลดลง แสดงให้เห็นจากการตรวจพบค่า Forced vital capacity (FVC) มีค่าต่ำกว่า 80% แต่ค่า Force expiratory volume in one second / Forced vital capacity (FEV1/FVC) มากกว่า

70% ซึ่งจะเกิดในผู้ที่มีโรคของเนื้อปอด ผู้ที่มีโครงสร้างกล้ามเนื้อ หรือกระดูกที่ช่วยหายใจผิดปกติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับความผิดปกติของสมรรถภาพปอดพนักงานโรงเลื่อยไม้ยางพารา จังหวัดยะลา พบค่า Forced vital capacity (FVC) เท่ากับ 71.2% และค่า Force expiratory volume in one second / Forced vital capacity (FEV1/FVC) เท่ากับ 73.4%³ และมีอาการของการอุดกั้นของหลอดลม แสดงให้เห็นจากการตรวจพบค่า Force expiratory volume in one second / Forced vital capacity (FEV1/FVC) ต่ำกว่า 70% โดยค่า Forced vital capacity (FVC) มีค่าปกติ (มากกว่า 80%) ซึ่งจะเกิดในผู้ที่เป็นโรคหอบหืด โรคถุงลมโป่งพองจากการสูบบุหรี่ และโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง¹¹ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองจากไม้ก่อให้เกิดโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ เช่น โรคหอบหืด โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง และโรคถุงลมโป่งพอง¹² ซึ่งสอดคล้องกับอาการสมรรถภาพปอดที่ผิดปกติของพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีปริมาณเล็กน้อยในระดับผ่านเกณฑ์มาตรฐานหากสะสมมาเป็นเวลานานอาจก่อให้เกิดความผิดปกติแก่ผู้ที่สัมผัสได้

จากผลการสอบถามข้อมูลทั่วไปของพนักงานแผนกจัดเตรียมวัตถุดิบและแผนกผลิตปูนขาวและสารเคมีกลับคืนพบว่าพนักงานส่วนมากเป็นเพศชาย อายุของพนักงานอยู่ในช่วง 35 ถึง 49 ปี สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา⁹ พบระดับการศึกษาอยู่ที่ระดับอนุปริญญาหรือเทียบเท่า มีพฤติกรรมไม่สูบบุหรี่ ประเภทของบุหรี่ยุคสำหรับพนักงานที่สูบบุหรี่ส่วนมากคือ บุหรี่สำเร็จรูป พฤติกรรมการสูบบุหรี่ของบุคคลในครอบครัวมีสัดส่วนเท่ากันคือ บุหรี่สำเร็จรูป และยาเส้นม้วนเอง ทิศที่ตั้งของที่พักกับโรงงานส่วนมากคือทิศเหนือและทิศตะวันออกของโรงงานและประวัติการเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจก่อนเข้าทำงาน โรคที่พนักงานส่วนมากเป็นก่อนเข้ามาทำงาน 1-3 ปี คือ โรคภูมิแพ้จากอากาศจากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่า พนักงานอาจได้รับฝุ่นนอกเพิ่มเติมนอกเหนือจากการทำงานในแผนกจากการสูบบุหรี่ของบุคคลในครอบครัวและตำแหน่งที่ตั้งของที่พักกับโรงงานในกรณีที่เกิดลมมรสุมพัดเอาฝุ่นละอองจากโรงงาน

จากผลการสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของพนักงาน พบว่าพนักงานส่วนมากเคยประกอบอาชีพอื่นก่อนเข้ามาทำงานที่โรงงานและทำอาชีพเสริมระหว่างทำงานที่โรงงานซึ่งส่วนมากประกอบอาชีพเกษตรกรรม พนักงานส่วนมากเป็นพนักงานประจำของโรงงาน ที่แผนกจัดเตรียมวัตถุดิบ ลักษณะการทำงานของพนักงานจะอยู่ทั้งในสำนักงานและหน้า

งานกระบวนการผลิต ระยะการทำงานในแผนกส่วนมาก 11 ปีขึ้นไป ระยะเวลาในการทำงานในแผนกส่วนมาก 8 ชั่วโมงต่อวัน กะในการทำงานส่วนมากอยู่ในกะปกติ (8.00น.-17.00น.) เงินเดือนจากการทำงานส่วนมากอยู่ที่ 20,000 บาท ขึ้นไป พนักงานทั้งหมดได้รับความรู้เกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนใหญ่ผ่านทาง การอบรมจากโรงงาน และเหตุผลในการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายมากที่สุดคือเกรงกลัวอันตราย จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่ามีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องกับแนวโน้มนิยมสภาพปลอดภัยผิดปกติของพนักงานที่เพิ่มขึ้น เช่น อาชีพเสริมนอกเหนือจากการทำงานในแผนกที่เกี่ยวข้องกับเกษตรกรรมอาจทำให้พนักงานมีโอกาสสัมผัสกับสารยาฆ่าแมลงที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจได้อีกทางหนึ่ง ระยะเวลาในแผนกที่มากขึ้นก็ส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองที่ได้รับเกิดการสะสมในร่างกายจนเกิดโรคที่ร้ายแรงตามมา

จากผลการสอบถามข้อมูลพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจในพนักงาน พบว่าพนักงานมีพฤติกรรมการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจมากที่สุดคือ หน้ากากผ้าสำหรับป้องกันฝุ่นละออง ซึ่งป้องกันได้ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาพนักงานในอุตสาหกรรมไม้เทพทาโร จังหวัดตรัง ใช้หน้ากากกันฝุ่นละอองในการป้องกันฝุ่นมากที่สุด ร้อยละ 50.00^๑ และสอดคล้องกับการศึกษาเกี่ยวกับภาวะสุขภาพและพฤติกรรมปกป้องสุขภาพของคณงานผลิตเครื่องเรือนไม้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม พบว่า พนักงานส่วนใหญ่มีการใช้หน้ากากผ้าปิดปากและจมูก จำนวน 112 คน คิดเป็นร้อยละ 46.67¹³ทางที่ดีที่สุดควรใช้หน้ากากสำหรับป้องกันฝุ่นแบบมีตัวกรองป้องกันฝุ่นโดยเฉพาะซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันฝุ่นละอองได้ดีกว่า เหตุผลที่พนักงานไม่เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายของระบบทางเดินหายใจมากที่สุดคือ เนื่องจากคิดว่าหายใจไม่สะดวก ซึ่งทางโรงงานควรปรับทัศนคติแก่พนักงานให้พนักงานตระหนักในเรื่องความปลอดภัยในการทำงานมากยิ่งขึ้นกว่านี้ พนักงานส่วนใหญ่มิ่พฤติกรรมในการหลังปฏิบัติงาน และได้รับการอบรมเกี่ยวกับเรื่อง ความรู้เกี่ยวกับโรคที่เกิดจากฝุ่นละอองและอันตรายจากการปฏิบัติงานในความถี่ช่วง 1 ถึง 3 ครั้งต่อ 1 เดือนหรือนานๆ ครั้ง แสดงให้เห็นว่าพนักงานมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเรื่องฝุ่นละออง การป้องกันฝุ่นละออง และอันตรายจากการทำงาน แต่ก็ควรมีการอบรมเพิ่มเติมในกรณีที่มีพนักงานใหม่เข้ามาทำงานเพื่อลดโอกาสที่พนักงานจะสัมผัสฝุ่นละออง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลห้องปฏิบัติการทางอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการตรวจวัด และ สถานที่ในการเก็บรักษาและวิเคราะห์ตัวอย่าง และขอขอบพระคุณผู้อำนวยการและพนักงานโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ จังหวัดขอนแก่น ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้เข้าพื้นที่ในการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กและเก็บแบบสอบถามและอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูลในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. กัญจิกา ถิ่นทิพย์. (2557).สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรคประจำปี 2557.
2. ถวิล ถิ่นวิมล และคณะ. ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดมะเร็งโพรงจมูกในจังหวัดอุบลราชธานี. วารสารพิษวิทยาไทย 2553;25(2): 67-80.
3. สรวารุช วิชิตนันท์, พิษญา พรคทองสุข, บรรจงวิทย์วีร์ ศักดิ์. ผลกระทบของฝุ่นไม้ต่อความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจและสมรรถภาพปอดของพนักงานโรงเลื่อยไม้ยางพาราในจังหวัดยะลา.วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ 2551;1(4): 9-21.
4. บริษัท ฟินิกซ์ พัลพ แอนด์ เพเพอร์ จำกัด (มหาชน). (ม.ป.ป.). แผนกผลิตเยื่อ (Pulp Mill).
5. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรม. การเก็บและวิเคราะห์อนุภาคแขวนลอยในอากาศในสภาวะแวดล้อมการทำงาน. [กรุงเทพฯ]: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม; 2555.
6. Weyerhaeuser. Safety Data Sheet (SDS) Wood and Wood dust. [Internet]. 2016[cited 2017 Jan 17]. Available from: www.weyerhaeuser.com/download_file/31585/.
7. Science lab.com. Material safety data sheet Calcium oxide MSDS. [Internet]. [cited 2017 Jan 14]. Available from:<http://www.sciencelab.com/msds.php?msdsId=992748>
8. พิษชัย ศิริสุขโขดม. ปริมาณฝุ่นละอองและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอาหารสัตว์. Science and Technology Silpakorn University. 2557;1(4): 42-49.
9. สมรักษ์ รอดเจริญ, อเนก สวาเวอินทร์. พฤติกรรมการทำงานและการได้รับปริมาณฝุ่นละอองของแรงงานในอุตสาหกรรมไม้เทพทาโร จังหวัดตรัง.วารสารวิชาการและ

- วิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ 2554:167-174.
10. สุวีรัตน์ ศรีเมือง, อเนก สวาอินทร์, สมรักษ์ รอดเจริญ. การศึกษาระดับฝุ่นละออง Total dust และ PM 10 ในอุตสาหกรรมผลิตปูนขาว. ใน: วิชาการ จารุศิริ, บรรณาธิการ. เศรษฐกิจสังคม วัฒนธรรม กับการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน. การประชุมวิชาการระดับชาติเครือข่ายวิจัยสถาบันอุดมศึกษาทั่วประเทศ; 27 ก.พ. 2556 ;นครปฐม. 2556. น. 251-256.
 11. บริษัท กาญจนรัตน์ การแพทย์แล็บ จำกัด. การตรวจสมรรถภาพปอด. [อินเทอร์เน็ต]. [ม.ป.พ.]: [สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มี.ค. 2560]. จาก: <http://kanjanarat.co.th/lung.html>
 12. Pylkkanen L. et all. Wood dusts induce the production reactive oxygen species and caspase-3 activity in human bronchial epithelial cells. *Toxicology* 2009; (262):265-27.
 13. ชื่นกมล สุขดี และคณะ. ภาวะสุขภาพและพฤติกรรมปกป้องสุขภาพของคนงานผลิตเครื่องเรือนไม้ในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม. *วารสารสภาการพยาบาล* 2553;25(3):121-139.

ผลของการให้แสงคั่นกลางคืนและพาโคลบิวทราโซลต่อสารประกอบทางเคมีในปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่ปลูกนอกฤดู

Effect of Night-break and Paclobutrazol on Chemical Compound in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. 'Kimono' Pink Grown Off-season

เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง^{1*}, เบ็ญจวรรณ ชุติชูเดช², ประสิทธิ์ ชุติชูเดช²

Kriangsuk Boontiang^{1*}, Benjawan Chutichudet², Prasit Chutichudet²

Received: 27 February 2017 ; Accepted: 20 June 2017

บทคัดย่อ

การศึกษากิจกรรมของสารประกอบทางเคมีในปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่ปลูกนอกฤดู 2 รุ่น (2 การทดลอง) โดยให้พืชได้รับแสงคั่นช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับการให้พาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 0, 200, 400, 600 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใต้แผน การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ 5 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ (10 ต้นต่อซ้ำ) พบว่า ปทุมมาปลูกนอกฤดูรุ่นที่ 1 ซึ่งได้รับแสงคั่นกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาโคลบิวทราโซล 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบและมีปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับส่วนบนสูงที่สุดเฉลี่ย 70.56 mg g⁻¹ dry weight และ 16.27 mg g⁻¹ fresh weight ส่วนปทุมมาปลูกนอกฤดูรุ่นที่ 2 ซึ่งได้รับแสงคั่นกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง และพาโคลบิวทราโซล 600 มิลลิกรัมต่อลิตร มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (68.43 mg g⁻¹ dry weight) มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในก้านช่อดอกและในช่อดอกและมีปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับส่วนบนสูงที่สุดเฉลี่ย 23.80 และ 22.32 mg g⁻¹ dry weight และ 15.29 mg g⁻¹ fresh weight

คำสำคัญ: ปทุมมาปลูกนอกฤดู การให้แสงคั่นกลางคืน พาโคลบิวทราโซล คลอโรฟิลล์ คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง แอนโทไซยานิน

Abstract

A study on the effect of night-break and paclobutrazol on chemical compound in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. 'Kimono Pink' grown off-season was conducted on 2 planting dates (2 experiments) under night-break for 2 hours and paclobutrazol 0, 200, 400, 600 and 800 mg/L in completely randomized design with 5 treatments and 10 replications (10 plants/replication). The data of 1st experiment demonstrated that plants grown under 2 hours night-break and 600 mg/L paclobutrazol gave the best result in terms of chlorophyll in leaf (70.56 mg g⁻¹ dry weight) and anthocyanin in coma bract (16.27 mg g⁻¹ fresh weight); in the other 2nd experiment demonstrated that plants grown under 2 hours night-break and 600 mg/L paclobutrazol gave the best result in terms of chlorophyll in leaf (68.43 mg g⁻¹ dry weight) and content of total non-structural carbohydrates in peduncle and inflorescence (23.80 mg g⁻¹ and 22.32 mg g⁻¹ dry weight) and anthocyanin in coma bract (15.29 mg g⁻¹ fresh weight).

Keywords: off-season *Curcuma alismatifolia* Gagnep., night-break, paclobutrazol, chlorophyll, non-structural carbohydrates, anthocyanin

^{1,2}ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³รองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{1,2}Assistant Professor, ³Associated Professor Department of Agricultural Technology, Mahasarakham University, Khantharawichai District, Mahasarakham 44150

* Corresponding author: Kriangsuk Boontiang, Department of Agricultural Technology, Mahasarakham University

บทนำ

ปทุมมาและกระเจียวประดับ (Ornamental curcuma) จัดเป็นพืชกลุ่มไม้ดอกเขตร้อนที่มีศักยภาพสูงในการแข่งขันทางการค้าและการส่งออกในรูปแบบไม้ตัดดอกและไม้กระถางจากประเทศไทย¹ โดยมีมูลค่าทางการตลาดสูงเป็นอันดับที่ 9 ของตลาดอัลสเมียร์ประเทศเนเธอร์แลนด์ ตลาดประมูลไม้ดอกไม้ประดับใหญ่ที่สุดในโลก² สามารถสร้างรายได้เข้าประเทศไม่น้อยกว่า 64 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี³ โดยปกติปทุมมาและกระเจียวจะเป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตและปรากฏช่อดอกเฉพาะในช่วงฤดูฝน ขณะที่ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อนจะเป็นช่วงพักตัว เพราะพืชไม่สามารถสร้างอาหารเพื่อสนับสนุนกระบวนการเจริญเติบโตและการพัฒนาของช่อดอกได้อย่างเพียงพอภายใต้ข้อจำกัดของช่วงเวลาที่พืชได้รับแสงน้อยกว่าปกติในสภาพวันสั้นในฤดูหนาวและสภาพแห้งแล้งตลอดช่วงฤดูร้อน อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลด้านการตลาดที่ต้องการช่อดอกปทุมมาตลอดทั้งปี ทำให้เกิดความพยายามพัฒนาแนวทางเพาะปลูกปทุมมาออกฤดูภายใต้โรงเรือนร่วมกับการให้แสงคั่นกลางคืน^{4,5} รวมถึงพัฒนารูปแบบการเพาะปลูกปทุมมาออกฤดูในสภาพแปลงเปิดร่วมกับการให้แสงคั่นในช่วงกลางคืนเพื่อลดต้นทุนในการปลูกสร้างโรงเรือนอย่างต่อเนื่อง⁶ อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดในการควบคุมปัจจัยแวดล้อมของสภาพแปลงเปิดที่มีความผันแปรจึงส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอด้านกายภาพของพืช ทั้งนี้บุษยามาศ และคณะ⁷ ได้รายงานผลการศึกษาข้อมูลการเจริญเติบโตและการพัฒนาของช่อดอกปทุมมาที่เพาะปลูกนอกฤดูในสภาพแปลงเปิดซึ่งได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนร่วมกับพาโคลบิวทราโซล เพื่อเป็นแนวทางการส่งเสริมคุณภาพการผลิตปทุมมาออกฤดูต้นทุ่นต่ำ แต่ยังไม่ปรากฏรายงานผลวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีในส่วนต่างๆ ของพืชที่เพาะปลูกภายใต้รูปแบบดังกล่าว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณสารประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ การสะสมคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (Total nonstructural carbohydrates: TNC) ในส่วนต่างๆ และปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับส่วนบน (Coma bract) ของช่อดอกปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่เพาะปลูกนอกฤดูในสภาพแปลงเปิดภายใต้สภาวะที่พืชได้รับแสงคั่นช่วงกลางคืนและพาโคลบิวทราโซล

วิธีการศึกษา

1. พืชทดลอง ได้แก่ คือ ปทุมมา (*Curcuma alismatifolia* Gagnep.) พันธุ์ Kimono Pink กำหนดการเพาะปลูกพืชทดลอง 2 รุ่น (2 การทดลอง) รุ่นที่ 1 เพาะปลูกในระหว่างเดือนกันยายน – ธันวาคม 2558 และรุ่นที่ 2 เพาะปลูกระหว่าง

เดือนพฤศจิกายน 2558 – กุมภาพันธ์ 2559 เริ่มต้นโดยคัดเลือกเหง้าปทุมมาที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1.5 - 1.7 เซนติเมตร และมีรากสะสมอาหารเฉลี่ย 4 รากต่อเหง้า โดยเหง้าที่ใช้ปลูกทั้งหมดผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 70 เปอร์เซ็นต์ นาน 4 เดือน นำเหง้าปทุมมาที่ใช้ปลูกไปแช่ในน้ำประปานาน 3 วัน (เปลี่ยนน้ำใหม่ทุกวัน) เพื่อกระตุ้นการงอก จากนั้นนำเหง้าไปเพาะในกระบะเพาะที่บรรจุทรายและถ่านกลบ อัตราส่วน 1:1 จนกระทั่งตาเหง้าแตกหน่อสูงพ้นผิววัสดุเพาะประมาณ 1 นิ้ว จึงย้ายกล้าปทุมมาไปปลูกในถุงพลาสติกสีดำขนาด 6 x 11 นิ้ว ที่บรรจุวัสดุปลูกประกอบด้วยส่วนผสมของดิน ทราย และถ่านกลบ อัตราส่วน 1:1:1 (ปลูก 1 ต้นต่อถุง)

2. แผนการทดลอง การศึกษานี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design; CRD) 5 กรรมวิธี ๆ ละ 10 ซ้ำ (10 ต้นต่อซ้ำ) โดยจัดเรียงพืชทดลองในสภาพแปลงเปิดกำหนดให้พืชทดลองได้รับแสงไฟจากหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 W คั่นใน ช่วงเวลากลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 23.00 – 01.00 นาฬิกา (เพิ่มจากแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับในช่วงเวลากลางวัน) กำหนดการให้แสงเพิ่มโดยติดตั้งหลอดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 100 W จำนวน 4 หลอดต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตร แต่ละหลอดติดตั้งสูงจากพื้น 1.5 เมตร เริ่มต้นให้แสงเพิ่มเมื่อพืชทดลองมีอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูกต่อเนื่องไปจนกระทั่งพืชทดลองมีการพัฒนาของช่อดอกโดยสมบูรณ์ (ดอกจริงเริ่มบาน) ร่วมกับการให้พาโคลบิวทราโซล 15 % ที่ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 200, 400, 600 และ 800 mg/L โดยวิธีผสมน้ำราดโคนต้น (ปริมาตร 200 มิลลิลิตร/ต้น) เมื่อพืชอายุ 3 สัปดาห์หลังย้ายปลูก

3. วิธีวิเคราะห์ค่าสังเกตสารประกอบทางเคมีในปทุมมาเมื่อพืชมีอายุ 90 วันหลังย้ายปลูก ดังรายละเอียดต่อไปนี้ 1) วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Leaf) ปทุมมา เริ่มจากนำไปปทุมมาสดมาสกัดคลอโรฟิลล์ด้วยเมทานอล 50% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร บรรจุในขวดแก้ว (เก็บในที่มืดนาน 24 ชั่วโมง) กรองเพื่อแยกสาร ละลายคลอโรฟิลล์ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 จากนั้น ดูดสารสกัดตัวอย่างปริมาตร 2 มิลลิเมตร นำไป Centrifuge ความเร็ว 12,000 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที วิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น V-325-XS ที่ค่าดูดกลืนแสง 665 และ 625 นาโนเมตร คำนวณปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ตามวิธีของ Madison and Anderson⁸ 2) วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (TNC) ตามวิธีของ Smith *et al.*⁹ เริ่มจากนำส่วน

ต่าง ๆ ของพืชทดลอง ได้แก่ เหง้า (Rhizome) ลำต้นเทียม (Pseudostem) ใบ ก้านช่อดอก (Peduncle) และช่อดอก (Inflorescence) มาล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยตู้อบลมร้อน นาน 72 ชั่วโมง บดตัวอย่างให้ละเอียดตัวอย่างละ 0.2 กรัม ลงใน Erlenmeyer flask ขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร เติม H_2SO_4 0.2 N 40 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้เป็นกลาง (pH 7) และเติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Nelson's alkaline copper reagent หลอดละ 1 มิลลิลิตร เขย่าหลอดให้สารละลายเข้ากัน ปิดหลอดทดลองด้วยแผ่นอะลูมิเนียม นำไปวางในน้ำเดือดนาน 20 นาที ยกหลอดทดลองขึ้นทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นนำสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้าง (TNC) ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น V-325-XS ที่ค่าดูดกลืนแสง 540 นาโนเมตร คำนวณค่า Absorbance ของตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่าที่ปรากฏในกราฟมาตรฐานกลูโคส (D-glucose standard curve) และ 3) วิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับส่วนบนของช่อดอกปทุมมา ตามวิธีของ Giusti and Wrolstad¹⁰ เริ่มต้นจากนำกลีบประดับส่วนบน (Coma bract) ของช่อดอกปทุมมา 2 กรัม (น้ำหนักสด) มาสกัดแอนโทไซยานินด้วยเมทานอล 50 % ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำไปปั่นด้วยเครื่อง Homogenizer กรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 ดูดสารละลายที่กรองแล้ว 0.4 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติม Potassium chloride 0.025 M buffer pH 1 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็วรอบ 5000 rpm. ต่อมาที่ นาน 10 นาที วิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer รุ่น V-325-XS ที่ค่าดูดกลืนแสง 515 และ 700 นาโนเมตร คำนวณเปรียบเทียบค่า Absorbance ของตัวอย่างตามสูตรสมการ Total monomeric anthocyanin pigment

4. วิธีวิเคราะห์ทางสถิติ ใช้โปรแกรม Statistix version 8 เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติ ($P < 0.05$) ของข้อมูลด้วย LSD

ผลการศึกษา

การให้แสงต้นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมงเพิ่มเติมจากแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับในเวลากลางวัน ร่วมกับการให้พาโคลบิวทราโซล 15 % ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ แก่ปทุมมา

พันธุ์ Kimono Pink ที่เพาะปลูกนอกฤดูในสภาพแปลงเปิดรุ่นที่ 1 (กันยายน – ธันวาคม 2558) ส่งผลให้พืชที่ได้รับแสงต้นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเฉลี่ยสูงสุด ($70.56 \text{ mg g}^{-1} \text{ dry weight}$) ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับกรรมวิธีอื่น และมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในเหง้า ลำต้นเทียม ก้านช่อดอก และช่อดอกสูงที่สุดเฉลี่ย 44.83, 44.54, 24.37 และ $22.25 \text{ mg g}^{-1} \text{ dry weight}$ ตามลำดับ แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีที่พืชได้รับแสงรูปแบบเดียว กันและได้รับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 400 mg/L ทั้งนี้ส่วนใบของปทุมมามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างไม่แตกต่างกันในทุกกรรมวิธี ด้านผลวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับ ส่วนบนของช่อดอกปทุมมาที่ได้รับแสงต้นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L มีปริมาณแอนโทไซยานินในกลีบประดับส่วนบนของช่อดอกสูงที่สุดเฉลี่ย $16.27 \text{ mg /100 g fresh weight}$ แตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่พืชได้รับแสงรูปแบบเดียวกันร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 400, 800, 200 และ 0 mg/L โดยมีปริมาณแอนโทไซยานินเฉลี่ย 14.00, 13.54, 13.32 และ $11.57 \text{ mg /100 g fresh weight}$ ตามลำดับ ทั้งนี้กรรมวิธีที่พืชได้รับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 800, 400 และ 200 mg/L มีปริมาณแอนโทไซยานินในช่อดอกไม่ต่างกัน แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับชุดควบคุม (Table 1)

การให้แสงต้นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมงเพิ่มเติมจากแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับในเวลากลางวัน ร่วมกับการให้พาโคลบิวทราโซล 15 % ความเข้มข้นต่างกัน 5 ระดับ แก่ปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่เพาะปลูกนอกฤดูในสภาพแปลงเปิดรุ่นที่ 2 (ตุลาคม 2558 – กุมภาพันธ์ 2559) ส่งผลให้พืชมีปริมาณสาร ประกอบทางเคมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกันกับพืชที่เพาะปลูกรุ่นที่ 1 กล่าวคือ ปทุมมาที่ได้รับแสงต้นในช่วงกลางคืนแบบ ต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L มีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบสูงที่สุดเฉลี่ย $68.43 \text{ mg g}^{-1} \text{ dry weight}$ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเปรียบเทียบกับกรรมวิธีที่พืชได้รับแสงในรูปแบบเดียวกันและได้รับ พาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 400, 200, 800 และ 0 mg/L โดยมีปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเฉลี่ย 66.60, 66.54, 64.28 และ $64.16 \text{ mg g}^{-1} \text{ dry weight}$ ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบพืชที่ได้รับแสงรูปแบบเดียวกันและได้รับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 800 และ 0 mg/L ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ด้านผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่

โครงสร้างในส่วนเหง้าและลำต้นเทียมของปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่ได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L พบว่ามีค่าสูงสุด (43.71 และ 43.87 mg g⁻¹ dry weight) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับปทุมมาที่ได้รับแสงรูปแบบเดียวกันร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 400 mg/L (43.49 และ 43.58 mg g⁻¹ dry weight) อย่างไรก็ตาม ส่วนใบของปทุมมามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี เช่นเดียวกันกับพืชที่ปลูกในรุ่นที่ 1 ทั้งนี้ปทุมมาที่ได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมงร่วมกับ

พาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในก้านช่อดอกและช่อดอกสูงสุดเฉลี่ย 23.80 และ 22.32 mg g⁻¹ dry weight แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับทุกกรรมวิธี เช่นเดียวกันกับผลวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานินในเกลีบประดับส่วนบนของช่อดอกปทุมมาที่ได้รับแสงคั่นในช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมงร่วมกับพาโคลบิวทราโซลเข้มข้น 600 mg/L มีค่าสูงสุดเฉลี่ย 15.29 mg/100 g fresh weight แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น (Table 2)

Table 1 Effect of night-break and paclobutrazol on contents of chlorophyll, total non-structural carbohydrates (TNC) and anthocyanin in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. 'Kimono Pink' grown off-season (September – November 2015)

Treatment	Chlorophyll content in leaf (mg g ⁻¹ dry weight)	TNC content (mg g ⁻¹ dry weight)					Anthocyanin content in coma bract (mg/100 g fresh weight)
		Rhizome	Pseudo-stem	Leaf	Peduncle	Inflorescence	
Night break + paclobutrazol							
2 hr. Night break + 0 ppm. (control)	63.08d	39.43c	39.12c	11.07	19.67c	19.84c	11.57c
2 hr. Night break + 200 ppm.	66.18c	42.78b	42.63b	11.63	23.25bc	20.61b	13.32b
2 hr. Night break + 400 ppm.	69.75b	44.06a	44.38a	11.50	24.69a	22.07a	14.00b
2 hr. Night break + 600 ppm.	70.56a	44.83a	44.54a	11.28	24.37a	22.25a	16.27a
2 hr. Night break + 800 ppm.	64.31d	42.98b	41.98c	11.37	19.46c	20.06bc	13.54b
F-test	**	**	**	ns	**	**	**
CV %	8.73	4.87	6.88	10.53	6.70	7.06	9.08

ns = non-significant difference, ** highly significantly difference

Means value in the same column with different letters were significantly different (p≤0.05)

Table 2 Effect of night-break and paclobutrazol on contents of total non-structural carbohydrates and anthocyanin in *Curcuma alismatifolia* Gagnep. 'Kimono Pink' grown off-season (November 2015 – February 2016)

Treatment	Chlorophyll content in leaf (mg g ⁻¹ dry weight)	TNC content (mg g ⁻¹ dry weight)					Anthocyanin content in coma bract (mg/100 g fresh weight)
		Rhizome	Pseudo-stem	Leaf	Peduncle	Inflorescence	
Night break + paclobutrazol							
2 hr. Night break + 0 ppm. (control)	64.16c	38.23c	38.32c	11.77	18.62c	18.44b	10.32c
2 hr. Night break + 200 ppm.	66.54b	40.46b	40.41b	10.93	20.15bc	21.67a	13.19b
2 hr. Night break + 400 ppm.	66.60b	43.49a	43.58a	11.10	21.67b	20.04b	13.98ab
2 hr. Night break + 600 ppm.	68.43a	43.71a	43.87a	11.28	23.80a	22.32a	15.29a
2 hr. Night break + 800 ppm.	64.28c	39.68c	38.58c	11.87	18.96c	18.33c	13.30b
F-test	**	**	**	ns	**	**	**
CV %	7.39	6.07	7.35	10.53	5.10	8.04	10.17

ns = non-significant difference, ** highly significant difference

Means value in the same column with different letters were significantly different (p≤0.05)

อภิปรายและสรุปผล

ความพยายามพัฒนาแนวทางผลิตช่อดอกปทุมมาออกฤดูโดยเฉพะอย่างยิ่งการวางแผนเพาะปลูกพืชให้ปรากฏช่อดอกสำหรับจำหน่ายในช่วงเทศกาลสำคัญ ถือเป็นช่องทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าและสร้างโอกาสแข่งขันด้านการตลาดแก่เกษตรกร การศึกษานี้วางแผนเพาะปลูกปทุมมาออกฤดูในสภาพแปลงเปิด 2 รุ่น โดยกำหนดให้พืชทดสอบในรุ่นที่ 1 (ปลูกสัปดาห์ที่ 3 ของเดือนกันยายน) ปรากฏช่อดอกช่วงปลายเดือนธันวาคมถึงต้นเดือนมกราคมซึ่งตรงกับเทศกาลสงกรานต์ปีเก่าต้อนรับปีใหม่ และปลูกพืชทดสอบรุ่นที่ 2 ในสัปดาห์แรกของเดือนพฤศจิกายน เพื่อให้พืชปรากฏช่อดอกในช่วงต้นเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งตรงกับเทศกาลแสดงความรัก (Valentine) สอดคล้องกับตลาดไม้ดอกไม้ที่ต้องการปทุมมาออกฤดูเพื่อจำหน่ายในรูปแบบไม้กระถางสำหรับใช้จัดสวนตกแต่งสถานที่และจำหน่ายในรูปแบบไม้ตัดดอกสำหรับมอบเป็นของขวัญหรือของที่ระลึกในราคาที่สูงกว่าผลผลิตที่ออกในช่วงฤดูเพาะปลูกปกติ¹¹ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าการให้แสงต้นกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาคอลิบิวทราโซลความเข้มข้น 600 mg/L สามารถส่งเสริมให้ปทุมมาพันธุ์ Kimono Pink ที่ปลูกออกฤดูมีปริมาณสารประกอบทางเคมีซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการสร้างและการสะสมอาหารในพืชได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เปรียบเทียบกับรายงานข้อมูลกายภาพด้านการเจริญเติบโตและการพัฒนาของช่อดอกปทุมมาที่พืชที่ได้รับแสงต้นกลางคืนเพียงอย่างเดียวหรือการที่พืชได้รับแสงต้นกลางคืนร่วมกับการให้พาคอลิบิวทราโซลในอัตราที่ต่ำหรือสูงเกินไป⁷ กล่าวคือ ปทุมมาที่เพาะปลูกออกฤดูได้การเพิ่มแสงต้นช่วงกลางคืนแบบต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาคอลิบิวทราโซล 600 mg/L มีความสูงต้น มีการเกิดหน่อใหม่ และมีจำนวนใบมากที่สุด รวมทั้งมีคุณภาพของช่อดอกที่ดีที่สุด สอดคล้องกับผลทดสอบพาคอลิบิวทราโซลกับเบญจมาศตัดดอกที่เพาะปลูกภายใต้สภาวะการให้แสงต้นกลางคืนของ Burrows *et al.*¹² ซึ่งพบว่าใบพืชที่ได้รับพาคอลิบิวทราโซลมีความหนาเพิ่มขึ้นและใบมีสีเขียวเข้มกว่าพืชที่ไม่ได้รับสาร เนื่องจากพาคอลิบิวทราโซลมีคุณสมบัติส่งเสริมการเพิ่มความหนาของชั้นเซลล์ palisade mesophyll ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงสร้างใบพืช การที่ใบพืชมีสีเขียวเข้มบ่งชี้ถึงปริมาณคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นรงควัตถุสำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหารสะสมในพืชสูง อย่างไรก็ตามพืชที่ได้รับพาคอลิบิวทราโซลความเข้มข้นสูงจะแสดงอาการแคแสดของลำต้นและมีระบบรากสั้น¹³ เนื่องจากคุณสมบัติด้านหนึ่งของพาคอลิบิวทราโซลคือควบคุมการเจริญเติบโตของพืช แม้ว่าผลวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่โครงสร้างในส่วนต่าง ๆ ของปทุมมาพันธุ์

Kimono Pink ปลูกออกฤดูรุ่นที่ 1 ภายใต้อิทธิพลการให้แสงต้นกลางคืนแบบ ต่อเนื่องนาน 2 ชั่วโมง ร่วมกับพาคอลิบิวทราโซลเข้มข้น 400 และ 600 mg/L ไม่มีความต่างกัน แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในปทุมมาปลูกในรุ่นที่ 2 ซึ่งให้เห็นว่าการที่พืชได้รับพาคอลิบิวทราโซลความเข้มข้นเหมาะสม สามารถปรับตัวกับสภาพแห้งและอุณหภูมิที่สูงระหว่างช่วงรอย ต่อปลายฤดูหนาวและต้นฤดูแล้งได้ดี¹⁴ สอดคล้องกับผลทดสอบการใช้พาคอลิบิว ทราโซลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสะสมคาร์โบไฮ เดรตและน้ำตาลบางชนิดกับมะม่วงในระยะพัฒนา การของ Upreti *et al.*¹⁵ ซึ่งพบว่า พาคอลิบิวทราโซลสามารถชักนำให้พืชเกิดการสะสมคาร์โบไฮ เดรตในส่วนใบและสะสมน้ำตาลในกลุ่มซูโครส กลูโคส และฟรุคโตสในส่วนตาดอกของพืชเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เห็นได้ว่าผลวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของปทุมมาที่เพาะปลูกออกฤดูในสภาพแปลงเปิดซึ่งได้รับแสงต้นกลางคืนและพาคอลิบิวทราโซลจากการศึกษานี้มีความสัมพันธ์และเชื่อมโยงกับข้อมูลด้านกายภาพของพืช ข้อมูลทั้งสองส่วนถือเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับงานวิจัยเพื่อต่อยอดการพัฒนาารูปแบบการเพาะปลูกปทุมมาออกฤดูต้นทุนต่ำในสภาพแปลงเปิดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอบพระคุณภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ความอนุเคราะห์แปลงทดลองและเครื่องมือวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

1. Roh M., Lawsan R., Lee J.S., Suh J.K., Cilley R.A. and Apavatjirut P. Evaluation of *Curcuma* as Potted Plant and Cut Flower. HortScience. 2005, 40 (4): 1012-1013.
2. Prabhakarn Nair K.P. The Ornamental *Curcuma*. In: The Agronomy and Economy of Turmeric and Ginger, The Invaluable Medicinal Spice Crops. Elsevier 2013: 205-215.
3. ไสริยา ร่วมรังสี. การพัฒนาไม้ดอกของไทยสู่การแข่งขันในตลาดอาเซียน. แก่นเกษตร. 2556, 41 (3): 209-212.
4. อนงค์ พยัคฆ์พหล. ศึกษาผลการสภาพวันยาวต่อการออกดอกออกฤดูของปทุมมา. วิทยานพินธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. 2549.
5. สรวุฒิ ปานทน วุฒิพล จันทรสระภู นาวิ จีระชีวี วันชัย คุปวานิชพงษ์ สนอง อมฤกษ์ อรรถนพ รื่นณรงค์ และ

- รณรงค์ คนชม. การพัฒนาและทดสอบโรงเรือนสำหรับผลิตปทุมมานอกฤดู. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. จังหวัดเชียงใหม่ 4-5 เมษายน 2555: 811-818.
6. พัชรี สิริตระกูลศักดิ์ สาวิตร มีจ้อย และโสธยา ร่วมรังสี. อิทธิพลของการเพิ่มแสงไฟคั่นช่วงกลางคืนต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของปทุมมา. วารสารเกษตร. 2553. 26 (2): 127-135.
 7. บุษยมาศ ผุยมูลตรี เกรียงศักดิ์ บุญเที่ยง ประสิทธิ์ ชูติชูเดช และเบญจวรรณ ชูติชูเดช. อิทธิพลของการให้แสงคั่นช่วงกลางคืนและพาโคลบิวทราโซลต่อการเกิดช่อดอกนอกฤดูในปทุมมา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2555. 31(6): 747-756.
 8. Madison J.H. and Anderson A.H. A chlorophyll index to measure turfgrass response. *Agronomy*. 1963. 55: 461-464.
 9. Smith D.G., Paulsan M. and Raguse C.A. Extraction of total available carbohydrates from grass and legume tissue. *J. Plant Physiol*. 1964, 36: 960-962.
 10. Giusti M.M. and R.E. Wrolstad. Characterization and Measurement of Antocyanins by UV-visible spectroscopy. In R.E. Wrolstad, Acree T.E., Decker E.A., Penner M.H., Reid D.S., Schwartz S.J., Shoemaker C.F., Smith D. and P. Sporns (Eds). *Handbook of Food Analytical Chemistry*. Wiley-Interscience, Hoboken, New Jersey. 2005: 19-31.
 11. นภาพรณี พรหมชนะ. การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตและการตลาดไม้ดอกเขตร้อน : กรณีศึกษาปทุมมา. วารสารเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2542, 6(1): 29-35.
 12. Burrows G. E., Boag T. S. and W. P. Stewart. Changes in leaf, stem, and root anatomy of *Chrysanthemum* cv. Lillian Hoek following paclobutrazol application. *Journal of Plant Growth Regulation*. 1992, 11:189-194.
 13. Koutroubas S.D. and C.A. Sunflower response to repeated foliar application of paclobutrazol. *Planta daninha*. 2015 ,33 (1): 129-135.
 14. Jungklang J. and K. Saengnil. Effect of paclobutrazol on patumma cv. Chiangmai Pink under water stress. *Sonklanakarin J. Sci. Technol.*, 34 (4): 361-366.
 15. Upreti K. K., Shivu Prasad S. R., Reddy Y. T. N. and A. N. Rajeshwara. Paclobutrazol induced changes in carbohydrates and some associated enzymes during floral initiation in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Totapuri. *Indian Journal of Plant Physiology*. 2014, 19 (4): 317–323.

ซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดยุคเพอร์เมียนตอนกลางและสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนหินปูน
จากพื้นที่ศึกษาบ้านวชิราลงกรณ์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ของประเทศไทย

Middle Permian Fusulinids and depositional environment of limestones from Ban Vachiralongkorn area, Pak Chong district, Nakhon Ratchasima province, NE Thailand

คมกฤษ อุตรวิเศษ,^{1*} มงคล อุดชาชน,² หทัยทิพย์ ทัศนภักดิ์²

Komkit Uttarawiset,^{1*} Mongkol Udchachon,² Hathaitip Thassanapak²

Received: 17 February 2017 ; Accepted: 26 May 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานุกรมวิธานซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดและตะกอนวิทยาของหินปูน จากหน้าตัดชั้นหินปูนที่โผล่ปรากฏในพื้นที่ศึกษา
บ้านวชิราลงกรณ์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งตั้งอยู่บริเวณตอนใต้ของแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ของแผ่นธรณีอิน
โดจีน พบว่ามีซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดปรากฏอย่างน้อย 7 สกุล ได้แก่ *Afghanella* sp., *Nankinella* sp., *Neoschwagerina* sp.,
Parafusulina sp., *Pseudodoliolina* sp., *Staffella* sp. และ *Verbeekina* sp. โดยกลุ่มชีวินซากดึกดำบรรพ์นี้บ่งชี้อายุการสะสม
ตะกอนในยุคเพอร์เมียนตอนกลาง นอกจากนี้ยังพบซากดึกดำบรรพ์ฟอแรมมินิเฟอร์ขนาดเล็ก อย่างน้อย 18 สกุล ได้แก่
Climacammina sp., *Globivalvulina* sp., *Eotuberitina* sp., *Tuberitina* sp., *Glomospira* sp., *Umbellina* sp., *Vicinespheara*
sp., *Stipulina* sp., *Earlandia* sp., *Nodosinelloides* sp., *Pachyphloia* sp., *Ichtyolaria* sp., *Tetrataxis* sp., *Protonodosaria*
sp., *Fronidina* sp., *Calcitornella* sp., *Neodiscus?* sp. และ *Schubertella?* sp. ซากดึกดำบรรพ์สาหร่ายอย่างน้อย 4 สกุล ได้แก่
Mizzia sp., *Ungdarella* sp., *Tubiphytes* sp. และ *Pseudovermiporella* sp. และซากดึกดำบรรพ์อื่น ได้แก่ หอยฝาคู่จำพวก
อะลาโทคอนนิต หอยฝาเดี่ยว ปะการัง หอยตะเกียง และพลับพลึงทะเล เป็นต้น ผลการศึกษาชุดลักษณะทางจุลภาคและ
ซากดึกดำบรรพ์ดังกล่าวทำให้ตีความได้ว่าสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนเป็นแบบลานทะเลตื้นคาร์บอนเนตเขตร้อน

คำสำคัญ: ฟิวซูลินิด ยุคเพอร์เมียน แผ่นธรณีอินโดจีน แนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์

Abstract

This study reports the taxonomy of fusulinids and the lithology of limestones from sections exposed in Ban
Wachiralongkorn in Pak Chong district of Nakhon Ratchasima province. This area is located in the southern part of
the Loei-Petchabun Foldbelt of the Indochina Terrane. At least seven genera of fusulinids were observed comprising
Afghanella, *Nankinella*, *Neoschwagerina*, *Parafusulina*, *Pseudodoliolina*, *Staffella* and *Verbeekina*. This faunal
assemblage indicates a Middle Permian depositional age of the limestone sequence. Eighteen genera of smaller
foraminifers consisting of *Climacammina* sp., *Globivalvulina* sp., *Eotuberitina* sp., *Tuberitina* sp., *Glomospira* sp.,
Umbellina sp., *Vicinespheara* sp., *Stipulina* sp., *Earlandia* sp., *Nodosinelloides* sp., *Pachyphloia* sp., *Ichtyolaria* sp.,
Tetrataxis sp., *Protonodosaria* sp., *Fronidina* sp., *Calcitornella* sp., *Neodiscus?* sp. and *Schubertella?* sp. and four
algal genera including species of *Mizzia* sp., *Ungdarella* sp., *Tubiphytes* sp. and *Pseudovermiporella* sp. were also
recorded.

¹ นิสิตปริญญาโท, ² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ² Assist. Prof., Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150,
Thailand.

* Corresponding author: Komkit Uttarawiset, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District,
Maha Sarakham 44150, Thailand

Other associated fossils comprised alatoconchid bivalves, gastropods, corals, brachiopods and crinoids. Microfacies of carbonate rocks and the occurrence of these fossils support a shallow-marine tropical depositional environment of the limestone sequence.

Keywords: Fusulinid, Permian, Indochina Terrane, Loei-Petchabun Foldbelt

บทนำ

ฟิวซูลินิด (Fusulinid) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวจัดอยู่ในไฟลัมโปรโตซัว (Protozoa) อันดับฟอรามินิเฟอรา (Foraminifera) อาศัยอยู่ในน้ำทะเลโดยมีเปลือกแข็งสร้างจากสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต เมื่อตายไปเปลือกแข็งจะสะสมในชั้นตะกอนและอาจถูกเก็บรักษาสภาพเป็นซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหินปูนหรือหินตะกอนอื่น ฟิวซูลินิดมีชีวิตรอดอยู่ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงปลายยุคเพอร์เมียน ฟิวซูลินิดจัดอยู่กลุ่มจุลบรรพ์ซีวิน (Microfossil) มีวิวัฒนาการของโครงสร้างเปลือกเร็วและพบเป็นซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหินปูนมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลายหลายแห่งในโลก ดังนั้นการศึกษาฟิวซูลินิดจึงมีประโยชน์ในการระบุช่วงอายุการสะสมตะกอนของชั้นหินการลำดับชั้นหิน สภาพแวดล้อมบรรพกาล และภูมิศาสตร์บรรพกาล

สภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนหินปูนในยุคเพอร์เมียนตอนกลางทางตอนใต้ของแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ (Loei-Petchabun Foldbelt) เช่น พื้นที่พื้นที่เขาสมโภชน์ จังหวัดลพบุรี นั้นส่วนใหญ่เป็นทะเลตื้น (Wielchowsky and Young, 1985; Chonglakmani and Fontaine, 1999; Udchachon et al., 2014) การสำรวจในอดีตนั้นพบซากบรรพ์ซีวินของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น หอยสองฝาจำพวกอะลาโทคอนคิต ร่วมกับซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิด ปะการัง แบรคิโอพอด หอยฝาเดียว เป็นต้น ซึ่งพบว่าชั้นหินที่พบซากดึกดำบรรพ์หอยจำพวกอะลาโทคอนคิตในพื้นที่เขาสมโภชน์นั้นมีการสะสมตะกอนในช่วงปลายของยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (late Middle Permian) การศึกษาครั้งนี้เพื่อการศึกษาความช่วงอายุและสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนของชั้นหินปูนที่ปรากฏพบหอยสองฝาจำพวกอะลาโทคอนคิตและซากดึกดำบรรพ์อื่นๆ บริเวณบ้านวชิราลงกรณ์ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (Figure 1)

ธรณีวิทยาทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณตอนใต้ของแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยหินปูนอายุเพอร์เมียนเป็นส่วนใหญ่ บางแห่งมีหินโดโลไมต์และหินปูนเนื้อปนโดโลไมต์แทรกสลับและหลายพื้นที่พบหินดินดานและหินเชิร์ตแทรกสลับ จากการศึกษาของ Wielchowsky and Young (1985) พบว่าหินอายุ

เพอร์เมียนตามแนวเทือกเขาเลย-เพชรบูรณ์ ประกอบด้วยสภาพแวดล้อมของการสะสมตะกอนหลักได้แก่ ลานทะเลตื้นผานกเค้า ลานทะเลตื้นเขาขวาง และแอ่งทะเลน้ำตื้น หินที่เกิดจากการสะสมตัวของตะกอนในสภาพแวดล้อมเหล่านี้ในบริเวณตอนใต้ของแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ ในพื้นที่จังหวัดจังหวัดสระบุรี จังหวัดลพบุรี จังหวัดนครราชสีมาและพื้นที่ข้างเคียง จัดอยู่ในกลุ่มหินสระบุรี และสามารถแบ่งได้เป็น 6 หมวดหิน ได้แก่ หมวดหินภูเพ (Phu Phe Formation) หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation) หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) หมวดหินปางอศอก (Pang Asok Formation) หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) และหมวดหินซับบอน (Sap Bon Formation)

การโผล่ปรากฏของชั้นหินในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่บริเวณบ้านวชิราลงกรณ์ ตำบลหนองน้ำแดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (Figure 2) จากแผนที่ธรณีวิทยา (DMR, 1999) และการสำรวจภาคสนามพบว่าพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยหินปูนอายุเพอร์เมียน จัดอยู่ในหมวดหินเขาขาดของกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) เช่น หินปูนสีดำ เทาเข้มจนถึงเทาอ่อน บางส่วนเป็นหินปูนตกผลึกใหม่ และหินปูนเนื้อดินกับหินโดโลไมต์ พบหินเชิร์ตที่เป็นกระเปาะและเป็นหินชั้นดีแทรก บางส่วนคั่นสลับด้วยหินดินดาน หินทราย และหินภูเขาไฟบ้าง บางแห่งเป็นหินอ่อน และหินแคลก์ซิลิเกต ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกศึกษาชั้นหินปูนจำนวน 2 หน้าตัดชั้นหิน (Figure 2)

หน้าตัดชั้นหินบ้านวชิราลงกรณ์ (VR) (Figure 2) พบชั้นหินปูนชั้นบางถึงหนา มีการโผล่ปรากฏตามธรรมชาติ และมีความยาวรวมประมาณ 50 เมตร ทิศทางการวางตัวของชั้นหิน (Strike) ประมาณ 100 องศา เอียงเทไปทางทิศใต้ (Dip direction) ด้วยมุมการเอียงเท (Dip angle) ประมาณ 75 องศา ตำแหน่งละติจูด 14° 36' 52" ลองจิจูด 101° 21' 02" ลักษณะเนื้อหินเป็นหินปูนสีเทาเข้มเนื้อละเอียด พบซากดึกดำบรรพ์ในชั้นหิน เช่น หอยอะลาโทคอนคิต ฟิวซูลินิด ปะการัง แบรคิโอพอด และหอยฝาเดียว เป็นต้น

หน้าตัดชั้นหินศาลเจ้าพ่อบุญลือ (SBL) (Figure 2) ประกอบด้วยชั้นหินปูนมีลักษณะการโผล่ปรากฏของตามธรรมชาติ ความยาวรวมประมาณ 40 เมตร ทิศทางการวางตัว

ของชั้นหินประมาณ 95 องศา เอียงเทไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ด้วยมุมการเอียงเทประมาณ 70 องศา ตำแหน่งละติจูด 14° 38' 43" ลองจิจูด 101° 21' 20" ลักษณะเนื้อหินมีสีเทาเข้มเนื้อ

ละเอียด พบซากดึกดำบรรพ์สะสมตัวในชั้นหิน เช่น ฟิวซูลินิต ปะการัง และแบรคิโอพอด เป็นต้น

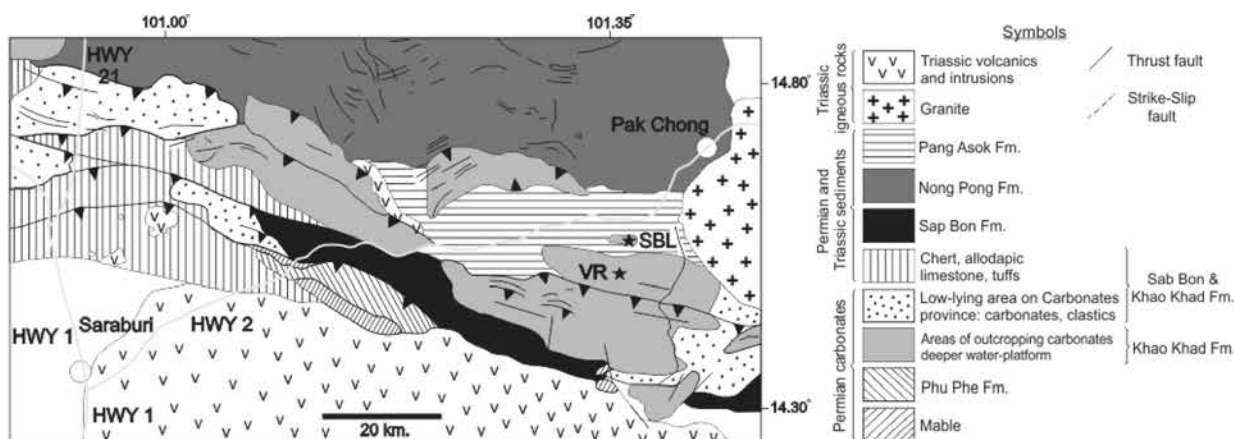


Figure 1 Geological map of the Saraburi-Pak Chong district in the southern part of the Loei-Phetchabun Foldbelt based on Arboit *et al.* (2016). The VR and SBL sections are located in the Khao Khad Formation.

วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษาหินปูนจากสองหน้าตัดชั้นหินในพื้นที่บ้านวชิราลงกรณ์ ตำบลหนองน้ำแดง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และเก็บตัวอย่างหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์จำนวนทั้งหมด 25 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็น หน้าตัดชั้นหินบ้านวชิราลงกรณ์ 14 ตัวอย่าง (VR1-5; VVR1-9) และหน้าตัดชั้นหินศาลเจ้าพ่อบุญลือ 11 ตัวอย่าง (SLB1-11) โดยนำมาศึกษาภายในห้องปฏิบัติการตามวิธีการของ Green (2001) ซึ่งประกอบด้วย

การทำแผ่นหินขัดบางเพื่อศึกษาซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิต โดยนำตัวอย่างหินที่เก็บมาจากการสำรวจภาคสนามไปเตรียมในห้องปฏิบัติการตัดหินเพื่อจัดทำแผ่นหินขัดบางโดยใช้เครื่อง RF 14-16 Slab Saw, SF-8 Trim Saw, Thin-Section Grinder และ Thin-Section Machine ตามลำดับ และการศึกษาอนุกรมวิธานซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิต การศึกษาชุดลักษณะทางจุลภาคและการระบุซากดึกดำบรรพ์อื่นๆ ที่พบร่วม

ผลการศึกษา

อนุกรมวิธานของซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิตนั้นพิจารณาเบื้องต้นตามหลักของ Sundharovat and Nogami

(1972), Treatise on Invertebrate Paleontology, Part C (Moore, 1964) และจากรายงานการตีพิมพ์อื่นๆ แต่เนื่องจากตัวอย่างไม่สมบูรณ์และแตกหัก จึงพิจารณาในชั้นสกุลเท่านั้น โดยผลการศึกษาพบว่ามีฟิวซูลินิตในพื้นที่หน้าตัดชั้นหินบ้านวชิราลงกรณ์อยู่อย่างน้อย 7 สกุล ได้แก่ *Afghanella*, *Nankinella*, *Neoschwagerina*, *Parafusulina*, *Pseudodoliolina*, *Staffella* และ *Verbeekina* (Plate 1-3) และพื้นที่หน้าตัดชั้นหินศาลเจ้าพ่อบุญลืออยู่อย่างน้อย 6 สกุล ได้แก่ *Afghanella*, *Nankinella*, *Neoschwagerina*, *Parafusulina*, *Staffella* และ *Verbeekina* (Plate 1-3) นอกจากนี้พบซากดึกดำบรรพ์ฟอรัมมิเนเฟอร์ขนาดเล็กที่ไม่ใช่ฟิวซูลินิต อย่างน้อย 18 สกุล ได้แก่ *Climacamma sp.*, *Globivalvulina sp.*, *Eotuberitina sp.*, *Tuberitina sp.*, *Glomospira sp.*, *Umbellina sp.*, *Vicinespheara sp.*, *Stipulina sp.*, *Earlandia sp.*, *Nodosinelloides sp.*, *Pachyphloia sp.*, *Ichtyolaria sp.*, *Tetrataxis sp.*, *Protonodosaria sp.*, *Fronidina sp.*, *Calcitornella sp.*, *Neodiscus? sp.* และ *Schubertella? sp.* (Plate 4) ซากดึกดำบรรพ์สาหร่ายอย่างน้อย 4 สกุล ได้แก่ *Mizzia sp.*, *Ungdarella sp.*, *Tubiphytes sp.* และ *Pseudovermiporella sp.* และซากดึกดำบรรพ์อื่น ได้แก่ หอยฝาคู่จำพวกอะลาโทคอนคิต หอยฝาเดี่ยว ปะการัง หอยตะเกียง และพลับพลึงทะเล เป็นต้น



Figure 2 Field photographs of the study area in the southern part of the Loei-Phetchabun Foldbelt. A-E: VR section; F-I: SBL section.

Class SARCODINA

Order FORAMINIFERIDA Eichwald, 1830

Suborder FUSULININA Wedekind, 1937

Superfamily FUSULINOIDEA von Moller, 1879

Family Neoschwagerinidae Dunbar and Condra, 1928

Genus *Afghanella* Thompson, 1946Type species: *Afghanella schencki* Thompson, 1946***Afghanella* sp.**

Plate 1 Figure 1-6

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกลมรี (Discoid) และแบบกระสวย (Fusiform) การขดวนของเปลือก (Volution) 8-10 วง ห้องแรกหรือจุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีขนาดปานกลาง ผนัง (Spirotheca) หนาปานกลางถึงหนา ด้าน Sagittal เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2 มิลลิเมตร ผนังกันห้อง (Septa) หนาถึงหนามากและยาว ด้าน Axial กว้างประมาณ 2 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 3.2 มิลลิเมตร พบผนังกันห้องแบบทรานสเวิร์ส ชั้นปฐมภูมิ (Primary transverse septula) และผนังกันห้องแบบทรานสเวิร์สชั้นทุติยภูมิ (secondary transverse septula) บาง

ตัวอย่างมีลักษณะรูปร่าง การขดวนของเปลือก (Volution) ผนัง (Spirotheca) คล้ายคลึงกับ *Afghanella ozawai* Hazawa, 1954 พบที่ประเทศญี่ปุ่น รายงานใน Sundharovat and Nogami (1972) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian) และ *Afghanella* sp. พบที่จังหวัดสระบุรี โดย Dawson and Racey (1993) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR1, VR2, VR5 และ SBL1) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Superfamily Fusulinacea von Möller, 1878

Family Staffellidae A.D. Miklokh-Moklay, 1949

Genus *Nankinella* Lee, 1933

Type species: *Staffella discoides* Lee, 1931 OD; *Nankinella* Lee, 1934

***Nankinella* sp.**

Plate 1 Figure 7-14; Plate 2 Figure 1, 2; Plate 3 Figure 3

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกลมรี (Discoid) การขดวนของเปลือก (Volution) 7-8 วง ห้องแรกหรือ

จุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีทรงกลมขนาดใหญ่ ทั้งนี้วงนอกสุดมีรูปร่างโค้งมนตลอดจนถึงปลายสุด (Polar) ทั้งสองด้าน ผนัง (Spirotheca) บางถึงหนามาก ผนังกันห้อง (Septa) บางถึงหนามากและยาว กว้างประมาณ 1-1.5 มิลลิเมตร ยาวประมาณ 2.5 มิลลิเมตร

ตัวอย่างมีลักษณะรูปร่าง การขดวนของเปลือก (Volution) ผนัง (Spirotheca) ผนังกันห้อง (Septa) คล้ายคลึงกับ *Nankinella* sp. พบที่จังหวัดสระบุรี โดย Dawson and Racey (1993) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR1, VR2, VR4, VR5, SBL1 และ SBL2) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Family Neoschwagerinidae Dunbar and Condra, 1928

Genus *Neoschwagerina* Yabe, 1903

Type species: *Schwagerina craticulifera* Schwager, 1883

***Neoschwagerina* sp.**

Plate 2 Figure 3, 4, 6

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกลมรี (Discoid) และกระสวย (Fusiform) ขนาดใหญ่ การขดวนของเปลือก (Volution) มีจำนวนมาก ประมาณ 12-14 วง ซึ่งมีความสูงของวงต่ำ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-3.5 มิลลิเมตร ห้องแรกหรือจุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีขนาดใหญ่ ผนัง (Spirotheca) บาง ผนังกันห้อง (Septula) บางและมีจำนวนมาก และพบตลอดโลชัน

ตัวอย่างมีลักษณะคล้ายคลึงกับ *Neoschwagerina* sp. พบที่จังหวัดสระบุรี โดย Dawson and Racey (1993) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian), *Neoschwagerina aff. Neoschwagerina magalitae* Deprat. พบที่ตอนเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ โดย Leven and Mackie (1997) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Late Carboniferous-Middle Permian) และ *Neoschwagerina?* sp. พบที่จังหวัดเฮียวโงะ ประเทศญี่ปุ่น โดย Kobayashi, Furutani and Handa (2007) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR2, VR4, SBL1, SBL2 และ SBL3) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Family Schwagerinidae Dunbar and Henbest, 1930

Genus *Parafusulina* Dunbar and Skinner, 1931

Type species: *Parafusulina wordensis* Dunbar and Skinner, 1931

***Parafusulina* sp.**

Plate 2 Figure 5

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกระสวย (Fusiform) กว้าง 1.5-5 มิลลิเมตร ยาว 1.8-8.7 มิลลิเมตร การขดวนของเปลือก (Volution) 12 วง การขดวนของเปลือกมีขนาดใหญ่ขึ้นจากวงในสู่วงนอก ห้องแรกหรือจุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีขนาดใหญ่ ซึ่งจุดศูนย์กลางมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 มิลลิเมตร ผนัง (Spirotheca) หนา มีลักษณะโค้งเว้าคล้ายถุง ผนังกันห้อง (Septa) มีขนาดปานกลาง ด้าน Axial ผนังกันห้องมีการขดตัวหนาแน่น (Septal Fluting) ตัวอย่างบางตัวอย่างพบโคมาตาหนาแน่น (Axial Filling) โดยเฉพาะบริเวณขั้ว (Polar) ของเปลือก

ตัวอย่างมีลักษณะคล้ายคลึง โดยเฉพาะลักษณะโคมาตาที่ขดตัวหนาแน่น (Axial Filling) บริเวณขั้วกับ *Parafusulina* sp. พบที่จังหวัดสระบุรี โดย Dawson and Racey (1993) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน (Permian), พบในหมวดหิน Izuru และ Nabeyama พื้นที่ Kuza ประเทศญี่ปุ่น โดย Kobayashi (2006) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian) และพบที่จังหวัดเฮียวโงะ ประเทศญี่ปุ่น โดย Kobayashi, Furutani and Handa (2007) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR2, SBL1, SBL2 และ SBL3) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Family Verbeekinidae Staff and Wedekind, 1910
Genus *Pseudodoliolina* Yabe and Hanzawa, 1932

Type species: *Pseudodoliolina ozawai* Yabe and Hanzawa, 1932

***Pseudodoliolina* sp.**

Plate 2 Figure 7-12; Plate 3 Figure 1

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกลมรี (Discoid) กว้าง 1.5-2.5 มิลลิเมตร ยาว 2.7-3.5 มิลลิเมตร การขดวนของเปลือก (Volution) 7-8 วง โดยระยะห่างของ

แต่ละวง เกือบเท่ากัน ห้องแรกหรือจุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีขนาดปานกลาง ผนัง (Spirotheca) หนา ผนังกันห้อง (Septa) หนาและห่างกัน พาราโคมาตา (Parachomata) หนา ตัวอย่างมีลักษณะคล้ายคลึงกับ *Pseudodoliolina ozawai* Yabe and Hanzawa, 1932 โดย Yabe และ Hanzawa (1932) พบที่ประเทศญี่ปุ่น รายงานใน Sundharovat and Nogami (1972) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น (Artinskian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR1, VR2 และ VR4) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Family Staffellidae Miklukho-Maklay, 1949

Genus *Staffella* Ozawa, 1925

Type species: *Fusulina sphaerica* Abich, 1859

***Staffella* sp.**

Plate 3 Figure 2, 4

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างกลมรี (Discoid) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.8-2.8 มิลลิเมตร การขดวนของเปลือก (Volution) 6-8 โวลูชัน โดย 1-3 วงแรกมีขนาดเล็กและวงถัดมาขยายความสูงขึ้น ซึ่งแต่ละวงมีขนาดเท่า ๆ กัน ห้องแรกหรือจุดศูนย์กลาง (Proloculus) มีขนาดเล็ก ผนัง (Spirotheca) บาง ไม่พบผนังกันห้อง (Septa) พบโคมาตา (Chomata) บ้างเล็กน้อย

ตัวอย่างมีลักษณะคล้ายคลึงกับ *Staffella mollerii* Ozawa, 1925 โดย Ozawa (1925) พบบริเวณ Nagato ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งรายงานอายุของกลุ่มบรรพชีวินฟิวซิลินิดในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian)

สถานที่พบ และช่วงอายุ: สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR1, VR5 และ SBL2) ยุคเพอร์เมียน (Permian)

Family Verbeekinidae Staff and Wedekind, 1910

Genus *Verbeekina* Staff, 1909

Type species: *Fusulina verbeeki* Geinitz, 1876

***Verbeekina* sp.**

Plate 3 Figure 5-7

ลักษณะสัณฐานวิทยา: เปลือกมีรูปร่างทรงกลม (Spherical) ขนาดใหญ่ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร แต่ละวงค่อนข้างสูง การขดวนของเปลือก (Volution) 7-8 โวลูชัน ผนัง (Spirotheca) บาง ผนังกันห้อง (Septa) บางและยาวไม่ขดตัว วางตัวสม่ำเสมอตลอดวง

ตัวอย่างมีลักษณะรูปร่าง การขดวนของเปลือก (Volution) ผนัก (Spirotheca) ผนักกั้นห้อง (Septa) คล้ายคลึงกับ *Verbeekina verbeeki* Geinitz and Marek, 1876 พบที่ประเทศกัมพูชา รายงานใน Sundharovat and Nogami (1972), พบที่จังหวัดสระบุรี โดย Dawson and Racey (1993)

และพบบริเวณ Nagato ประเทศญี่ปุ่น โดย Ozawa (1925) ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian) **สถานที่พบ และช่วงอายุ:** สถานที่พบบริเวณพื้นที่ศึกษา (VR2, VR4, SBL1, SBL2, SBL3, SBL4 และ SBL9) ยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian)

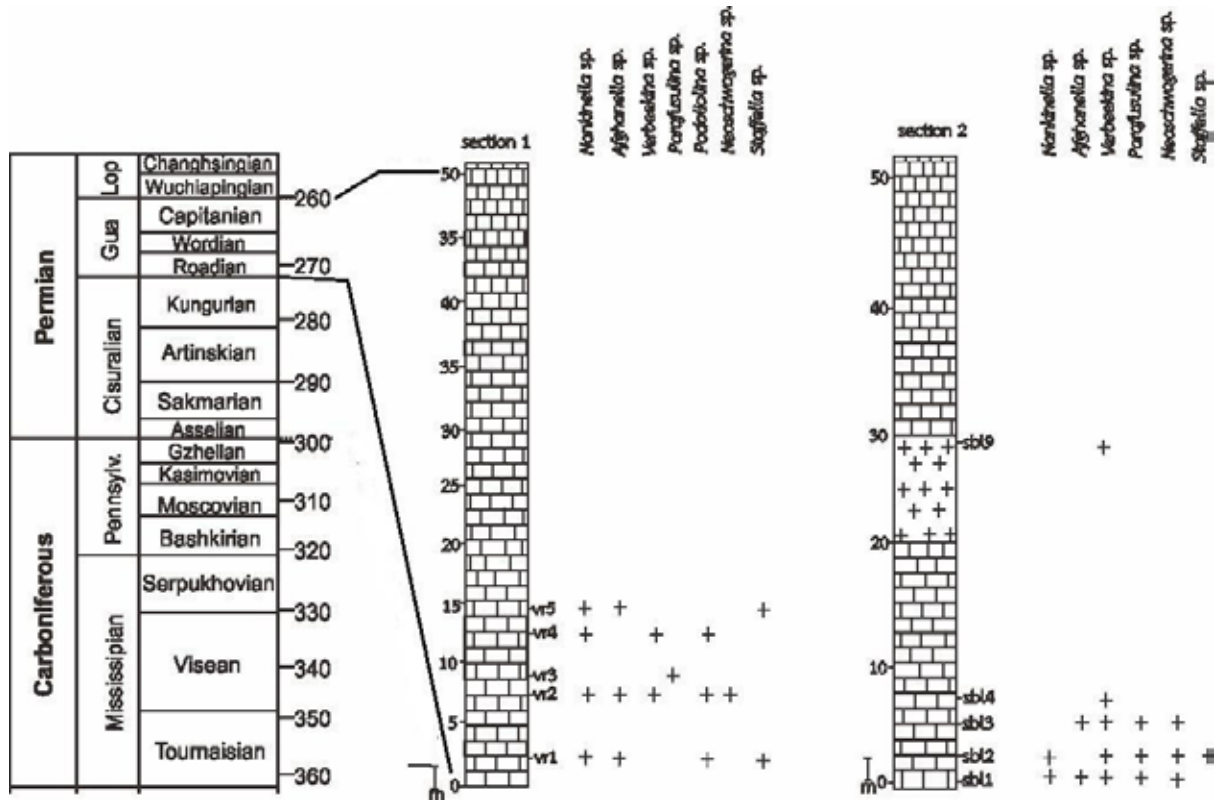


Figure 3 Stratigraphic columns showing sampling interval of limestones. The assemblage of fusulinid indicate Middle Permian age of both studied sections (VR and SBL).

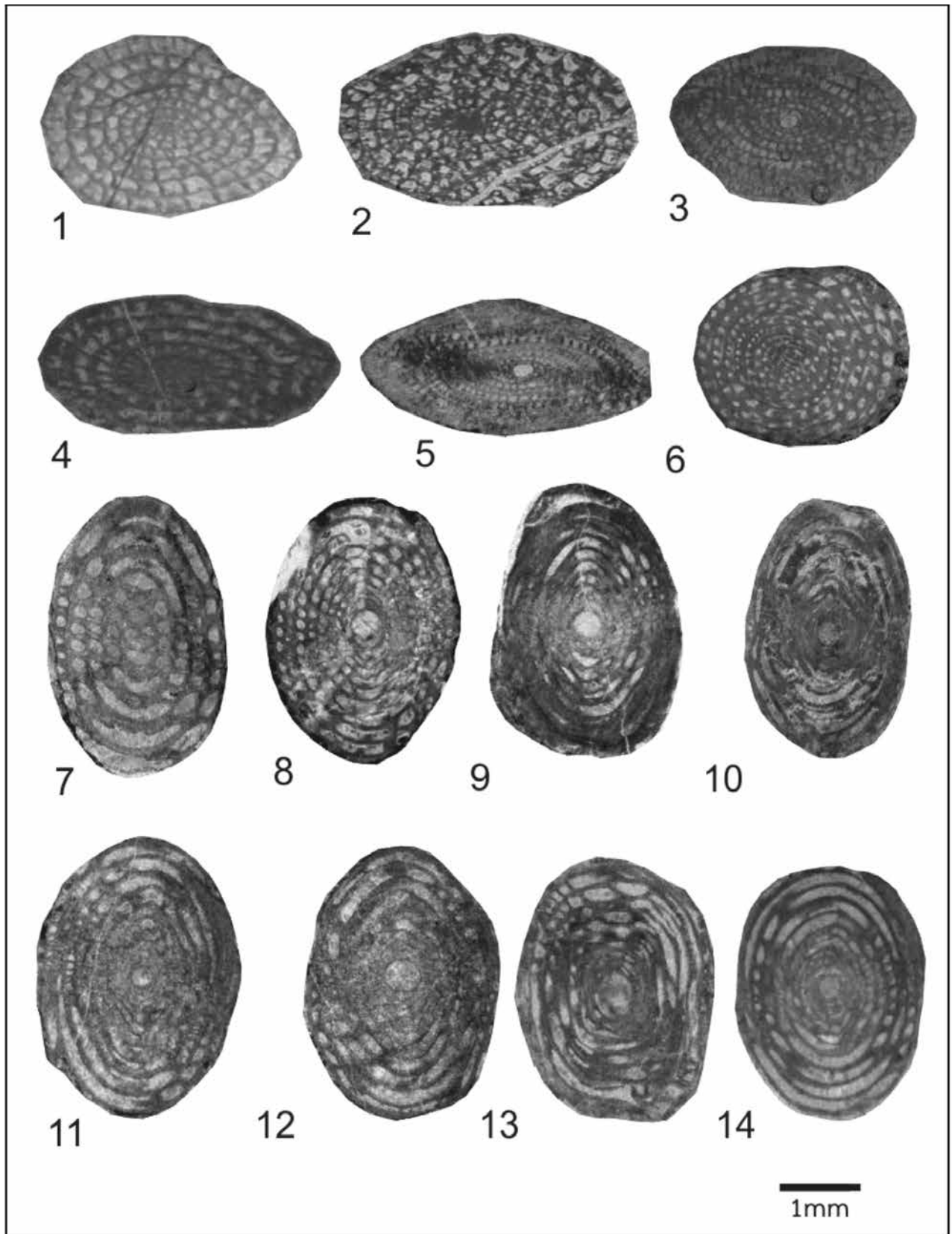


Plate 1 Photomicrographs of fusulinids from the study area. 1-4: axial section, 1-6=*Afghanella* (VR1, VR2, VR5 and SBL1), 7-14=*Nankinella* (VR1, VR2, VR4, VR5, SBL1 and SBL2) (scale bar = 1 mm.)

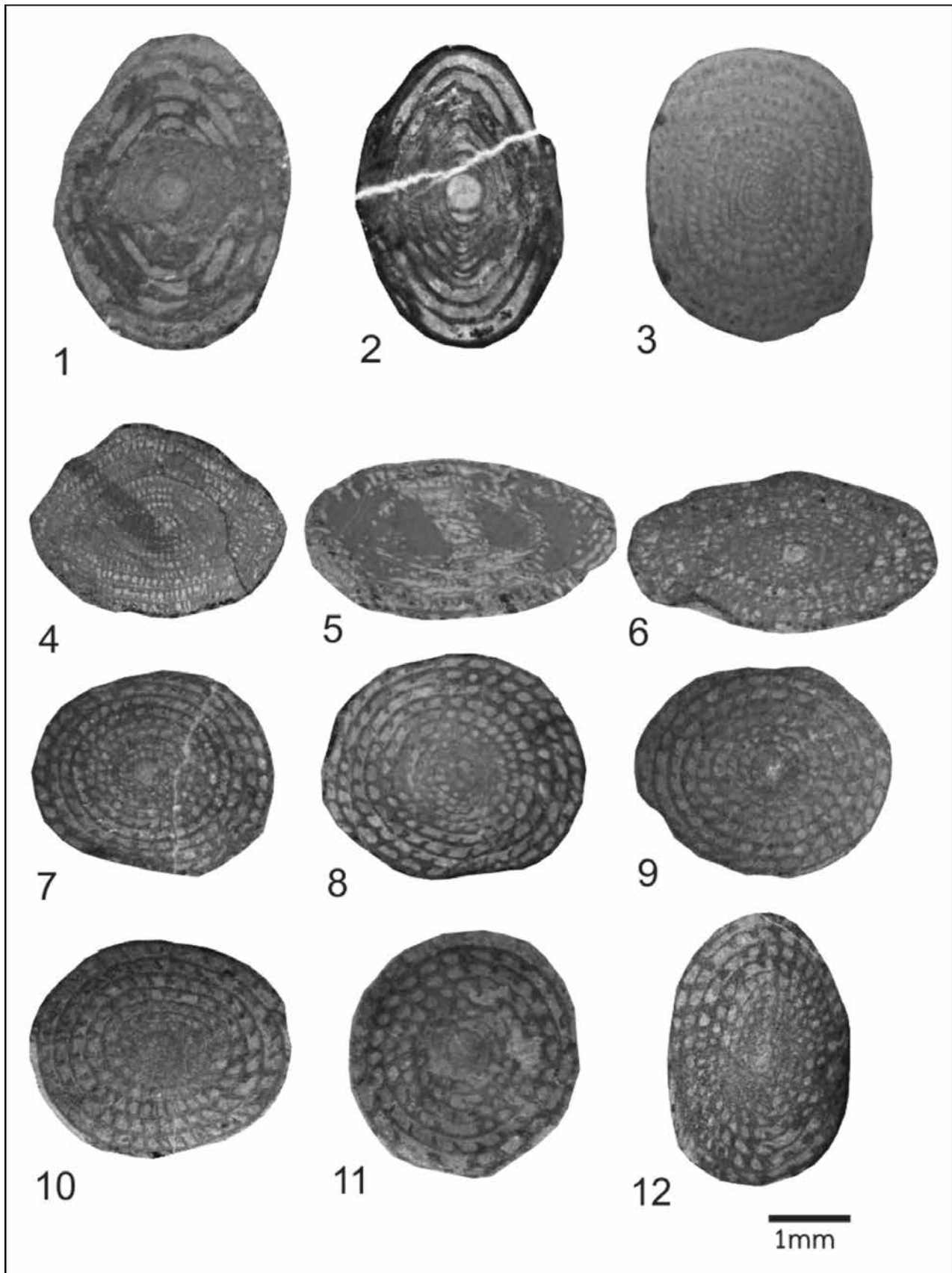


Plate 2 Photomicrographs of fusulinids from the study area. 1-2, 4-9, 11: axial section; 3, 10, 12: sagittal section; 1-2=*Nankinella* (VR1, VR2, VR4, VR5, SBL1 and SBL2); 3, 4, 6=*Neoschwagerina* (VR2, VR4, SBL1, SBL2 and SBL3); 5=*Parafusulina* (VR2, SBL1, SBL2 and SBL3); 7-12=*Pseudodoliolina* (VR1, VR2 and VR4) (scale bar = 1 mm.)

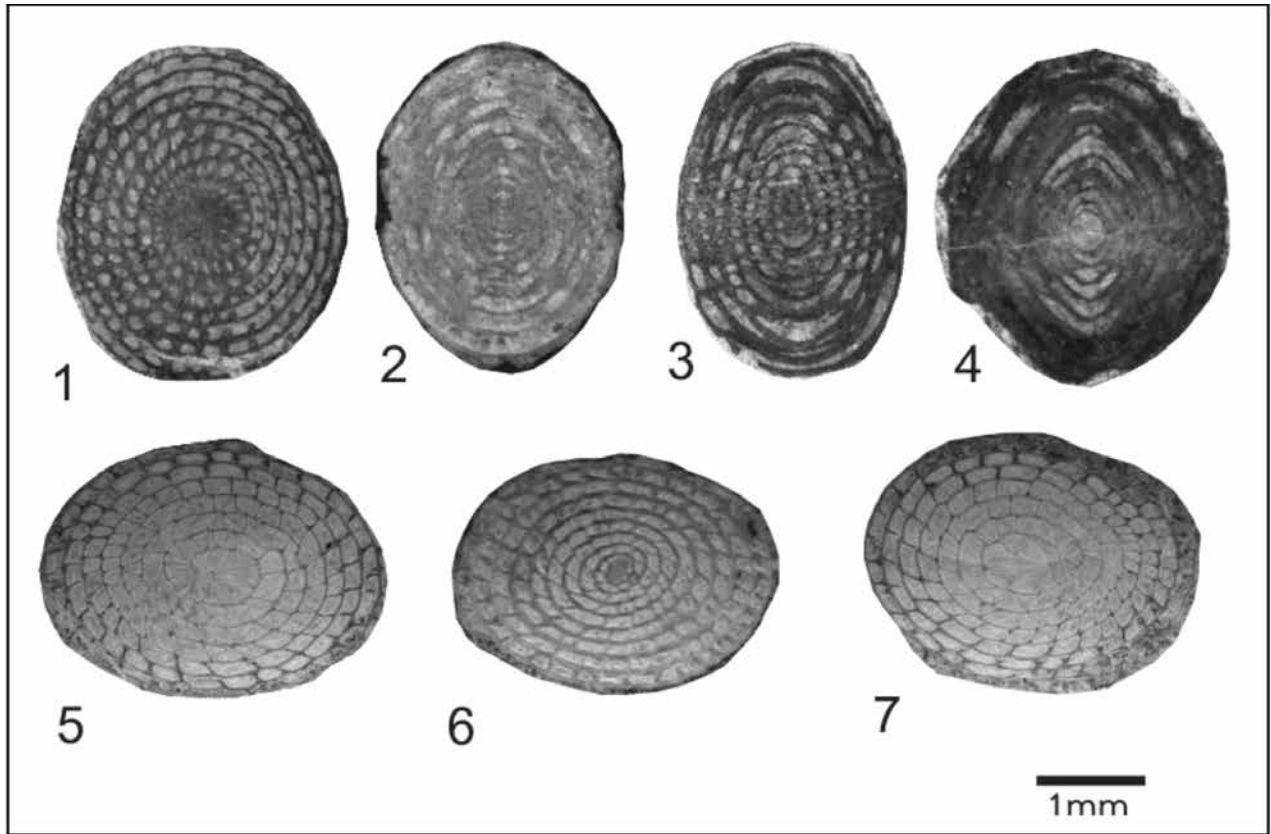


Plate 3 Photomicrographs of fusulinids from the study area. 2-4: axial section; 1, 5-7: sagittal section; 1=*Pseudodoliolina* (VR1, VR2 and VR4); 2, 4=*Staffella* (VR1, VR5 and SBL2); 3=*Nankinella* (VR1, VR2, VR4, VR5, SBL1 and SBL2); 5-7=*Verbeekina* (VR2, VR4, SBL1, SBL2, SBL3, SBL4 and SBL9) (scale bar = 1 mm.)

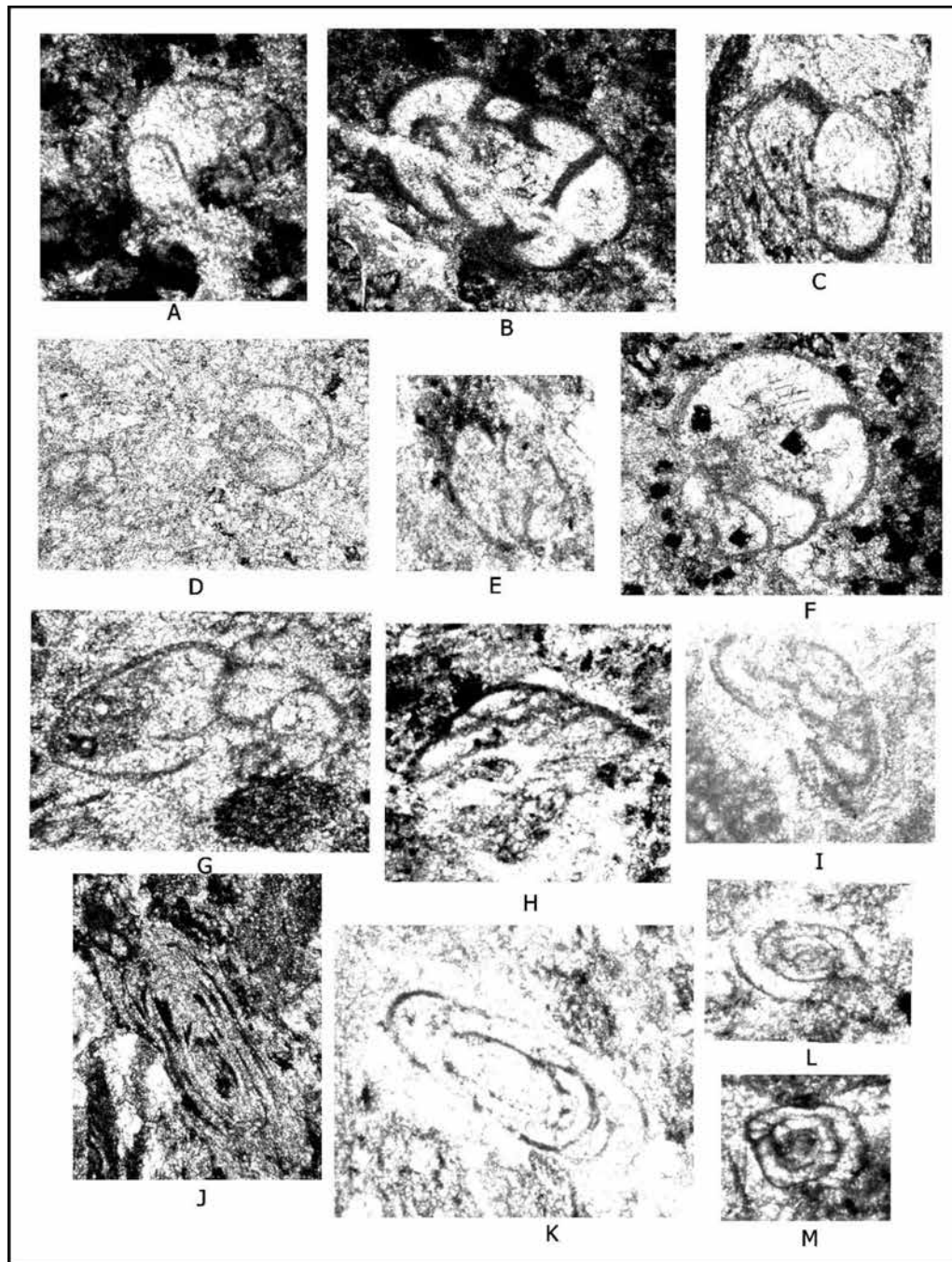


Plate 4 Photomicrographs of smaller foraminifers. A-G=*Globivalvulina* sp., H,I= *Tetrataxis* sp., J,K= ?*Neodiscus* sp., L,M= ?*Schubertella* sp.

ผลการวิเคราะห์ชุดลักษณะระดับจุลภาค (Microfacies analysis)

ตัวอย่างหินปูนที่เก็บมาจากจุดที่ทำการสำรวจ ได้ถูกนำไปตัดและจัดเตรียมเป็นแผ่นหินบาง (thin section) เพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์ชุดลักษณะระดับจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์ จากการศึกษาแผ่นหินบางครั้งนี้สามารถจำแนกชุดลักษณะระดับจุลภาคยึดตามหลักการจำแนกชนิดของหินปูนโดย Dunham (1972) ออกเป็น 3 ชุดลักษณะหลัก โดย (Figures 4, 5) และหลักการจำแนกชนิดของหินปูนโดย Folk (1959) ด้วย ในกรณีวิเคราะห์ครั้งนี้ทำการประเมินปริมาณองค์ประกอบ allochem โดยอาศัย Comparison charts for visual percentage estimation developed for limestone โดย Baccelle and Bosellini (1965)

ชุดลักษณะหลักที่ 1 Fusuline wackestone

ชุดลักษณะนี้พบในชั้นหินปูนมีสีหินสดเป็นสีเทาเข้ม สีผิวเป็นเทาจางและหากผุมากพบเป็นสีน้ำตาลขาว พบฟิวซูลินิดจำนวนมากและบางช่วงพบการเรียงตัวของฟิวซูลินิดที่มีรูปร่างแบบฟิวซีฟอร์มขนาดใกล้เคียงกับแนวชั้นหิน พบเปลือกหอยอะลาโทคอนคิตจำนวนมากและพบแบคทีเรียฟอสเฟตทั่วไป

ผลการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่ามี allochem กระจายตัวอยู่ประมาณ 40-50 เปอร์เซ็นต์ในเนื้อหิน โดยพื้นที่ส่วนใหญ่เป็น micrite โดย allochem ที่พบนั้นส่วนใหญ่เป็นฟิวซูลินิดและ smaller foraminifer กระจายตัวรวมกันกับเศษแตกหักของ allochem อื่นๆ โดยซากฟิวซูลินิดนั้นอยู่ในสภาพที่ค่อนข้างดี แต่มีการแตกหักบ้างเล็กน้อยตามวงนอกของ test (abraded outer volution) พื้นที่ส่วนมากเป็น micrite สีดำเข้ม และพบตะกอนขนาดเล็กวางตัวอยู่บนเศษแตกหักขนาดใหญ่กว่า (geopetal structure) ส่วนในตัวอย่างอื่นๆพบเป็นสีเทา จากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Dunham (1962) หินปูนชั้นนี้สามารถจำแนกเป็น Fusuline wackestone และจากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Folk (1959) หินปูนนี้สามารถจำแนกเป็น Sparse biomicrite

ชุดลักษณะหลักที่ 2 Fusuline packstone

ผลการสำรวจในภาคสนามพบว่าชุดลักษณะนี้กระจายตัวโดยทั่วไป ลักษณะเด่นในภาคสนามพบฟิวซูลินิดกระจายตัวค่อนข้างหนาแน่นในเนื้อหินปูน สีผิวสดของหินปูนเป็นสีเทาเข้ม ซากดึกดำบรรพ์อื่นที่พบร่วม เช่น หอยกลุ่มอะลาโทคอนคิตซึ่งพบในสองรูปแบบหลักคือมีการวางตัวแบบกระจายตัวกันและแบบที่สองมีการวางตัวซ้อนทับกันแน่นของเปลือกหอย โดยทั้งสองรูปแบบนั้นส่วนใหญ่แล้วพบหอยทั้งสองฝาในตำแหน่งชิดกันตามธรรมชาติ โดยพบชั้นที่มีอะลาโทคอนคิตทั้งหมดเจ็ดชั้นหินที่อยู่ในชุดลักษณะนี้ โดยมีความหนาแน่นของเปลือกหอยในชั้นหินมากถึงปานกลาง พบแบคทีเรียฟอสเฟตและปะการังบ้างตลอดแนวการสำรวจ โดยปะการังที่พบส่วนมากเป็นปะการังกลุ่มรูโกส (massive rugose coral)

การศึกษาแผ่นหินบางภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า มี allochem ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด พบกระจายอย่างไม่เป็นระเบียบและมีการคัดขนาดที่ไม่ดี ส่วนใหญ่ allochem พบเป็นฟิวซูลินิดกระจายตัวอยู่ร่วมกับเศษแตกหักของซากดึกดำบรรพ์อื่นๆ จากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Dunham (1962) หินปูนชั้นนี้สามารถจำแนกเป็น Fusuline packstone และจากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Folk (1959) หินปูนนี้สามารถจำแนกเป็น Packed biomicrite

ชุดลักษณะหลักที่ 3 Bioclastic wackestone

ผลการสำรวจภาคสนามพบชุดลักษณะนี้มีสีผิวสดเป็นสีเทาเข้ม พบสลับกับชุดลักษณะอื่นตลอดแนวการสำรวจ ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในชั้นหินประกอบด้วยอะลาโทคอนคิตและฟิวซูลินิด และซากดึกดำบรรพ์อื่นๆ

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า มี allochem อยู่ในช่วงประมาณ 20-30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด โดยส่วนใหญ่เป็นฟิวซูลินิดกระจายตัวอยู่ร่วมกับเศษแตกหักของ allochem อื่นๆจากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Dunham (1962) หินปูนชั้นนี้สามารถจำแนกเป็น bioclastic wackestone และจากหลักการจำแนกหินคาร์บอเนตของ Folk (1959) หินปูนนี้สามารถจำแนกเป็น Sparse biomicrite

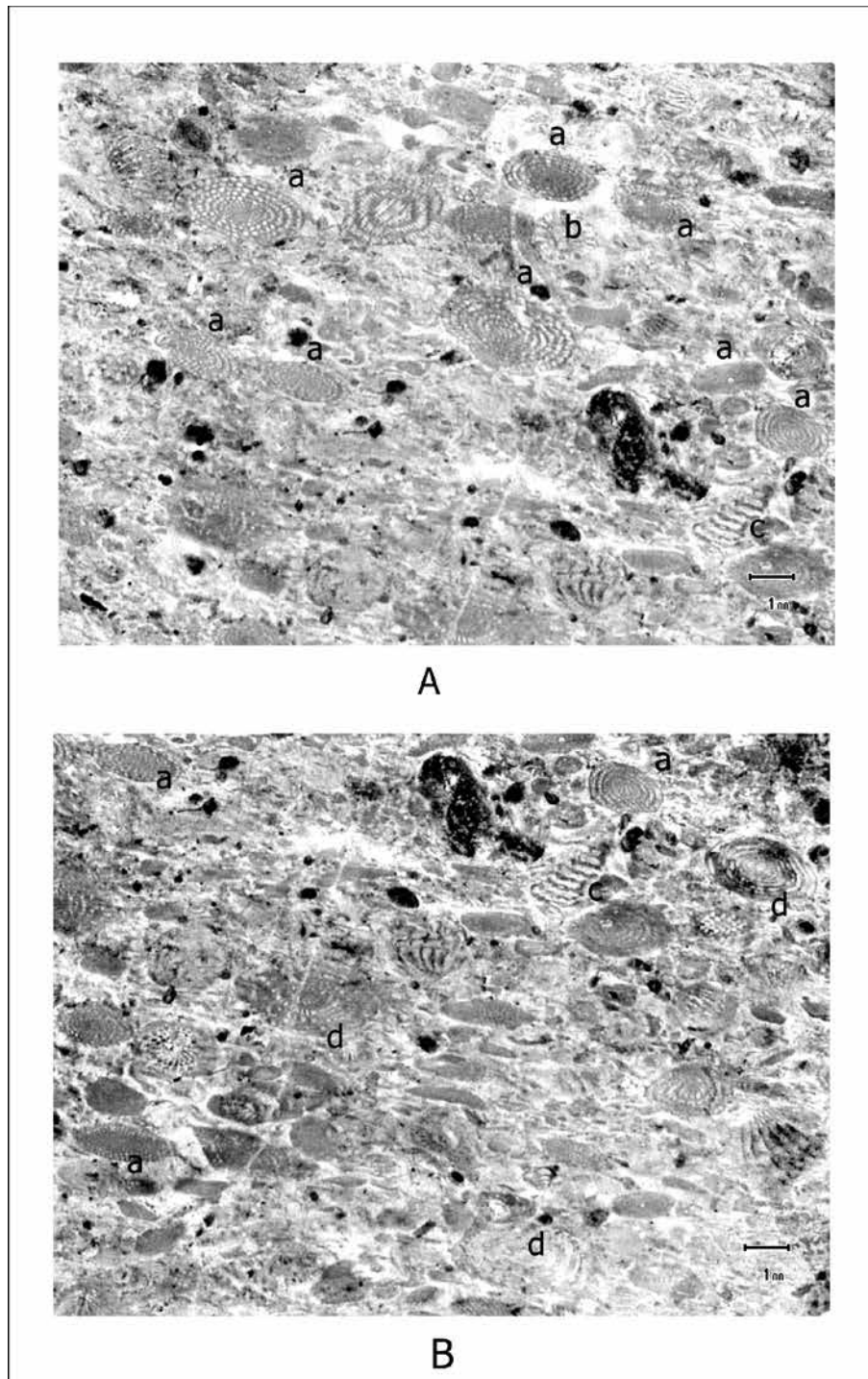


Figure 4 A and B: photomicrographs of fusuline wackestone; a=*Afghanella* sp. b=*Mizzia* sp., c=*Climacammina* sp., d=*Nankinella* sp. B: magnification of A.

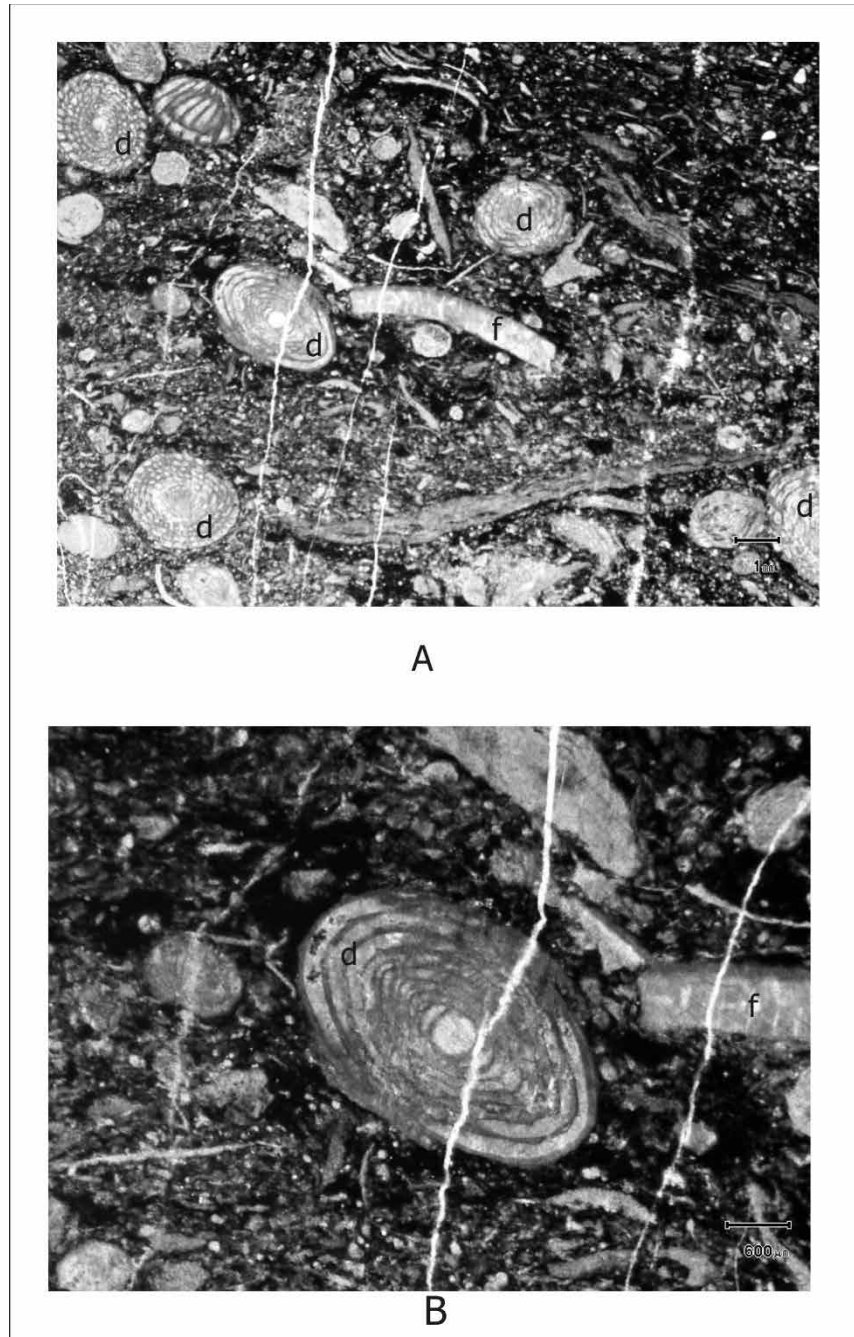


Figure 5 A: photomicrograph of bioclastic wackestone; d=*Nankinella* sp., f=alatochonchid fragment; B: magnification of A.

อภิปรายผลและสรุปผล

จากการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดจากทั้ง 2 หน้าตัดชั้นหินในบริเวณพื้นที่เส้นทางวัดบ้านวชิราลงกรณ์วรารามวรวิหาร พบว่ามีฟิวซูลินิดในพื้นที่ศึกษาอยู่ อย่างน้อย 7 สกุล ได้แก่ *Afghanella*, *Nankinella*, *Neoschwagerina*, *Parafusulina*, *Pseudodoliolina*, *Staffella* และ *Verbeekina* ซึ่งทั้ง 2 หน้าตัดชั้นหินพบฟิวซูลินิดมีความคล้ายคลึงกันและเป็นกลุ่มสกุลเดียวกัน ประกอบด้วย 6 สกุล ได้แก่ *Afghanella*, *Nankinella*,

Neoschwagerina, *Parafusulina*, *Staffella* และ *Verbeekina* อย่างต่อเนื่องในหน้าตัดชั้นหินบ้านวชิราลงกรณ์ (VR1-VR5) ถึงหน้าตัดชั้นหินศาลเจ้าพ่อบุญลี้อ (SBL1-SBL11) ยกเว้นสกุล *Pseudodoliolina* ซึ่งพบเฉพาะหน้าตัดชั้นหินบ้านวชิราลงกรณ์

ซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดจากการศึกษารังนี้ มีรูปร่างคล้ายคลึงกับฟิวซูลินิดในเขตทางตอนเหนือของประเทศนิวซีแลนด์ ตอนกลางและตอนใต้ของประเทศญี่ปุ่น ประเทศกัมพูชา และตอนกลางของประเทศไทย จากการศึกษานุกรม

วิชาของฟิวซูลินิดพบว่าส่วนใหญ่ฟิวซูลินิดสกุลเหล่านี้ปรากฏช่วงชีวิตในยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Middle Permian) ผลการศึกษาชุดลักษณะทางจุลภาค ซากดึกดำบรรพ์ฟิวซูลินิดและซากดึกดำบรรพ์อื่นที่พบร่วมกันทำให้สามารถตีความได้ว่าสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนเป็นลานทะเลตื้นคาร์บอเนต (shallow-marine carbonate platform) และอยู่ในเขตร้อน (Tropical zone) เนื่องจากซากดึกดำบรรพ์ที่พบเหล่านี้เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในทะเล ส่วนตะกอนที่พบประกอบไปด้วย carbonate wackestone และ packstone ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตะกอนขนาดละเอียดประกอบเป็นพื้นที่องทะเลที่ค่อนข้างอ่อนนุ่มสะสมตัวในพื้นที่ได้ฐานคลื่นปกติ (fair-weather wave base) ซึ่ง allochem มีการัดขนาดไม่ถี่และในบางครั้งมีการรบกวนของคลื่นน้ำที่แรงกว่าเช่นพายุ (occasional storm event) ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนพายุ และในภาคสนามพบการเรียงตัวของฟิวซูลินิดในบางชั้นแสดงถึงการพัดพาของคลื่นที่แรงกว่าคลื่นในสภาพอากาศปกติ (fusuline-storm sheet)

หินปูนยุคเพอร์เมียนตอนกลางในพื้นที่ศึกษาที่จัดอยู่ในหมวดหินเขาขาด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนบริเวณตอนกลางของประเทศไทยของจพันธ์ จงลักษณ์ณี และคณะ (2553) ซึ่งบ่งชี้ว่าหมวดหินเขาขาดมีการสะสมของตะกอนแบบลานทะเลตื้น และ Wielchowsky and Young (1985) ซึ่งบ่งชี้ว่าบริเวณตะวันตกของแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์มีสภาพแวดล้อมบรรพกาลแบบลานทะเลตื้นอย่างไรก็ตามหน้าตัดชั้นหินศาลเจ้าพ่อบุญล้อมนั้นไม่ปรากฏในพื้นที่ของหินดินดาน ซึ่งจัดอยู่ในหมวดหินปางอโศก ซึ่งมีสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนแบบทะเลลึก (deep marine environment) (Figure 1) สามารถอธิบายได้ว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ภายหลังการสะสมตัว เช่น การเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนย้อน (trust fault)

เอกสารอ้างอิง

1. Kasuya A., Isozaki Y. and Igo H. Constraining Paleolatitude of a Biogeographic boundary in mid-Panthalassa: Fusuline province shift on the Late Guadalupian (Permian) migrating seamount. *Gondwana Research*. 2012;21, 611-623.
2. Armstrong SH. and Brasier. *Microfossil*. 2nd ed. United Kingdom: Blackwell Publishing; 2005. P. 249-279. *Geology and Mineral Resources Development of the Northeastern Thailand; Khon Kaen, Thailand.*
3. Khon Kaen: Khon University; 1985. P. 41-56.
3. กรมทรัพยากรธรณี. ธรณีวิทยาประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2550. 2-6, 17-26, 124-138.
4. Wielchowsky CC. and Young JD. Regional facies variation in Permian rocks of the Phetchabun Fold and Thrust Belt, Thailand. In: Thanvarachorn P., Hokjaroen S. and Youngme W., editors. *Proceedings on Schwagerinid, neoschwagerinid, and veebeekid fusulinoideans*. *Journal Paleontological Research*. 2006;10(1): 37-59.
5. Hinthong C. Upper Paleozoic System, the studies on the Permo-Carboniferous Central Plain and Lower Phetchabun Ranges. Unpublished Report. Geological Survey Division. Bangkok : Department of Mineral Resources; 1985.
6. Arboit F., Collins AS, Morley CK, King R and Amrouch. Detrital zircon analysis of the southwest Indochina terrane, central Thailand: Unravelling the Indosinian orogeny. *GSA Bulletin*. 2016;128(5-6).
7. Green OR. *A Manual of Practical Laboratory and Field Techniques in Palaeobiology*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 2001. P. 152-153, 188-193, 321-324.
8. Sundharovat S. and Nogami Y. Key to the Selected Genera of Fusuline. *The Southeast Asian Studies*. 1972;10(3): 433-450.
9. Dawson o. and Racey A. Fusuline-Calcareous algal biofacies of the Permian Ratburi Limestone, Saraburi, Central Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*. 1993;8, 49-65.
10. Leven EJ and Grant-Mackie JA. Permian fusulinid Foraminifera from Wherowhero point, Orua Bay, Northland, New Zealand. *Journal of Geology and Geophysics*. 1997, 40.
11. Kobayashi F., Furutani H. Handa K. Early Permian (Cisuralian) fusulinoideans from Hijima, west of Yamasaki, Hyogo-Late Paleozoic and Early Mesozoic foraminifers of Hyogo, Japan, Part 6. *Nature and Human Activities*. 2007;11, 61-65.
12. Kobayashi, F. Middle Permian foraminifers of the Izuru and Nabeyama Formations in the Kuzu areas,

- Tochigi Prefecture, Japan Part 1. *Journal of Asian Earth Science*. 2014;87:37-55.
13. Ozawa Y. Paleontological and stratigraphical limestone of Nagato. *Journal of the college of science, Tokyo imperial university*. 1925.
 14. มงคล อุชชาชน. สภาพแวดล้อมบรรพกาลของชั้นหินที่มี หอยกาบคู่จำพวกอะลาโทคอนคิต บริเวณ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. รายงานการวิจัยได้รับทุนสนับสนุน การวิจัยจากงบประมาณ เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. มหาวิทยาลัย มหาสารคาม; 2552.
 15. Dunham RJ. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham WE. editors. *Classification of Carbonate Rock*. American Association of Petroleum Geologists Memoir; Americ; 1962. P. 108-121.
 16. Flugel E. *Microfacies of Carbonate Rocks*. Germany, Springer; 2004.
 17. จงพันธ์ จงลักษณ์ณี, พล เชาว์ดำรงค์, เต๋นโชค มั่นใจ, กิจ ษณะ มลิลลา, มงคล อุชชาชน, หทัยทิพย์ อุชชาชน, Feng Q., Shangyue S. และ Wenqiang W. การวิจัยเปรียบเทียบโครงสร้างธรณีวิทยาแปรสัณฐานและวิวัฒนาการ ของสภาพธรณีวิทยาบริเวณแนวคดโค้งเลย-เพชรบูรณ์ และแนวเทือกเขาเจียงเซ็ง-โมเจียง (ยูนนาน). รายงาน การวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2553. หน้า 7.
 18. Udchachon, M., Burrett, C., Thassanapak, H., Chonglakmani, C., Campbell, H., Feng, Q. 2014. Depositional setting and paleoenvironment of a Middle Permian carbonate ramp sequence within the Indochina Terrane.
 19. Chonglakmani C. and Fontaine H. The Lam Narai-Phetchabun Region: A Platform of Early Carboniferous to Late Permian Age. *Proc. Techn. Conf. on Development of Geology for Thailand into the year 2000*. Chulalongkorn University, Thailand. 1990, 39-98.
 20. Baccelle L. and Bosellini A. Diagrammi per la stima visiva della composizione percentuale nelle rocce sedimentaire. *Annali della University di Ferrara Sezione IX. Sci. Geol. Paleontol.* 1965;1, 59-62.
 21. Folk, R.L. Spectral subdivision of limestone types. In: Ham, W.E. (Ed.), *Classification of Carbonate Rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1959;1, 1-279.
 22. Moore, w. L. Notes on the morphology and taxonomic Position of the fusulinid *Millerella marblensis* Thompson. *Jour. Paleont.* 1964; 38(2): 47-48.

การหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยพฤติกรรมของกวาง: กรณีปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางขาย

An optimization algorithm for behavior of Siamese Rhinoceros Beetles: solving the Traveling Salesman Problem

เสกสรรค์ วินยางค์กุล¹

Seksan winyangkul¹

Received: 17 March 2017 ; Accepted: 3 August 2017

บทคัดย่อ

การหาค่าเหมาะสมของสมการ หรือปัญหาทางวิศวกรรมมีความสำคัญเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เช่นปัญหาเส้นทางเดินทางขาย (TSP) ซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ โดยเทคนิคของการหาค่าตอบมีอยู่หลายวิธี เช่นหลักการของเมตาฮีริสติกส์ (Meta-heuristics) ซึ่งในบทความนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมของกวาง (SiRBA) ที่ได้ทำการเลียนแบบของพฤติกรรมของกวางในการเคลื่อนที่เข้าหา แสงไฟ อาหาร กวางอื่นเพื่อทำการสืบพันธุ์ และการหลีกเลี่ยงจากศัตรู มาสร้างเป็นอัลกอริทึมของกวาง เพื่อใช้ในการหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน และนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งหลักการเคลื่อนที่ที่พิจารณาจากการเคลื่อนตัวเข้าหา แสง กับกลิ่นโดยการบินในช่วงที่อยู่ห่างจากคำตอบ และการสั่นสะเทือน กับกลิ่นโดยการเดินในช่วงที่อยู่ใกล้คำตอบได้ทดสอบ กับฟังก์ชันกำลังสอง และตัวแบบปัญหาการจัดเส้นทางแบบ TSP (Symmetric TSP) ซึ่งการหาค่าตอบโดยใช้ SiRBA สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: พฤติกรรมของกวาง อัลกอริทึมของกวาง การหาค่าเหมาะสมที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางขาย

Abstract

Optimization of methods for solving equations and engineering problems is currently important. The Traveling Salesman Problem (TSP) is a NP-complete problem solving technique employing the principles of meta-heuristics. This paper proposed a Siamese Rhinoceros Beetles Algorithm (SiRBA), which imitates the behavior of Siamese Rhinoceros Beetles. Movement toward light, food, reproduction and escaping from enemies are used to create a SiRBA which is then used to find the maximum and minimum value of functions, applied to solving engineering problems. Principles of the movement toward the light and smell by flying during an away from solution, Vibration and smell by walking at the near solution. The SiRBA was tested with a quadratic function and the Traveling Salesman Problem (Symmetric TSP). SiRBA was effective at finding a solution.

Keywords: Behavior of Siamese Rhinoceros Beetles, Siamese Rhinoceros Beetles Algorithm, Optimization, Traveling Salesman Problem.

¹ อาจารย์, โปรแกรมวิศวกรรมโลจิสติกส์ และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย อ.เมือง จ.เชียงราย

¹ Lecturer, Logistics and Management engineering Program, Faculty of Industrial Technology(IN-TECH), Chiangrai Rajabhat University, Chiangrai, Thailand, 57100, E-mail Address: seksanwin@yahoo.com

บทนำ

ในการหาค่าเหมาะสมมีวิธีการหาผลเฉลยได้หลายวิธี โดยวิธีการ เช่น วิธีวิวิธวิธีเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อหาคำตอบสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหาเท่านั้น (Domain-dependent method) แต่ไม่สามารถนำเอาวิธีวิวิธวิธีที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาหนึ่งไปใช้ในการหาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาคำตอบของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงวิธีวิวิธวิธีให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถถูกดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เป็นวิธีวิวิธวิธีมาตรฐานที่เรียกว่า Meta-heuristic ซึ่งได้รับความนิยมและถูกใช้กันมากในปัจจุบัน ซึ่งได้แก่ SA, Neural Networks, GA, Tabu Search รวมถึงลักษณะการเลียนแบบการทำงานแบบเป็นฝูง (SOA) เช่น Ant Colony Optimization (ACO), Bat Algorithm (BA), Particle Swarm Optimization (PSO), Lévy Flight Algorithm (LFA), Bacteria Foraging Optimization Algorithm (BFA), Firefly Algorithm (FA), Fruit Fly Optimization Algorithm (FFA)^{1,2} ซึ่งวัตถุประสงค์ของบทความนี้ได้นำหลักการของพฤติกรรมเคลื่อนที่ของกวางมาสร้างอัลกอริทึมของกวาง, SiRBA เพื่อใช้ในการหาคำตอบของสมการ หรือปัญหาทางวิศวกรรม โดยหลักการของอัลกอริทึมของกวางได้นำพฤติกรรมพื้นฐานของกวางมาประยุกต์ใช้ในการสร้างดังนี้

กลไกการเคลื่อนที่ของกวางตามธรรมชาติ

การเคลื่อนที่ของกวางมีลักษณะการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันไปยังตำแหน่งที่อยู่ใหม่ เนื่องจากปัจจัยของการดำรงชีวิต ได้แก่ การหาอาหาร การสืบพันธุ์ การหลีกเลี่ยงจากศัตรู โดยการเคลื่อนที่จะใช้การบินถ้าตำแหน่งใหม่อยู่ไกลจากที่อยู่อาศัยเดิม การบินจะใช้ปีกโดยจะมีปีกคู่หน้าด้านในสามารถโค้งงอได้ใช้ในการบิน ส่วนปีกคู่หน้าด้านนอกเนื้อปีกแข็งมาก (Elytra) ไม่มีเส้นปีกและไม่สามารถโค้งงอได้ จึงไม่ใช้ในการบิน³ และการเคลื่อนที่โดยใช้การเดินถ้าอยู่ใกล้ในการเลือกตำแหน่งใหม่ที่จะเคลื่อนที่ไปนั้นถ้าตำแหน่งอยู่ใกล้กวางจะอาศัยหลักการของการมองเห็น และการดมกลิ่น ถ้าอยู่ไกลจะอาศัยหลักการของการสัมผัสเพื่อเพิ่มขึ้นมา การเดินจะใช้ขาเดิน (walking leg) ขามีปล้องเล็กๆ 5 ปล้อง โดยลักษณะทางธรรมชาติของดวงตาของแมลงที่หากินในเวลากลางวันนั้น ดวงตาของกวางจะมีความสามารถในการมองเห็นแสงได้ดีมาก ในเวลากลางคืน โดยมีลักษณะตาเป็นแบบ ตารวม (compound eyes) จำนวน 1 คู่ ประกอบด้วยเลนส์เล็กๆ เรียก Facets ซึ่ง

ทำหน้าที่ในการมองเห็นภาพ ส่วนการดมกลิ่นจะใช้หนวดในการหาอาหาร และการสืบพันธุ์ซึ่งเป็นลักษณะโดยสัญชาตญาณของกวางเอง โดยมีลักษณะหนวดเป็นแบบหนวดแบบใบไม้ (lamellate) บริเวณปลายหนวดจะแผ่ขยายออกด้านหนึ่ง มีลักษณะเป็นแผ่นบางวางซ้อนกันหลายแผ่น มี 3-4 ปล้อง ปล้องสุดท้ายมีลักษณะคล้ายใบไม้ 3-4 แผ่น รวม กลายเป็นลูกกลม จำนวนปล้องหนวดมีทั้งหมด 8-11 ปล้องและตามผิวมีส่วนที่เป็นหนามใหญ่ ส่วนการสัมผัสของหนวด (ศัตรู, กวางตัวอื่น) ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับตัวกวางนั้นสามารถที่จะรับรู้ได้โดยผ่านขาที่ยึดเกาะผ่านมายังลำตัวทำให้ทราบว่ามีวัตถุอยู่ในบริเวณใกล้เคียง

ลักษณะโดยสัญชาตญาณการสืบพันธุ์จะเกิดขึ้นโดยกวางตัวผู้จะเคลื่อนที่ไปหากวางตัวเมียโดยอาศัยการดมกลิ่น ซึ่งกลิ่นของตัวเมียจะมีลักษณะที่แตกต่างจากวางตัวผู้ โดยลักษณะของกลิ่นที่เกิดขึ้นกับตัวกวางจะมีความเข้มข้นหรือรูปแบบของกลิ่นที่แตกต่างกัน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาดลำตัว หรือสีของตัวกวางเอง เมื่อกวางตัวผู้ หรือตัวเมียเคลื่อนที่ไปหากันแล้วจะทำการสืบพันธุ์โดยทันที

ส่วนลักษณะโดยสัญชาตญาณการหาอาหารเป็นกลไกหนึ่งในการเคลื่อนที่ โดยจะใช้หนวดเป็นตัวรับกลิ่นของอาหารในการดมกลิ่น และแยกลักษณะของอาหารที่มีความแตกต่างกัน เช่น อ้อยสด อ้อยบูด กล้วย ลำไย ยอดไม้ไผ่ เปลือกต้นหูหวน ฯลฯ ซึ่งอาหารของกวางนั้นส่วนใหญ่จะมีความหวาน (จะมีกลูโคสอยู่ภายในเนื้อ) เมื่อกวางอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีอาหาร หรือได้ทำการกินอาหารจนหมดแล้วกวางจะเริ่มเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งใหม่โดยการบิน ซึ่งอาศัยการดมกลิ่นโดยลักษณะของการเลือกตำแหน่งใหม่ที่จะไปนั้นกวางจะใช้ความเข้มข้นของกลิ่นอาหารในการกำหนดทิศทางที่จะไป ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้วกวางจะเลือกไปยังตำแหน่งของอาหารที่อยู่ใกล้ที่สุด ถ้าลักษณะของอาหารเป็นชนิดเดียวกัน

การเคลื่อนที่โดยอาศัยตาในการมองหาแสงนั้นทั้งกวางตัวผู้และกวางตัวเมียจะมีลักษณะของตาที่เหมือนกันในการรับแสง และมองหาแสง ซึ่งโดยส่วนใหญ่กวางจะอยู่ในตำแหน่งที่มีความมืดกว่าเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่สว่างกว่าโดยอาศัยการบินไม่ว่าตำแหน่งใหม่นั้นจะอยู่ใกล้ หรือไกล และจะไม่ใช้การเดินถึงแม้ว่าตำแหน่งนั้นอยู่ใกล้ เนื่องจากกวางจะบินเข้าหาแสงไฟ เมื่อกวางอยู่ในตำแหน่งใหม่ที่มีแสงไปแล้วนั้น กวางก็จะมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่อื่นๆ อีกถ้าแสงไฟในตำแหน่งนั้นหรี่ หรือดับลง และอาจเกิดจากมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าอื่นๆ เช่น อาหาร ศัตรู การสืบพันธุ์

ที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งใหม่

การเคลื่อนที่เนื่องจากศัตรู ซึ่งกว้างเป็นแมลงโดยจะมีศัตรูทางธรรมชาติอยู่หลายประเภท เช่น นกฮูก ตู๊กแก จิ้งจก กู ตัวต่อ ฯลฯ เมื่อกว้างตัวผู้หรือตัวเมียอยู่ในตำแหน่งเดิมศัตรู จะทำการเคลื่อนที่มาหากว้าง เนื่องจากกว้างเป็นอาหาร เช่น นกฮูกจะบินหาอาหารกินในเวลากลางคืนเมื่อมาเจอกว้างก็จะ ทำการกินบริเวณส่วนลำตัวของกว้างเนื่องจากเป็นส่วนที่อ่อน หรือศัตรูจะมากินอาหารที่กว้างกินอยู่ เช่นตัวต่อจะมากินอ้อย เมื่อตัวต่อบินมากินอ้อยในบริเวณที่กว้างอยู่ตัวต่อจะทำการกัด ขากว้าง เป็นต้น เมื่อศัตรูเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กว้างจะรับรู้ได้ โดยลักษณะของการเคลื่อนไหว การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น หรือ ศัตรูเข้ามาสัมผัสโดนตัวของกว้าง ซึ่งจะทำให้กว้างเคลื่อนที่หนีจากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่งใหม่ที่ไม่มีศัตรูอยู่ ซึ่งเป็น ลักษณะสัญชาตญาณทางธรรมชาติในการหลีกเลี่ยงเพื่อความ ปลอดภัย

ในการดำรงชีวิตอยู่ของกว้างนั้นจะมีปัจจัยที่กล่าวมา ทำให้กว้างเกิดการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่งโดยปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นนั้นอาจไม่ได้เกิดเพียงปัจจัยเดียวที่เกิดขึ้นในขณะนั้น แต่จะเกิดจากการรวมกันของปัจจัยที่เกิดขึ้น ที่มีผลต่อการ เคลื่อนที่ของกว้างจากตำแหน่งเดิม ซึ่งมีความหมายว่าจุดเดิม ที่กว้างนั้นเกาะอยู่ ไปยังตำแหน่งใหม่คือจุดที่กว้างเคลื่อนที่ไป เกาะใหม่

จากที่กล่าวมาการเคลื่อนที่ของกว้างมีรูปแบบที่ แน่นนอนโดยอาศัยหลักการทางธรรมชาติ เช่น การสืบพันธุ์ การ หาอาหาร การบินเข้าหาแสงไฟ การหลบเลี่ยงจากศัตรู ซึ่ง ลักษณะการเคลื่อนที่จะเป็นการบินจากตำแหน่งที่อยู่เดิมไปยัง ตำแหน่งใหม่ โดยอาศัยปัจจัยที่กล่าวมาในการเคลื่อนที่แบบ บิน และจะเป็นการบินแบบตัวเดียวที่มีความสัมพันธ์กันซึ่งจะมี ลักษณะรูปแบบของการเคลื่อนที่เหมือน ผีเสื้อ ผีเสื้อแมลงต่างๆ หรือการเคลื่อนที่แบบมด และการเคลื่อนที่โดยการเดินจะ อาศัย หลักการของการสั่นสะเทือน การดมกลิ่น เพื่อการ สืบพันธุ์ หาอาหาร หลีกหนีศัตรู และการต่อสู้ โดยการเคลื่อนที่ ทั้งแบบบิน และการเดินอาจจะเกิดจากปัจจัยหลักๆ ได้แก่ ปัจจัยที่เกิดขึ้นเองทางธรรมชาติ และปัจจัยที่เกิดจากสิ่งเร้าที่ สร้างขึ้น

อัลกอริทึมของกว้าง

ในรูปแบบของอัลกอริทึมของกว้าง (Siamese Rhino-ceros Beetles Algorithm, SiRBA) มีแนวคิดอยู่ 3 ประการ ด้วยกันคือ 1) กว้างจะทำการเคลื่อนที่เนื่องจาก แสง อาหาร การสืบพันธุ์ และศัตรู 2) ในการเคลื่อนที่ของกว้างนั้นพิจารณา จากความเข้มของ แสง กลิ่น แร่งสั่นสะเทือนที่เกิดจาก แสง

ไฟ อาหาร กว้าง และศัตรู ถ้าตำแหน่งของกว้างตัวไหนแสง สว่าง และกลิ่นมากกว่าก็จะมีกว้างตัวอื่นเคลื่อนที่เข้ามาหา ใน ทางตรงกันข้ามถ้าตำแหน่งไหนมีค่าความเข้มของแรงสั่น สะเทือนสูงกว้างจะไม่เคลื่อนที่ไปหา (ศัตรู) แต่จะไปใน ตำแหน่งที่ค่าต่ำ (กว้างตัวเมียเพื่อสืบพันธุ์) ส่วนความเข้มของ แสง กลิ่น และแรงสั่นสะเทือนนี้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุด กำเนิดถ้ายิ่งห่างออกไปค่าความเข้มจะลดลง 3) ค่าความเข้ม ของแสง กลิ่น และแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจะเกิดจากตำแหน่ง ของพื้นที่ในการหาค่าตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การเข้าหาความเข้มของแสงของกว้าง

แมลงที่ออกมาหากินตอนกลางคืนจะอาศัยแสงใน การนำทิศทางในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมไปยังตำแหน่ง ใหม่ ดังนั้นส่วนที่สำคัญของการเคลื่อนที่ที่จะขึ้นอยู่กับ ความ เข้มของแสง (Attractiveness and Light Intensity) และการ เลือกตำแหน่งใหม่ที่จะเคลื่อนที่ไป ดังตัวอย่างรูปแบบอัลกอริทึม ของหิ่งห้อย (Firefly Algorithm, FA)⁴ ซึ่งได้ใช้หลักการ ของความเข้มของแสง (light intensity) เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ กับอัลกอริทึมของกว้างในการที่จะเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง โดยจะมีรูปแบบการเคลื่อนที่โดยการบินซึ่งกว้างจะบินไปหาก ว่างตัวอื่นโดยดูจากความสว่าง (brightness) ของตำแหน่งที่ อยู่ ซึ่งความเข้มของแสงจะแปรผกผันกับรัศมีกำลังสอง ดังนี้ $I(r) = I_s/r^2$ เมื่อ $I(r)$ คือความเข้มของแสงที่ระยะรัศมี r ใดๆ และ I_s คือความเข้มของแสงจากแหล่งกำเนิดแสง ถ้ากำหนด ให้สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของแสงคงที่เท่ากับ γ ความเข้ม ของแสงสามารถหาได้จาก $I(r) = I_0 e^{-\gamma r}$ เมื่อ I_0 คือจุดกำเนิด ของความเข้มแสง ในกรณีที่ รัศมีอยู่ที่จุดกำเนิดสมการ I_s/r^2 ($r=0$) จะไม่สามารถหาค่าได้ แต่สามารถประมาณค่าได้ จากรูปแบบของเกาส์ (Gaussian form) ดังนี้ $I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2}$

เมื่อแสงที่ออกมาจากตำแหน่งมีลักษณะคล้ายกับ ความเข้มของแสง ดังนั้นสามารถกำหนดรูปแบบของแสงที่ ออกมาจากตำแหน่งดังนี้ $\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2}$ เมื่อ β_0 ($r=0$) คือ แสงที่ออกมาจากตำแหน่งที่อยู่ เมื่อกำหนดลักษณะของระยะ ทางเป็น $\Gamma = 1/\sqrt{\gamma}$ จากสมการ $\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} = \beta_0 e^{-\gamma(\frac{1}{\sqrt{\gamma}})^2} = \beta_0 e^{-1}$ หรือ $\beta = \beta_0/2$ ในการเขียนรูปแบบของแสงสามารถ เขียนในรูปของ ฟังก์ชันการลดลงแบบ monotonically ดังนี้

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, (m \geq 1)$$

ระยะทางระหว่างกว้าง 2 ตัว โดยกำหนดให้เป็น i และ j อยู่ที่พิกัดจากที่ตำแหน่ง x_i และ x_j มีค่าเป็น

$$r_{ij} = |x_i - x_j| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2}$$

เมื่อ $x_{i,k}$ ถูกกำหนดโดยอันดับที่ k ขององค์ประกอบของพิกัด x_i ของตำแหน่ง i และ d คือขนาดของมิติ เช่นในระบบ 2 มิติ $r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ในการเคลื่อนที่ของกวางที่จุด i ไปยังจุดที่มีความสว่างกว่า ของกวางที่ตำแหน่ง j สามารถหาได้ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \mathcal{E}_i \tag{1}$$

เมื่อเทอมที่ 2 อยู่ในรูปแบบของการเข้าหาแสงสว่าง (attraction) เทอมที่ 3 อยู่ในรูปแบบของการสุ่ม โดยค่า α คือค่าเริ่มของการสุ่ม และ ค่า \mathcal{E}_i เป็นเวกเตอร์ของเลขสุ่มที่ได้จากการกระจายตัวแบบปรกติ (Gaussian distribution หรือ Uniform distribution)⁵ ตัวอย่างถ้าแทนเทอมของ \mathcal{E}_i ด้วย (rand - (1/2)) เมื่อ rand ค่าเลขสุ่มที่ได้จากการกระจายตัวแบบปรกติมีค่าอยู่ระหว่าง [0,1] โดยค่าอื่นๆ ในการกำหนดเริ่มสามารถแทนได้เช่น $\beta_0 = 1$ และ $\alpha \in [0,1]$

การดมกลิ่น

การดมกลิ่น (small) ของกวางนั้นจะใช้หน่วยโดยหลักการพื้นฐานของการหาอาหาร และการสืบพันธุ์ซึ่งอาศัยความเข้มของกลิ่นในการเคลื่อนที่ โดยจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างตัวกวางกับแหล่งที่กำเนิดกลิ่น จากหลักการสามารถเขียนขั้นตอนของการเคลื่อนที่เข้าสู่เป้าหมาย⁶ ได้ดังนี้

ขั้นตอนแรกทำการกำหนดจุดเริ่มต้นโดยการสุ่ม (Random initial location) ของกวางในพื้นที่ที่ต้องการหาค่าคำตอบ (X axis, Y axis) ทำการสุ่มตำแหน่งของกวาง n ตัว จากตำแหน่งเริ่มต้น

$$X_i = X \text{ axis} + \text{Random Value} \text{ และ}$$

$$Y_i = Y \text{ axis} + \text{Random Value}$$

ทำการหาค่าระยะทางจากจุดกำเนิดของกวางแต่ละตัว และทำการหาค่าความเข้มของได้รับกลิ่น (S_i) ของกวางแต่ละตัวจาก $Dist_i$ เมื่อ $Dist_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$ และ $S_i = \frac{1}{Dist_i}$ จากนั้นทำการหาค่าของฟังก์ชันของการได้รับกลิ่น (Smell_i หรือ Fitness function) ดังสมการที่ (2) ของกวาง n ตัวที่อยู่ในตำแหน่งบนพื้นที่ที่ต้องการหาค่าตอบ

$$Smell_i = \text{Function} (S_i) \tag{2}$$

ทำการหาค่าโดยการเปรียบเทียบค่าที่ใหญ่ที่สุด (maximal value) ของการได้รับกลิ่น (Smell_i) ของกวาง n ตัว [BestSmell] = max(Smell_i)

ทำการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนตำแหน่งของจุด (location) จากจุดเดิมมายังจุดที่มีค่าที่ใหญ่ที่สุด

$$X \text{ axis} = X (\text{BestSmell}) \text{ และ } Y \text{ axis} = Y (\text{BestSmell})$$

ทำขั้นตอนการสุ่มตำแหน่งของกวาง n จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าของการได้รับกลิ่น (Smell_i) ค่าเดิมกับค่าใหม่ที่ได้ถ้าค่าที่ได้ใหม่มีค่าที่ใหญ่กว่าให้ทำการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งของจุด แต่ถ้าน้อยกว่าให้เริ่มทำขั้นตอนการสุ่มตำแหน่งของกวางใหม่

การสั่นสะเทือน

การเคลื่อนที่ของกวางโดยอาศัยหลักของการสั่นสะเทือน (Vibration) นั้นกวางจะใช้การเดินในการเคลื่อนที่ซึ่งจะเป็นบริเวณใกล้ จุดหมายคือการสืบพันธุ์ และการต่อสู้ โดยกวางจะพิจารณาถึงแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่อยู่ใกล้ๆ กับตัวกวางเองซึ่งในแต่ละตำแหน่งจะมีขนาดของการสั่นสะเทือนที่สูง หรือต่ำแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะสื่อถึงกวางตัวเมีย กวางตัวผู้ตัวอื่น หรือศัตรูเช่นตุ๊กแก งู เป็นต้น ซึ่งลักษณะของแรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะแตกต่างกันจากลักษณะของ ขนาด และตำแหน่ง ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ กวางตัวเมียมีขนาดของแรงสั่นสะเทือนน้อยที่สุด และกวางตัวผู้ก็จะเลือกเคลื่อนที่เข้าหากวางตัวเมีย หรือจุดที่มีแรงสั่นสะเทือนน้อยที่สุด ส่วนตำแหน่งอื่นๆ ที่มีค่าแรงสั่นสะเทือนที่สูงกว่าจะไม่เลือกเคลื่อนที่เนื่องจากเป็นศัตรู หรือกวางตัวผู้ตัวอื่น โดยกำหนดให้ขนาดของแรงสั่นสะเทือนขึ้นอยู่กับค่าขนาดของตำแหน่ง (Fitness of position) หรือ $f(P_{S_{irb}})$ ⁷, โดยตำแหน่งของตัวกวางเองกำหนดให้ความเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนเป็น $I(P_{S_{irb}}, P_{S_{irb}}, t)$ โดยสามารถแสดงดังนี้ $I(P_{S_{irb}}, P_{S_{irb}}, t) = 1/|f(P_{S_{irb}})|$ เมื่อกำหนดจำนวนของกวาง n ตัว ที่ตำแหน่งในบริเวณที่จะหาค่าตอบ โดยกวางแต่ละตัวจะสามารถจับการเคลื่อนไหวของกวางตัวอื่นๆ ได้โดยจะมีสัญญาณการเคลื่อนไหวในกวางแต่ละตัวเท่ากับ $n-1$ สัญญาณโดยสัญญาณความเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนระหว่างตำแหน่งเช่นตำแหน่งของกวาง B ที่ได้รับสัญญาณจากกวาง A สามารถหาได้ดังสมการที่ (3)

$$I(P_{\text{Sirb,A}}, P_{\text{Sirb,B}}, t) = I(P_{\text{Sirb,A}}, P_{\text{Sirb,B}}, t) \exp\left(-\frac{D(P_{\text{Sirb,A}}, P_{\text{Sirb,B}})}{D_{\text{max}} r_a}\right) \quad (3)$$

เมื่อ D_{max} คือระยะห่างระหว่างค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของขอบเขตที่ต้องการหาตั้งสมการ $D_{\text{max}} = |\bar{x} - \underline{x}|$ และระยะทางระหว่างกว้างสามารถหาได้จาก

$$D(P_{\text{Sirb,A}}, P_{\text{Sirb,B}}, t) = |P_{\text{Sirb,A}} - P_{\text{Sirb,B}}|$$

ส่วนค่า r_a เป็นพารามิเตอร์ควบคุม โดย $r_a \in (0,1)$ ตำแหน่งใหม่การเคลื่อนไปของกว้างเนื่องจากการสั่นสะเทือนนั้นกว้างแต่และตัวจะทำการเคลื่อนที่โดยพิจารณาจากตำแหน่งของกว้างตัวอื่นที่มีความเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำที่สุด (V_{min}) จากนั้นทำการเปรียบเทียบแรงสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งเดิม (V_{tar}) ถ้า ($V_{\text{min}} < V_{\text{tar}}$) ให้แทนตำแหน่งเดิม (V_{tar}) ด้วยตำแหน่งที่เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ำที่สุด (V_{min}) โดยที่ตำแหน่งของกว้างทุกตัวจะมีเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนถ้ามีค่ามากกว่า V_{tar} กว้างจะทำการเคลื่อนที่ตั้งสมการที่ (4)

$$P_{\text{Sirb}}(t+1) = P_{\text{Sirb}} + (P_{\text{tar}} - P_{\text{Sirb}}) \cdot (1 - R \cdot R) \quad (4)$$

เมื่อ R คือค่าสุ่มจาก $\in (0,1)$ และ \cdot การคูณกันของคู่ลำดับของกว้างเมื่อเปรียบเทียบตำแหน่งใหม่ที่กว้างทำการเคลื่อนที่ไปแล้วเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนน้อยกว่าเดิมให้แทนตำแหน่งเดิมด้วยตำแหน่งใหม่ แต่ถ้ามากกว่าเดิมให้ใช้ตำแหน่งเดิมจากนั้นทำการเริ่มต้นของขั้นตอนของการเปรียบเทียบตำแหน่งใหม่

หลักการเคลื่อนตัวเข้าหาคำตอบของอัลกอริทึมกว้าง

การเคลื่อนที่เข้าหาคำตอบของอัลกอริทึมของกว้างนั้นในช่วงแรกของค่า x เริ่มต้นจะเป็นรูปแบบของการบิน โดยพิจารณาจากการเคลื่อนตัวเข้าหา แสง และกลิ่น จะเรียกช่วงนี้ว่าบริเวณของการบิน flying zone ดังแสดงใน (Figure 1) ซึ่งจะพิจารณาค่า x ที่ได้จากค่า Fitness ที่ค่า x ใดๆ ของแสง และกลิ่นจะนำมาเปรียบเทียบกัน ลักษณะการเคลื่อนตัวของค่า x ของแสง จะอยู่ในรูปของการแกว่งแบบสุ่ม (random walk) ที่มีค่าลู่อู่ค่า x^* ส่วนของกลิ่นจะมีลักษณะที่ค่า x ลดลงในแต่ละรอบเพื่อเข้าสู่ค่า x^* เมื่อค่า x ที่ได้ของแสงของกว้างตัวที่มีค่า fitness ที่ดีที่สุดแล้ว แต่มีผลทำให้ค่า fitness ที่น้อยกว่ากลิ่นของกว้างตัวที่ดมกลิ่นได้ค่า fitness ที่สูงที่สุด โดยจะทำการแทนค่า x ที่ได้ของแสงตัวที่ได้ค่ามากที่สุดด้วย ค่า x ของกลิ่นตัวที่ได้ค่ามากที่สุด $x_{\text{Best Smell}} \rightarrow x_{\text{Best light}}$ แต่ถ้า $f(x_{\text{Best light}}) > f(x_{\text{Best Smell}})$ ไม่ต้องแทนถึงจะมีค่า x แสงของกว้างบางตัวที่ให้ค่า fitness ที่น้อยกว่าก็ตาม เมื่อดำเนินการรอบการทำงานไปจะทำการเปรียบเทียบค่า $(f(x_{\text{Best,t+1}}) - f(x_{\text{Best,t}})) / f(x_{\text{Best,t}}) \leq \%error$ ที่ตั้งไว้เช่น 0.5, 0.01 หรือ 0.005 เพื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการหาคำตอบจาก flying zone เป็นบริเวณของการเดิน walking zone ซึ่งจะใช้หลักการของการสั่นสะเทือน และกลิ่น ซึ่งลักษณะการเคลื่อนตัวของค่า x ของการสั่นจะคล้ายกับแสงคือเป็นแบบ random walk ที่มีค่าลู่อู่ค่า x^* แต่จะแตกต่างกันในรูปแบบของการแทนค่า x ที่ได้ โดยถ้า $f(x_{\text{vibration}}) < f(x_{\text{Best Smell}})$ ซึ่งหมายความว่าถ้า x ที่ได้จากการสั่นของกว้างตัวใดๆ มีค่า fitness ที่น้อยกว่าค่า x ของกลิ่นตัวที่ได้ค่ามากที่สุดให้ทำการแทนกว้างด้วยค่าด้วยค่า x ของกลิ่นตัวที่ได้ค่ามากที่สุด $x_{\text{Best Smell}} \rightarrow x_{\text{vibration}}$ และในการหาคำตอบในแต่ละครั้งถ้ามีกว้างตัวใดได้ค่า x ที่ทำให้ fitness มากกว่าครั้งก่อนให้ทำการแทนค่า $x_{\text{Best}} \rightarrow x$ เป็นค่าเป้าหมายเพื่อที่จะให้กว้างตัวอื่นๆ เคลื่อนที่เข้าหาในรอบต่อไปโดยมีรูปแบบของสมการตั้งสมการที่ (5) และอัลกอริทึมดังนี้

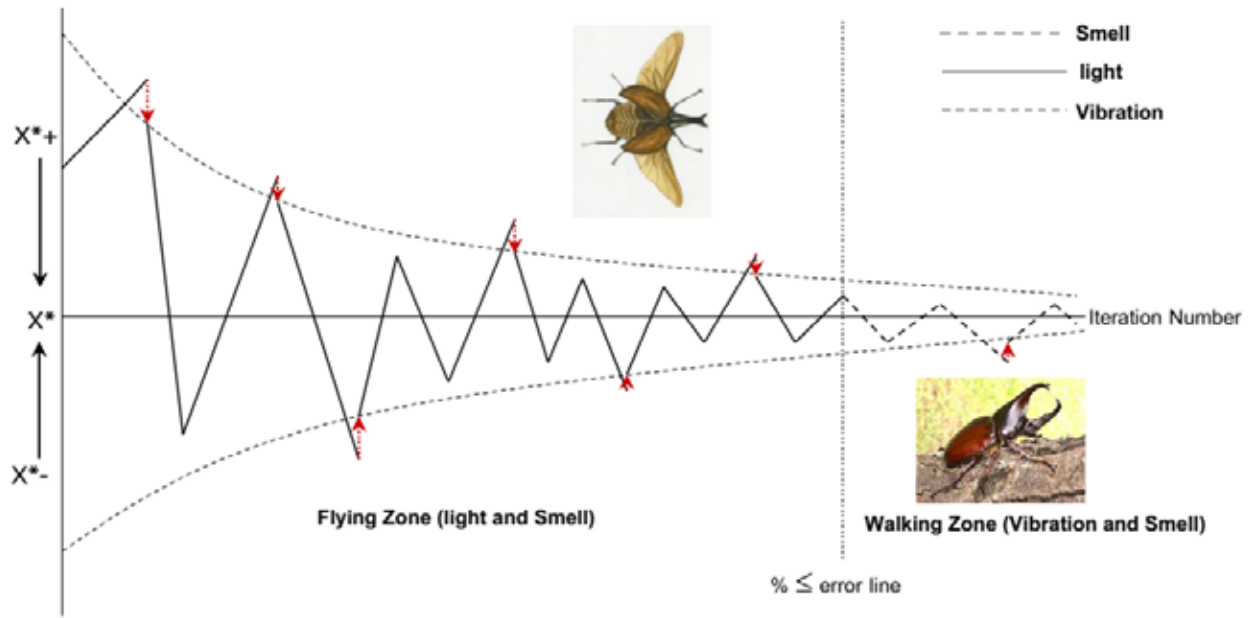


Figure 1 Mobility mechanism to solution for SiRBA Algorithm

$$\text{Fitness} \begin{cases} f(x_i) & \text{light} \\ f(S_i) & \text{Smell} \\ f(P_{\text{Sirb}}(t+1)) & \text{Vibration} \end{cases} \quad (5)$$

$$\text{เมื่อ } x_i = \{\tau_1[x_i + \beta_0 e^{-\gamma_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \mathcal{E}_j] + \tau_2[P_{\text{Sirb}} + (P_{\text{tar}} - P_{\text{Sirb}}) \bullet (1 - R \bullet R)]\}$$

$$\text{Smell}_i = \text{Function}(S_i)$$

$$\%f(x) = \frac{f(x_{\text{Best},t+1}) - f(x_{\text{Best},t})}{f(x_{\text{Best},t})}$$

$$\text{และ } \tau_1 = (0,1) \text{ เมื่อ } \begin{cases} \%f(x) > \%error \text{ เป็น } 1 \\ \%f(x) \leq \%error \text{ เป็น } 0 \end{cases}$$

$$\tau_2 = (0,1) \text{ เมื่อ } \begin{cases} \%f(x) > \%error \text{ เป็น } 0 \\ \%f(x) \leq \%error \text{ เป็น } 1 \end{cases}$$

Pseudo code for SiRBA:

1. Objective function of $f(x)$, where $x=(x_1, \dots, x_d)$
Search Space; $x \in 10^d[-1,1]$
2. Generate initial population of Siamese Rhinoceros Beetles;
 $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$
: **Flying zone (light and Smell)**
3. Formulate light intensity I_i from $f(x_i)$; $I_i = f(x_i)$
4. Define absorption coefficient γ ;
5. **While** ($t < \text{MaxGeneration}$)
6. **For** $i = 1 : n$ (all n Beetles)

7. **For** $j=1$ to i (all n Beetles)
8. **If** ($I_j > I_i$), move Beetles i towards j ;
9. **end if**
10. Generate initial location; Initial (X, Y)
11. Random direction and distance; $(X_k, Y_k) = (i = 1, 2, \dots, m) X_i = X \text{ axis} + \text{Random Value}, Y_i = Y \text{ axis} + \text{Random Value}$
12. Find the smell concentration (Smell_i): $\text{Smell}_i = \text{Function}(S_i)$
13. **While** ($t < \text{MaxGeneration}$)
14. **For** $k = 1$ to m (all m location)
15. **If** ($\max(\text{Smell}) > \text{Smell}_i$), move Beetles i towards that location
16. **end if**
17. Evaluate new solutions and update light intensity and location;
18. **While** ($(f(x)_{t+1} - f(x)_t) / f(x)_t \leq 0.05$); Compare solution : **Walking zone (Smell and Vibration)**
19. Find v_{tar} for each Beetles; target vibration
20. **While** stopping criteria not met **do**
21. **for each** Beetles in pop **do**
22. Evaluate the fitness value of s .
23. Generate a vibration at the position of s .
24. **end for**
25. **for each** Beetles in pop **do**

26. Calculate the intensity of the vibrations V
27. generated by other spiders.
28. Select the strongest vibration v_{best} from V .
29. **if** The intensity of v_{best} is larger than v_{tar} **then**
30. Store v_{best} as v_{tar} .
31. **end if**
32. Perform a random walk towards v_{tar} .
33. Generate a random number R from $[0,1)$.
34. **While** ($v_{tar} < \text{MaxGeneration}$)
35. **For** $i = 1 : n$ (all n Beetles)
36. **For** $j=1$ to i (all n Beetles)
37. **If** ($v_j > v_i$), move Beetles i towards j ;
38. **end if**
39. Random direction and distance; $(X_k, Y_k) = (i = 1, 2, \dots, m)$
40. Find the smell (Smell_i); $\text{Smell}_i = \text{Function}(S_i)$
41. **While** ($t < \text{MaxGeneration}$)
42. **For** $k = 1$ to m (all m location)
43. **If** ($\max(\text{Smell}) > \text{Smell}_i$), move Beetles i towards that location
44. **end if**
45. Evaluate new solutions and update vibration intensity and location;
46. **End for** j ;
47. **End for** i ;
48. **End for** k ;
49. Rank the Beetles and find the current best;
50. **End while**;
51. Post process results and visualization;
52. **End procedure**;

อุปกรณ์และวิธีการ

ในการทดสอบอัลกอริทึมของกวางจะใช้การทดสอบอัลกอริทึมในการหาค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของฟังก์ชันกำลังสอง และตัวแบบปัญหาการขนส่งแบบ TSP โดยใช้ MATLAB programs และ Microsoft Excel ติดตั้งลงบน Intel Core i3-3217U ที่ 1.80 GHz และ 4GB RAM ซึ่งทำการหาผลเฉลยของปัญหาซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

การทดสอบอัลกอริทึมในการหาค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด

การทดสอบอัลกอริทึมของกวางเบื้องต้นใช้ทดสอบการหาค่าสูงสุด และค่าต่ำสุดของฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic Function) ดังสมการที่ (6) และ (7)

$$y = -10 + x^2 \quad (6)$$

$$y = 1 - x^2 \quad (7)$$

ในสมการที่ (6) ค่าต่ำสุดอยู่ที่ -10 และในสมการที่ (7) ค่าสูงสุดอยู่ที่ 1 ทำการกำหนดค่าตำแหน่งของกวางเริ่มต้นจำนวน $n = [3,6,9]$ ในช่วงตำแหน่ง $10^0[-1,1]$ เพื่อหาช่วงความกว้างของการหาค่าตอบที่เหมาะสม $x \in 10^0[-1,1]$ เมื่อ $d = 0,1,2,\dots,r$ คือจำนวนของตัวแปรอิสระที่มีในสมการ ในสมการที่ (6) และ (7) มีตัวแปรอิสระ 1 ตัว จะได้ $d = 0,1$ ดังนั้น จะได้ $x \in \{10^0[-1,1], 10^1[-1,1]\}$, $x \in \{[-1,1], [-10,10]\}$, เมื่อพิจารณาช่วงทั้ง 2 จะเห็นได้ว่ายิ่ง x มีค่ามากขึ้น หรือลดลงจะทำให้ค่า $y(x)$ ในสมการที่ (6),(7) มีค่าสูงขึ้น และลดลงเมื่อ $(y([10],[10]) > y([1],[1]))$ และในระหว่างช่วง $([10],[1])$ และ $([-10],[1])$ ก็จะมีค่าสูงในสมการที่ (6) และลดลงในสมการที่ (7) กว่าช่วง $[-1,1]$ ดังนั้นทั้ง 2 สมการจะเลือกใช้ช่วง $[-1,1]$ กำหนดตำแหน่งที่กวางอยู่โดยการสุ่มตำแหน่ง $x \in [-1,1]$ เช่น $n = 3$ จะได้ $x = (0.998, 0.174, -0.191)$ กำหนดค่าเริ่มต้น $\beta_0 = 1, \alpha \in [0, 1]$ ซึ่ง α (randomness) = 0.2, $\gamma = 1$ และ $\mathcal{E}_i = (\text{rand} - (1/2))$ และค่าเริ่มต้นของพิกัดการดมกลิ่น $(X,Y) \in [0, 10]$ และค่าการสุ่มตำแหน่ง Random Value $\in [-1,1]$ $r_u \in (0,1)$, $\%f(x) = 0.005$ โดยผลที่ได้จากการทดสอบ 10 รอบ ค่าของ $f(x)_1$ และ $f(x)_2$ เมื่อกำหนด $f(x)_1 = f(x)_6$ และ $f(x)_2 = f(x)_7$ ได้ค่าที่ดีที่สุดที่ -9.9999994890709 และ 0.9999994890708 ดังแสดงใน (Figure 2) โดยมีค่าของ $x = 0.000226037$ ที่กว้าง 9 ตัว ในการเคลื่อนตัวของกวางเข้าสู่ค่า x^* ของกวางดังแสดงใน (Figure 3) รูปแบบจะมีค่าที่ลดลงมากในช่วงแรกเนื่องจากการเคลื่อนตัวโดยแสง จากนั้นค่าที่ได้จะเริ่มใกล้เคียงกัน จากนั้นจะเปลี่ยนจากรูปแบบของแสงเป็นการสั้นที่ $n = 3$ จะทำการเปลี่ยนในรอบที่ 5 ดังแสดงใน (Figure 3) ส่วน $n = 6,9$ จะทำการเปลี่ยนในรอบที่ 6 ดังแสดงใน (Figure 4) และ (Figure 5) โดยพิจารณาจากค่าที่ตั้งไว้ เมื่อพิจารณาผลของกลิ่นจะเห็นได้ว่ามีค่าลดลงแต่ค่า fitness ยังน้อยกว่า แสงและการสั้นสะท้อนโดยมีช่วงเดียวในการแทนที่คือที่ $n = 3$ ในรอบที่ 1 โดยผลของกลิ่นที่ลดลงช้าเนื่องจากการตั้งค่าของ Initial (X,Y) ในที่นี้ได้ตั้งไว้ $\in [0, 10]$ และ Random Value $\in [-1,1]$ จึงทำให้ผลของการหาค่าตอบจาก

กลิ่นลดลงช้า โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของ (X,Y) ดังแสดงใน (Figure 6) จากผลการทดสอบที่ได้ยิ่งจำนวนกว้างเยอะจะทำให้ผลการหาค่าตอบที่ได้เข้าสู่ค่า x^* ได้เร็วขึ้นเนื่องจากจำนวนของการตั้งค่าเริ่มต้นจะเท่ากับจำนวนของกว้างจึงมีผลทำให้การหาค่าตอบมีชุดของข้อมูลที่เยอะกว่า

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมของกว้างในการแก้ปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทางพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหานี้มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาเส้นทางที่ทำให้การเดินทางไปยังลูกค้าทุกจุดเกิดขึ้นด้วย ระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยที่ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการบริการจากพนักงานขายเพียงครั้งเดียวในแต่ละรอบของการเดินทาง ถ้าหากระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างจุดสองจุดใดๆ คงที่ คือไม่ขึ้นกับเส้นทาง ปัญหาจะเป็นแบบสมมาตร (Symmetric TSP) TSP เป็นข้อปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ ถ้ามีตำแหน่งที่ต้องเดินทางผ่าน n ตำแหน่ง จะบอกไม่ได้ว่าเส้นทางรวมทั้งหมดจากการเดินทางผ่าน n ตำแหน่งตามลำดับที่วางไว้ต้องลำดับแบบไหนจึงจะได้คำตอบที่ดีที่สุด เพราะถ้าระยะทางรวมจากจำนวนเส้นทาง n ตำแหน่งของลำดับที่ 1 น้อยกว่าระยะทาง

รวมจากจำนวนเส้นทางจำนวน a ตำแหน่งของลำดับที่ 2 แล้วลำดับที่ 1 ไม่จำเป็นต้องมีระยะทางรวมทั้งหมด n ตำแหน่งน้อยกว่าเสมอไป ดังนั้นจึงอาจจะต้องสลับตำแหน่งถึง $(n-1)$ เพื่อหาลำดับตำแหน่งที่มีระยะทางรวมทั้งน้อยที่สุด ปัญหาลักษณะนี้เรียกว่าเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard Problem) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีประโยชน์ในลักษณะต่างๆ กันของการบริหารจัดการรวมทั้ง การบริหารจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain) และ โลจิสติกส์ (Logistics)

ในการหาค่าตอบของอัลกอริทึมของกว้างทางวิศวกรรมรูปแบบของการหาค่าตอบเป็นรูปแบบของวิธีการทาง Metaheuristics ที่มีลักษณะการเลียนแบบการทำงานแบบเป็นฝูง (SOA) โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาผลเฉลยของรูปแบบปัญหาเช่น ปัญหาการจัดการเส้นทาง (Routing Problems) แบบ TSP หรือ VRP การจัดสินค้า (Bin Packing Problems) การจัดตารางเวลา (Time Scheduling Problems) เป็นต้น ในการหาค่าตอบของ SiRBA จะเป็นแบบต่อเนื่อง ($x \in \mathcal{R}^n$) แต่สามารถที่จะประยุกต์ใช้ในรูปแบบของคำตอบที่เป็นการจัดเรียงลำดับ ($\pi \in \mathcal{S}_n$) โดยที่ π คือกลุ่มเซตของเส้นทางที่แตกต่างกัน (1, 3, 7... n) กัน \mathcal{S}_n คือกลุ่มเซตที่เป็นไปได้ของคำตอบ (1, 2... n)

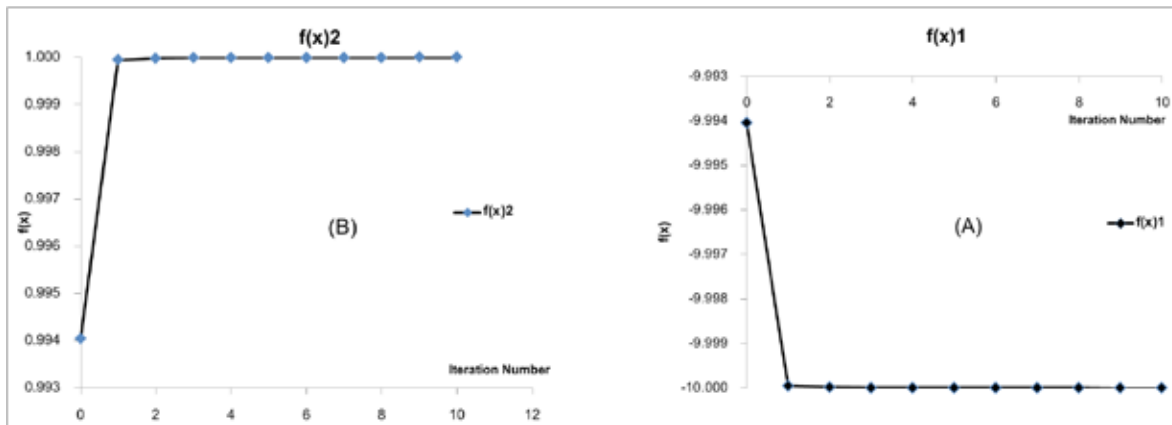


Figure 2 Testing 10 Iteration Number for A) f(x)1 and B) f(x)2

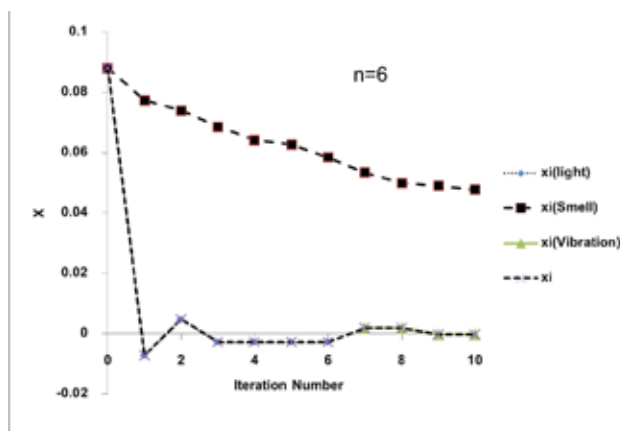


Figure 3 Movement into value x^* (n=3)

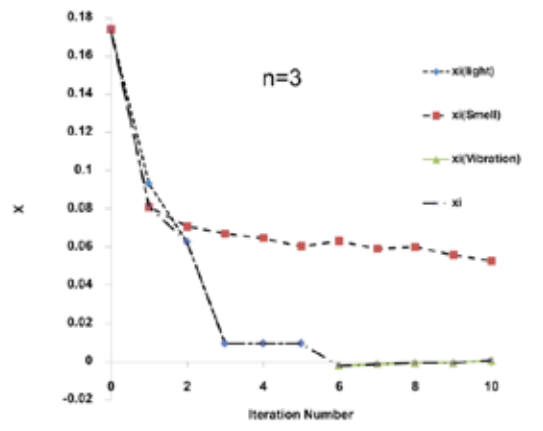


Figure 4 Movement into value x^* (n=6)

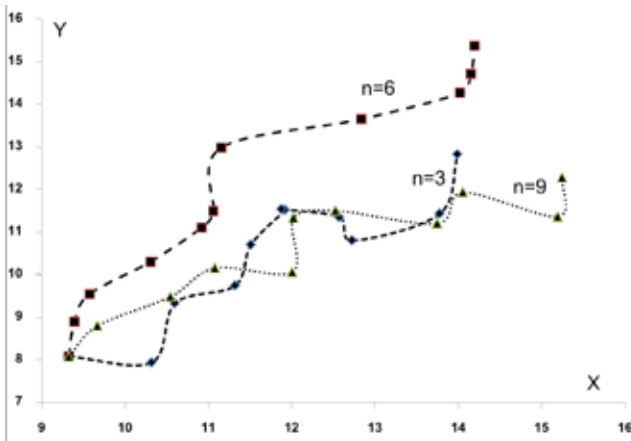


Figure 5 Movement into value x^* ($n=9$)

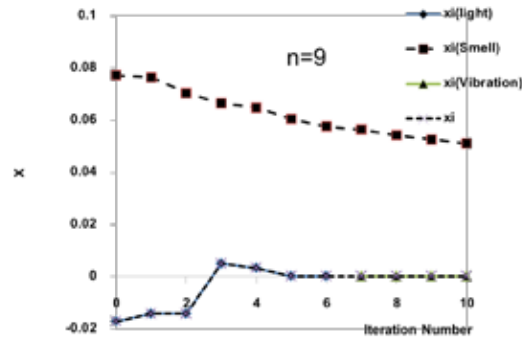


Figure 6 Moving paths X, Y for smelling

การหาคำตอบของปัญหาแบบ TSP ในขั้นแรกจะทำการกำหนดจำนวนของกว้าง และเซตลำดับของจุดของกว้าง n ตัว ซึ่งในแต่ละเซตจะมีค่าระยะทาง (Fitness) ของเซต เช่นลำดับของกลุ่ม $\pi_i = [2 \ 1 \ 4 \ 3 \ 5 \ 7 \ 6 \ 1] = L_i$, $\pi_j = [2 \ 4 \ 3 \ 5 \ 6 \ 7 \ 1] = L_j$ โดยกำหนดให้ผลต่างของ $L_i - L_j = r_{ij}$ ในการหาค่าเริ่มต้นจะใช้รูปแบบของความเข้มของแสง $\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r}$ และการดมกลิ่น (random position, $L(\min)$) เมื่อค่าเปอร์เซ็นต์ของ Fitness ในรอบต่อมาน้อยกว่า 0.5% จะใช้หลักการของความเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือนเป็น $I(P_{Sirb}, P_{Sirb}, t)$ คู่กับการดมกลิ่น ในการหาเส้นทาง และกำหนดรูปแบบการเคลื่อนที่ในการใช้เนบอร์ฮูด และแบบการสุ่มสลับตำแหน่งแบบ 3 จุด และ 4 จุด (3-4 permutations) โดยรูปแบบโครงสร้างแบบ 3 neighborhood (k-opt) โดยจะทำการสุ่มเอา link ($d_i, d_i + 1$) ใดๆ ออกมาจาก π เมื่อนำ Link ใดๆ จำนวน 3 อัน ออกไปแล้ว จากนั้นนำเอา link 3 อันใหม่เข้ามาแทนที่เดิมจะสามารถทำได้ 2 ทางเลือก โดยทางเลือกนี้จะนำค่า Fitness ที่ได้จากการเลือกโดยจุดต่อโดยการพิจารณาความเข้มของแสง และการดมกลิ่นไปพร้อม (%Fitness > 0.5%) และความเข้มของแรงสั่นสะเทือน และการดมกลิ่นไปพร้อม (%Fitness ≤ 0.5%) โดยตัวใดให้ค่าที่ต่ำสุด กว่าจะทำการเลือกเป็นเส้นทางในการทำในรอบต่อไป และเมื่อผลต่างของค่า Fitness ที่ได้มีค่าน้อยกว่า

สำหรับตัวอย่างปัญหาเป็นการเลือกเส้นทางของการขนส่งที่มีเส้นทางปัญหาเป็นแบบสมมาตร (Symmetric TSP) โดยพิจารณาหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการขนส่งสินค้า ซึ่งมีข้อกำหนดให้ผ่านที่จุด 1 คือจุดกระจายสินค้าและเมื่อขนส่งครบทุกจุดแล้วต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นคือจุดที่ 1 โดยมีจุดที่จะต้องนำสินค้าไปส่งจำนวน 7 จุด ได้แก่จุดที่ 2 3 4 5 6 7 และ 8 ซึ่งมีเส้นทางการเดินทางเดิมคือ 1-2-3-4-5-6-7-8-1 รวมระยะทางการขนส่งทั้งหมด 16.18 กิโลเมตร เมื่อทำการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) ในการแก้ปัญหาจากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้เส้นทางใหม่เป็น 1-4-3-5-6-8-7-2-1 โดยมีระยะทางรวมคือ 16.11 กิโลเมตร โดยเส้นทางใหม่ประหยัดกว่าเส้นทางเก่า 0.07 กิโลเมตรคิดเป็น 0.43 % จากเส้นทางเก่า

เมื่อนำอัลกอริทึมของกว้างมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาคำตอบคือการเดินทางที่เดินทางโดยมีข้อมูลระยะทางระหว่าง Node ดังแสดงใน (Table 1) ซึ่งทำการกำหนดค่า $k = 3$ (3-opt) เพราะว่า เมื่อนำเอา Link ใดๆ จำนวน 3 อันออกไปแล้ว การนำเอา link 3 อันใหม่เข้ามาแทนที่เดิมจะสามารถทำได้ $n! - 1$ ทางเลือก³ และการสุ่มสลับตำแหน่งแบบ 3-4 จุดสามารถทำได้ n^2 ทางเลือก ในกรณีนี้จะทำให้วิธี SirBA สามารถลดระยะเวลาในการหาคำตอบและทำให้ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์มีความกระชับมากยิ่งขึ้น กำหนดค่าเริ่มต้น $\beta_0 = 1, \gamma = 1, r_0 \in (0,1)$ จำนวนกว้าง $n = 3$ และทำการสุ่มเส้นทางเริ่มต้น ดัง (Table 1)

Table 1 Distance matrix between Node (km)

N	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0					Random initial assignment		
2	1.03	0				3-6-8-1-4-7-2-5-3= 25.63 km		
3	2.42	1.39	0			7-3-4-2-8-5-6-1-7= 24.73 km		
4	2.73	1.69	1.28	0		6-2-5-7-1-3-8-4-6= 28.3 km		
5	2.17	1.1	1.06	1.36	0	(Best Solution = 16.1 km)		
6	3.66	2.58	2.68	2.98	1.61	0		
7	4.98	3.91	4.75	4.64	3.33	2.97	0	
8	5.78	4.68	5.51	5.4	4.09	3.73	0.76	0

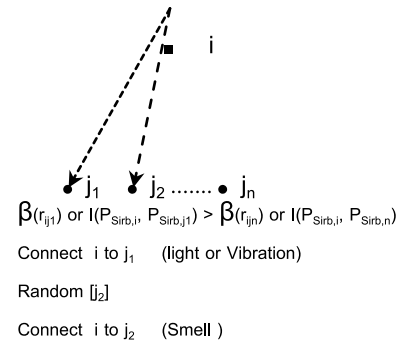


Figure 7 Connection of path

จากนั้นกำหนดให้ v_1 คือจุดในตำแหน่ง i ภายในทัวร์แบบแรกคือ 3-opt ทำการสุ่มเอา link $(v_1, v_{i+1}), (v_i, v_{i+1})$ และ (v_k, v_{k+1}) ออกไป จะมีทางเลือกในการแทนที่ link 3 อันเดิมด้วย link 3 อันใหม่ไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ $n! - 1$ ทางเลือก ซึ่งจะทำให้ทัวร์ยังคงมีความสมบูรณ์อยู่ (ทัวร์ที่มีรูปทรงเรขาคณิตปลายปิด (Valid tour)) ลำดับการเดินทางไปยังจุดต่างๆจำนวน 8 จุด (ตัวเลขภายในตาราง) สมมติว่าค่าเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ Iteration 0 Initial tour $L_0 = (3-6-8-1-4-7-2-5-3)$ Fitness = 25.63 km (กว้าง 1 ตัวจะทำการสุ่มในแต่ละรอบได้แก่แสงหรือแรงสั่นสะเทือน 3 ครั้ง และดมกลิ่น 3 ครั้งโดยจะได้ 6 เส้นทางต่อกว่า 1 ตัวใน 1 รอบ ดังนั้นกว้าง 3 ตัวจะให้ $3 \times 6 = 18$ เส้นทางต่อ 1 รอบ) ขั้นตอนต่อไปจะสร้างคำตอบขึ้นมาใหม่ที่เป็นสมาชิกที่อยู่ภายในเนเบอร์ฮูด ใช้ค่า $k=3$ แล้วทำการสุ่มเอา link 3 อันใดๆ ออกมา และจะมีทางเลือกที่เป็นไปได้ไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 5 ทางเลือกที่จะเชื่อมเส้นให้เป็นรูปทรงเรขาคณิตแบบปิดที่สมบูรณ์ และไม่ซ้ำกับตำแหน่งของเส้นเดิมที่เพิ่งถูกตัดออกไปในการพิจารณาเชื่อมเส้น จะใช้รูปแบบการบินของกว้างโดยพิจารณาความเข้มของแสง และการดมกลิ่น (Flying zone (light $\beta(r)$ and Smell)) และรูปแบบของการเดินโดยพิจารณาความเข้มของการเกิดแรงสั่นสะเทือน และการดมกลิ่น (Walking zone (Smell and Vibration (I))) ดังแสดงใน (Figure 7) โดยมีขั้นตอนของอัลกอริทึมกว้างในการใช้เนเบอร์ฮูดแบบ 3 opt ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รูปแบบการเคลื่อนที่ในการใช้เนเบอร์ฮูดแบบ 3 opt โดยทำการสุ่มเอา link $(d_i, d_i + 1)$ ใดๆ ออกมาจาก

π ซึ่งจากจำนวนของจุดมีจำนวน 8 จุดและเป็นการเดินแบบปิด(กลับมาตำแหน่งเดิมในจุดเริ่มต้น) จะมีเส้นเชื่อมจำนวน 8 เส้น จะกำหนด ค่าการสุ่มตำแหน่ง Random Value $\in [0,1]$ โดยแบบความกว้างของช่วงเป็น $1/8=0.125$ ซึ่งสามารถสร้างช่วงในการนำเส้นเชื่อมออกได้ดังแสดงใน (Table 2) เมื่อทำการสุ่มค่าของช่วงการบิน ตัวอย่างดังแสดงใน (Table 2) เป็นการพิจารณาของแสง และกลิ่นของกว้างตัวที่ 1 ในครั้งที่ 1 โดยในรอบที่ 1 ทำการสุ่มมา 3 ครั้ง เช่นได้ค่าการสุ่มของแสงเป็น $[0.189 \ 0.611 \ 0.732]$ ซึ่งจะทำให้การตัดจุดเชื่อมที่ 2, 5 และ 6 และค่าการสุ่มของกลิ่นเป็น $[0.073 \ 0.478 \ 0.698]$ ซึ่งจะทำให้การตัดจุดเชื่อมที่ 1, 4 และ 6 จากนั้นจะทำการตัดจากเส้นทางเริ่มต้นที่ได้กำหนด 3-6-8-1-4-7-2-5-3 เช่นของแสง $[3-6) (8-1-4) (7) (2-5-3]$ และของกลิ่นเป็น $[3) (6-8-1) (4-7) (2-5-3]$ โดยเครื่องหมาย [ไม่สามารถเชื่อมได้เนื่องจากเป็นรูปแบบของการเดินแบบปิด

ขั้นตอนที่ 2 ในการเชื่อมต่อกันจุดจะทำการพิจารณาความสามารถในการเชื่อมต่อของจุดโดยมีข้อกำหนดว่าจะต้องไม่มีการเกิดเส้นทางย่อย หรือการปิดเส้นทางในการเดินทาง ซึ่งในการตัดจุดเชื่อมนั้นสามารถสร้างเส้นทางได้ดังแสดงใน (Table 3)

ขั้นตอนที่ 3 นำเส้นทางที่ได้แต่ละเส้นมาพิจารณาค่าของแสง และกลิ่น ในช่วงของการบินดังสมการ $x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \epsilon_i$ และ Smell_i = Function (S_i)

Table 2 Range of random values and random values in Flying zone

link	Range of Random Value	Light1	Small1
1	0 - 0.125	-	0.073
2	0.125 - 0.25	0.189	-
3	0.25 - 0.375	-	-
4	0.375 - 0.50	-	0.478
5	0.50 - 0.625	0.611	-
6	0.625 - 0.75	0.732	0.698
7	0.75 - 0.875	-	-
8	0.875 - 1.00	-	-

ซึ่งในรูปแบบของฟังก์ชันของการดมกลิ่นกำหนดให้เป็น $Smell_i = x_i + S_i(x_j - x_i)$
 เมื่อ $S_i = \frac{1}{Dist_i}$ โดยที่ $Dist_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}$ และ
 $X_i = X \text{ axis} + \text{Random Value}$,
 $Y_i = Y \text{ axis} + \text{Random Value}$

Table 3 Transportation routes from SiRBA in 1st round of Insects No.1

	Routing	Fitness (km)	$L_i - L_j$
Initial	3-6-8-1-4-7-2-5-3	25.63	-
Light 1	3-6-4-1-8-7-2-5-3	21.00	-4.63
2	3-6-7-8-1-4-2-5-3	18.77	-6.86
3	3-6-7-4-1-8-2-5-3	25.64	0.01
Small 1	3-1-8-6-4-7-2-5-3	25.62	-0.01
2	3-1-8-6-7-4-2-5-3	23.39	-2.24
3	3-6-8-1-7-4-2-5-3	25.66	0.03
4	3-4-7-6-8-1-2-5-3	21.59	-4.04
5	3-4-7-1-8-6-2-5-3	25.15	-0.48
6	3-7-4-6-8-1-2-5-3	25.07	-0.56
7	3-7-4-1-8-6-2-5-3	26.37	0.74

ซึ่งทำการกำหนดค่าคงที่ในสมการดังนี้ $\beta_0 = 1, \gamma = 1, \alpha \in [0,1], \epsilon_i = (\text{rand}[0,1] - (1/2))$ และ Initial (X,Y) ในที่นี้ได้ตั้งไว้ $\in [0, 10]$ และ Random Value $\in [-1,1]$ ซึ่งสามารถหาค่าของแสง และกลิ่น ในเส้นทางต่างๆ ที่ได้ตั้งแสดงใน (Table 4) ตัวอย่างเช่นใน Light 1 เส้นทาง 3-6-4-1-8-7-2-5-3 มีค่า $L_j - L_i = -4.63$ ดังนั้น $x_i = 25.63 + \frac{-4.63}{e^{\frac{1}{100}}}(-4.63) + (0.332)(-0.458) = 20.838$

Table 4 Fitness of light and smell in 1st round of Insects No.1

	Routing	Fitness
Light 1	3-6-4-1-8-7-2-5-3	20.838
2	3-6-7-8-1-4-2-5-3	18.734
3	3-6-7-4-1-8-2-5-3	25.735
Small 1	3-1-8-6-4-7-2-5-3	25.629
2	3-1-8-6-7-4-2-5-3	25.242
3	3-6-8-1-7-4-2-5-3	25.633
4	3-4-7-6-8-1-2-5-3	24.893
5	3-4-7-1-8-6-2-5-3	25.565
6	3-7-4-6-8-1-2-5-3	25.573
7	3-7-4-1-8-6-2-5-3	25.804

ใน Small 1 มีค่าเป็น $Smell_i = 25.63 + (1/\sqrt{(7.33 + (-0.27))^2 + (3.87 + 0.11)^2})(-0.01) = 25.629$

ขั้นตอนที่ 4 นำค่า Fitness ของทั้งแสง และกลิ่นมาพิจารณาร่วมกันเพื่อเลือกเส้นทางที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะได้เส้นทาง 3-6-7-8-1-4-2-5-3 ซึ่งมีค่า Fitness เท่ากับ 18.734 กว่าจะแต่ละตัวจะทำการการสูดมโนแต่ละรอบได้แก่แสงหรือแรงสั่นสะเทือน 3 ครั้ง และดมกลิ่น 3 ครั้งโดยจะได้ 6 เส้นทางต่อกว่า 1 ตัวใน 1 รอบ ดังแสดงใน (Table 5)

เมื่อจำนวนกว้าง $n = 3$ จะได้เส้นทางที่ดีที่สุดในรอบที่ 1 ดังแสดงใน (Table 6)

ขั้นตอนที่ 5 จากนั้นนำค่า Fitness ที่ได้มาพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์จาก

$$|f(x_{Best\ t+1}) - f(x_{Best\ t})| / f(x_{Best\ t}) \leq \%error$$

Table 5 Routing from SiRBA in 1st round of Insects No.1

	Routing	Fitness (km)
Light1	3-6-7-8-1-4-2-5-3	18.77
Light2	3-6-2-7-8-1-4-5-3	20.86
Light3	3-7-4-1-8-6-2-5-3	26.37
Small1	3-4-7-6-8-1-2-5-3	21.59
Small2	3-6-2-7-4-1-8-5-3	27.47
Small3	3-6-7-4-1-8-2-5-3	25.64

Table 6 Routing from SiRBA in 1st round of Insects No.1-3

No.	Routing	Fitness	%
1	3-6-7-8-1-4-2-5-3	18.77	26.76
2	7-8-2-4-3-5-6-1-7	19.72	20.26
3	6-2-5-3-1-7-8-4-6	21.28	24.81

ว่าน้อยกว่า 0.5% ซึ่งจะได้ค่า $|18.77 - 25.63| / 25.63 = 0.2676 \approx 26.76\%$ ซึ่งมากกว่า 0.5% ($0.5\% < 26.76\%$) ที่ตั้งไว้ดังนั้นในรอบต่อไปของกว้างตัวที่ 1 จะยังอยู่ในช่วงของการบิน ซึ่งในรอบต่อไปกว้างทั้ง 3 ตัวจะอยู่ในช่วงของการบินอยู่ในรอบที่ 2 นำเส้นทางที่ดีที่สุดในรอบที่ 1 มาเป็นค่าเริ่มต้น (ถ้าเส้นทางที่ได้ในรอบที่ n มีระยะทางไกลกว่าเดิมให้แทนด้วยเส้นทางเริ่มต้นในรอบที่ n-1) และทำขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 ดังที่กล่าวมา ซึ่งในรอบต่างๆ จะได้ผลต่างของระยะทางที่ลดลงดังแสดงใน (Table 7) ซึ่งการพิจารณารูปแบบของการหาคำตอบจะมีทั้ง บริเวณของการบิน (flying zone) และบริเวณของการเดิน (walking zone) โดยมีความแตกต่างกันโดยการแทนสมการ $P_{Sirb}(t+1) = P_{Sirb} + (P_{tar} - P_{Sirb}) \cdot (1 - R \cdot R)$ ในการหาคำตอบแทนรูปแบบของแสง ส่วนของการดมกลิ่นจะมีรูปแบบการหาคำตอบแบบเดิม

Table 7 Transportation routes from SiRBA, Area zone of flying and walking in each round

round	Routing	Fitness	%	zone
1	3-6-7-8-1-4-2-5-3	18.77	26.76	flying flying
2	3-4-1-8-7-6-2-5-3	18.26	2.72	flying walking
3	3-5-2-6-7-8-1-4-3	18.26	0	flying walking
4	3-5-2-1-8-7-6-4-3	16.96	7.12	walking
5	3-6-7-8-1-2-5-4-3	16.96	0	
6	3-6-8-7-2-1-5-4-3	16.92	0.24	
7	3-4-5-6-8-7-2-1-3	16.10	4.85	

ในการหยุดการทำงานของการหาคำตอบของอัลกอริทึมของกว้างนั้นพิจารณาได้สองรูปแบบคือกำหนดจำนวนรอบในการหาคำตอบ เช่น round เป็น 50, 100 รอบ และพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างของค่าตอบที่ได้ในรอบที่ n และ n+1 จำนวน m ครั้ง เช่น m=5 ครั้ง หมายถึงถ้าค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างเป็นศูนย์โดยไม่มีเส้นทางอื่นที่ทำให้ระยะทางลดลงจำนวน 5 ครั้งให้หยุดการทำงาน ในการหาคำตอบของการจัดเส้นทางแบบการสุ่มสลับตำแหน่งแบบ 3 จุด และ 4 จุดทำเช่นเดียวกับหลักการของ 3 opt โดยการสลับตำแหน่ง

แบบ 3 จุดสามารถสร้างชุดคำตอบของเส้นทางได้ $2^3 - 1 = 7$ เส้นทาง และการสลับตำแหน่งแบบ 4 จุด ได้ $2^4 - 1 = 15$ เส้นทางและทำการจัดเส้นทางแบบการสุ่มสลับตำแหน่งแบบ 3 จุด และ 4 จุด โดยใช้หลักการเดิมตั้งที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อพิจารณาจำนวนของการสลับตำแหน่ง และจำนวนของเส้นทางที่เกิดขึ้นของการหาคำตอบตามขั้นตอนของอัลกอริทึมของกว้าง ในกรณีของ 3 opt โดยในแต่ละรอบของการหาเส้นทางจะขึ้นอยู่กับจำนวนของกว้างที่กำหนด (n) โดยจำนวนเส้นทางเริ่มต้นจะเท่ากับจำนวนของกว้างที่กำหนด และจำนวนที่จะทำการสุ่มในแต่ละรอบ เช่นแสงหรือแสงสะท้อน 3 ครั้ง และดมกลิ่น 3 ครั้งโดยจะได้ 6 เส้นทางที่ดีที่สุดของเส้นทางย่อยในการเดินทางในการสลับตำแหน่ง เท่ากับ 14 เส้นทาง ต่อแสงหรือแสงสะท้อน 1 ครั้ง และดมกลิ่น 1 ครั้ง ต่อกว้าง 1 ตัวใน 1 รอบ ดังนั้น เมื่อใช้กว้าง 3 ตัวจะให้ $3 \times 6 = 18$ เส้นทางต่อ 1 รอบ และมีการสุ่มจำนวน 3 ครั้งต่อการตัด 3 เส้นทางต่อ 1 เส้นทาง ดังนั้นจะต้องทำการสุ่มเท่ากับ $3 \times 3 \times 6 = 54$ ครั้งต่อ 1 รอบ สำหรับ 3 opt เมื่อพิจารณาถึงจำนวนเส้นทาง และจำนวนของการสุ่มตำแหน่งที่เกิดขึ้นจนเข้าสู่เส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับตัวอย่างที่ยกมาสามารถแสดงได้ดัง (Table 8)

Table 8 Number of routing and random in SiRBA process for TSP example

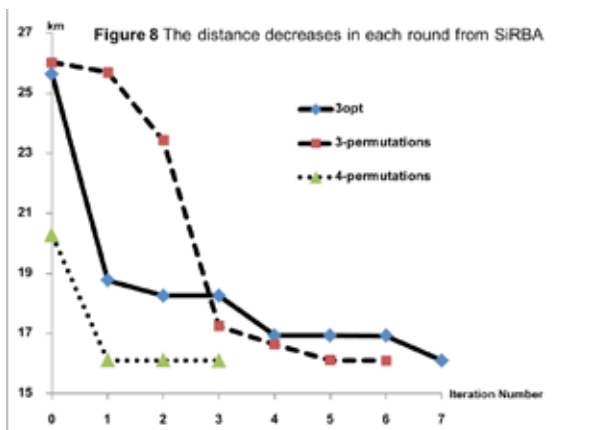
	Iteration Number	Number of Routing	Number of random
3-opt	7	126	378
3-permutations	6	108	324
4-permutations	3	54	216

ผลที่ได้จากการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมของกว้างกับตัวแบบปัญหาการจัดเส้นทางแบบ TSP (Symmetric TSP) นั้นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเคลื่อนที่ในการใช้เนบอร์ชุด แบบ 3 opt ใช้รอบในการหาคำตอบที่ 7 รอบ และแบบการสุ่มสลับตำแหน่งแบบ 3 จุด ใช้รอบในการหาคำตอบที่ 6 รอบ และ โดยการทำแบบ 4 จุด จะใช้รอบในการหาคำตอบอยู่ที่ 3 รอบ ดังแสดงใน (Table 9) และ (Figure 8) และผลของเส้นทางที่ได้จาก SiRBA จะให้คำตอบของเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ 16.10 กิโลเมตร ซึ่งถ้าเทียบกับวิธีการจำลองการอบเหนียว ในการแก้ปัญหาจะสามารถลดระยะทางลงได้อีก 0.01 กิโลเมตร จากระยะทาง 16.11 กิโลเมตร ซึ่งสามารถได้เส้นทางใหม่ประหยัดกว่าเส้นทางเก่า 0.08 กิโลเมตรคิดเป็น 0.49% จากเส้นทางเก่า

Table 9 Transportation routes from SiRBA

	Routing	Fitness (km)	Iteration Number
SiRBA			
3-opt	3-4-5-6-8-7-2-1-3	16.10	7
3-permutations	7-8-6-5-4-3-1-2-7	16.10	6
4-permutations	1-2-7-8-6-5-4-3-1	16.10	3
SA*	1-2-7-8-6-5-3-4-1	16.11	50

(*ศตินภา และคณะ. 2555)⁹



สรุปผลการทดลอง

ลักษณะรูปแบบของการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เช่น การหาอาหาร การสืบพันธุ์ การหลีกเลี่ยงจากศัตรู เป็นต้น มีรูปแบบพฤติกรรมที่เป็นขั้นตอนสามารถนำมาเขียนเป็นหลักการของอัลกอริทึมได้ ซึ่งในบทความนี้ได้นำรูปแบบของพฤติกรรมของกวางในการเคลื่อนที่เข้าหา แสงไฟอาหาร กวางอื่นเพื่อทำการสืบพันธุ์ และการหลีกเลี่ยงจากศัตรู มาสร้างเป็นอัลกอริทึมของกวาง SiRBA เพื่อใช้ในการหาค่าสูงสุด ค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน และนำมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งหลักการเคลื่อนที่ที่พิจารณาจากการเคลื่อนที่ตัวเข้าหา แสง กับกลืน โดยการบินในช่วงที่อยู่ห่างจากคำตอบ และการสั่นสะเทือนกับกลืนโดยการเดินในช่วงที่อยู่ใกล้คำตอบโดยได้ทดสอบกับฟังก์ชันกำลังสอง และตัวแบบปัญหาการจัดเส้นทางแบบ TSP (Symmetric TSP) นั้นการหาคำตอบโดยใช้ SiRBA สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

1. M. K. A. Ariyaratne, T. G. I. Fernando, 2014, A Comparative Study on Nature Inspired Algorithms with Firefly Algorithm, Int. J. Engineering and Technology Vol. 4, No. 10, pp. 611-617.
2. N. Sureja, 2012, New Inspirations in Nature: A Survey, Int. J. Computer Applications & Information Technology Vol. I, Issue III, November, pp. 21-24.
3. Pisuth Ek-Amnuay. 2007, The Beetles of Thailand 2nd, Siam Insect Zoo, Chiang Mai.
4. X. S. Yang, 2008, Nature-Inspired Meta heuristic Algorithm, Luniver press, pp. 83-96.
5. X. S. Yang, 2010, Firefly Algorithm: Stochastic Test Functions and Design Optimization, Int. J. Bio-Inspired Computation Vol. 2, No. 2, pp.78-84
6. W. T. Pan, 2012, A new Fruit Fly Optimization Algorithm: Taking the financial distress model as an example, Int. J. Knowledge-Based Systems 26 pp. 69-74.
7. J. Q. James, O. K. Victor, 2013, A Social Spider Algorithm for Global Optimization, Technical Report No.TR-2003-004, Dept. of Electrical & Electronic Engineering, The University of Hong Kong.
8. S. N. Kumbharana, G. M. Pandey, 2013, Solving Travelling Salesman Problem using Firefly Algorithm, Int. J. Research in Science & Advanced Technologies Issue-2, Volume-2, pp. 053-057.
9. ศตินภา รูปงาม และคณะ, 2555, การจัดเส้นทางขนส่งแคบหมูร้านแคบหมูพ่อนุญศรีโดยวิธีการเลียนแบบการอบอุ่น, โครงการงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

กายวิภาคศาสตร์พืชวงศ์ลีลาวดี (Apocynaceae) บางชนิดในประเทศไทย

Anatomy of some Apocynaceae in Thailand

กิตตภา มะลิมาต,^{1*} ปิยะพร แสนสุข,² อุษา ทองไพโรจน์³

Kittapha Malimart,^{1*} Piyaporn Saensouk,² U-sa Thongphairoj³

Received: 9 January 2017 ; Accepted: 17 July 2017

บทคัดย่อ

ศึกษากายวิภาคศาสตร์เปรียบเทียบของพืชวงศ์ลีลาวดี (Apocynaceae) ในประเทศไทย จำนวน 5 วงศ์ย่อย 29 สกุล 32 ชนิด โดยวิธีการลอกผิวใบ และตัดตามขวางแผ่นใบ ขอบใบ เส้นกลางใบ และกิ่ง ผลการศึกษาพบว่าลักษณะที่สามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดได้ คือ ผิวเคลือบคิวทินมีลักษณะเป็นริ้ว เป็นปุ่มหรือผิวเรียบ รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวหลายเหลี่ยมหรือแบบจิ๊กซอว์ ผันงเซลล์ตรงหรือหักงอ ชนิดของปากใบแบบ พาราไซติก ไชโคลไซติก และแอนไอไซไซติก ปากใบอยู่ระดับเดียวกับเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิว หรือต่ำกว่า ขอบใบรูปร่างมนโค้งลง เรียวเกือบตรง มนเกือบตรง แหลมตรง เรียวโค้งลง มนตรง และเรียวแหลม โค้งลง เส้นกลางใบด้านหลังใบรูปร่างเกือบตรงถึงตรง โค้งขึ้น เว้าลง หรือรูปอักษรยู และด้านท้องใบรูปอักษรยู อักษรวี หรือตรง รูปร่างมัดท่อลำเลียงเส้นกลางใบรูปร่างอักษรยู อักษรวี และแบบ 3 กลุ่ม การมีหรือไม่มีขนเซลล์เดี่ยว ขนหลายเซลล์เรียงแถวเดี่ยว หรือตุ่มใบ และเซลล์แปลงปลอมเป็นผลึกปริซึม ผลึกรูปดาว ผลึกรูปเม็ดทราย เซลล์น้ำยาง และเซลล์สะสมสารอื่นๆ ในเนื้อเยื่อใบและกิ่ง อย่างไรก็ตามไม่สามารถสนับสนุนให้แยกพืชออกเป็น 5 วงศ์ย่อยได้ตามระบบการจัดจำแนกของ Endress และ Bruyns

คำสำคัญ: กายวิภาคศาสตร์ วงศ์ลีลาวดี เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ ภาคตัดตามขวาง

Abstract

The comparative anatomy of 5 subfamilies, 29 genera and 32 species of Apocynaceae in Thailand was studied using epidermal peeling and cross sections of the leaf blade, margins, midrib and branches. The investigations showed that anatomical characteristics, such as cuticles striate, papillose or smooth could be used for specific identification. The epidermal cells are polygonal or jigsaw-like in shape, cell walls are straight or cleft. The types of stomata are paracytic, cyclocytic, anisocytic and anomocytic, typical stomata or sunken stomata. The shapes of the margin are rounded-curved, slender, rounded subspherical, acuminate straight, slender curved, rounded straight and acuminate curved in outline. The adaxial side of midribs are subspherical, straight, curved, concave, or U-shaped and the abaxial side is U-shaped, V-shaped or straight. The shape of vascular bundles in midrib are U-shaped, V-shaped and three groups. The leaf blade and branch are with or without of unicellular trichome, multicellular trichome or domatia. The idioblast of leaf and branch are prismatic crystal, druse crystal, sand crystal, laticifer cells and secretory cells. However, these characters cannot be used for separation of five subfamilies, which do not correspond with the Endress and Bruyns' classification.

Keywords: Anatomy, Apocynaceae, Leaf epidermis, Cross section

¹ นิสิตปริญญาโท, ^{2,3}อาจารย์, สังกัดภาควิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Master degree student, ^{2,3}Lecturer, Department of Biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantarawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand. Malimart.bio@hotmail.com

บทนำ

พืชวงศ์ลีลาวดี (Apocynaceae) มีความหลากหลายของจำนวนชนิด กระจายพันธุ์ทั่วโลกประมาณ 155 สกุล 1,700 ชนิด ประเทศไทยพบ 42 สกุล 125 ชนิด¹⁴ พรรณพฤกษชาติของประเทศไทย แยกพืชกลุ่มนี้ออกเป็น 2 วงศ์ คือ Apocynaceae และ Asclepiadaceae^{14,15} ข้อมูลปัจจุบันด้านสัตวศาสตร์วิทยา และชีวโมเลกุลของพืชวงศ์นี้จัดอยู่ในกลุ่ม Apocynaceae sensu lato แบ่งเป็น 5 วงศ์ย่อย ได้แก่ Apocynoideae, Asclepiadoideae, Periplocoideae, Rauvolfioideae และ Secamonoideae^{8,15} พืชวงศ์นี้มีลักษณะเด่นคือ มียางสีขาวขุ่น ใบเดี่ยวติดตรงข้ามหรือติดเป็นวงรอบข้อ กิ่งเกลี้ยงและก้านดอกอย่างละ 5 กลีบ¹ เป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ นำไปใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรม มีสรรพคุณเป็นยาสมุนไพร รักษาโรค เช่น ลีลาวดีขาว (*Plumeria obtusa* L.) ใช้เปลือกต้นบรรเทาอาการไข้ ช่วยขับประจำเดือน เนื้อไม้ใช้บรรเทาอาการไอ ช่วยขับพยาธิ ใบรักษาบาดทะยัก บรรเทาอาการปวดบวม สัมลม (*Aganonerion polymorphum* Pierre ex Spire) ใช้รากต้มน้ำดื่ม บรรเทาอาการกล้ามเนื้อเกร็ง ลำต้นต้มน้ำดื่มบรรเทาอาการวิงเวียน⁴ ปลูกเป็นไม้ประดับ เช่น แพงพวย (*Catharanthus roseus* (L.) G. Don) ชมนาด (*Vallis glabra* (L.) O. Kuntze)⁷ และเป็นพืชอาหาร เช่น ดอกหรือใบอ่อนของสัมลมรับประทานเป็นผักสด กับน้ำพริก หรือดอกลีลาวดีทอดรับประทานกับน้ำพริก³ ลักษณะรูปร่างสัตวศาสตร์วิทยาของพืชวงศ์นี้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้มีการจัดจำแนกพืชกลุ่มนี้ออกเป็นกลุ่มต่างๆ โดยอาศัยลักษณะทางสัตวศาสตร์วิทยา เรณูวิทยา (palynology) และลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomy) ซึ่งลักษณะเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการจัดจำแนกร่วมกับลักษณะอื่นๆ ได้ โดยมีข้อมูลทางกายวิภาคศาสตร์ ใบในภาคตัดตามขวางของ *Hoya mirabilis* Kidyoo¹² และลักษณะกายวิภาคศาสตร์ใบโดยวิธีการลอกผิวใบ และตัดตามขวางของพืช 3 ชนิด คือ ยี่โถ (*Nerium oleander* L.) รำเพย (*Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum.) และตีนเป็ดทะเล (*Cerbera odollam* Gaertn)¹¹ มีการรายงานเบื้องต้นเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชวงศ์ลีลาวดีในประเทศไทยโดยวิธีการลอกผิวใบ 2 วงศ์ย่อย 23 สกุล⁶ และมีรายงานผลึกแคลเซียมออกซาเลตในใบพืชผักที่นำมาบริโภค ด้วยวิธีการตัดตามขวางใบพืชสด⁵ โดยผลึกแคลเซียมออกซาเลตเป็นสารที่พืชสร้างขึ้นภายในเนื้อเยื่อ เป็นปัจจัยหนึ่งในการทำให้เกิดโรคนิวในระบบทางเดินปัสสาวะได้² โดยเฉพาะอย่างยิ่งก้อนนิ่วที่เป็นสารแคลเซียมออกซาเลต พบมากถึงร้อยละ 75 ของนิ่วในทางเดินปัสสาวะ¹⁰ ปัจจุบันข้อมูลทางด้านกายวิภาคศาสตร์พืชวงศ์ลีลาวดี

ครอบคลุมตัวอย่างใน 2 วงศ์ย่อย ได้แก่ Apocynoideae และ Rauvolfioideae และมีข้อมูลของวงศ์ย่อย Asclepiadoideae เพียงหนึ่งชนิด คือ *Hoya mirabilis* ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาดังกล่าวพืชครอบครัวทั้ง 5 วงศ์ย่อย และศึกษาเพิ่มเติมในส่วนภาคตัดตามขวางใบและกิ่ง เพื่อได้ข้อมูลที่สำคัญมาใช้สนับสนุนการจำแนกพืชในระดับวงศ์ย่อย สกุล และสร้างรูปวิธานระบุชนิดของพืชวงศ์นี้ให้ถูกต้อง และสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อชี้แนะการเลือกรับประทานพืชผักสมุนไพรที่มีผลึกแคลเซียมออกซาเลตเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโรคนิวได้

วิธีการศึกษา

สำรวจและเก็บตัวอย่างพืชวงศ์ลีลาวดีบางชนิดในประเทศไทย โดยระบุชนิดของตัวอย่างพืชพรรณพฤกษชาติของประเทศไทย¹⁴ จำนวน 5 วงศ์ย่อย 29 สกุล 32 ชนิด (Table 1) ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ไมโครสโคปและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากตัวอย่างสด และตัวอย่างดองในแอลกอฮอล์ 70% โดยวิธีเตรียมสไลด์จากการลอกผิวใบ และตัดตามขวางแผ่นใบ ขอบใบ เส้นกลางใบ และกิ่ง ไซใบ และกิ่งจากตำแหน่งข้อที่ 4-5 นับจากปลายยอด ล้างตัวอย่างให้สะอาด วิธีการลอกผิวใบใช้ใบมีดโกนขูดผิวใบลอกด้านที่ไม่ต้องการออก วิธีการตัดตามขวาง ตัดแบ่งชิ้นตัวอย่างให้ยาวประมาณ 1x2 เซนติเมตร ใส่ในชั้นแคโรทหรือมันเทศที่มีความยาวประมาณ 1x6 เซนติเมตร ด้วยวิธีการตัดสดด้วยเครื่องตัดเนื้อเยื่อพืช รุ่น model MT-3 automatic type จากนั้นนำชิ้นตัวอย่างที่ได้ทั้งจากวิธีการลอกผิวใบและตัดตามขวางล้างด้วยน้ำสะอาด ย้อมด้วยสีซาฟรานิน (safranin) เข้มข้น 1% ที่ละลายในน้ำ 10 นาที ตึงน้ำออกด้วยแอลกอฮอล์ความเข้มข้นระดับต่างๆ ได้แก่ 30% 50% 70% 95% 100% และแอลกอฮอล์ 100% ผสมไซลีน (xylene) ในอัตราส่วน 1:1 ขั้นตอนละ 10 นาที นำชิ้นตัวอย่างไปแช่ในไซลีนนาน 10 นาที แล้วผึ่งสไลด์ด้วยน้ำยาทาเล็บแบบใส สไลด์ที่ได้นำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ศึกษาจากชิ้นตัวอย่าง 3 ชิ้น โดยสไลด์จากการลอกผิวใบศึกษาลักษณะเนื้อเยื่อชั้นผิวใบชนิดของปากใบ ส่วนสไลด์จากการตัดตามขวาง ศึกษาระดับของปากใบ รูปร่างของมัดท่อลำเลียงเส้นกลางใบ และรูปร่างของกิ่งในภาคตัดตามขวาง พร้อมทั้งศึกษาเซลล์แปลกปลอมในเนื้อเยื่อต่างๆ บันทึกผลพร้อมถ่ายภาพ และระบุชนิดพืชวงศ์ลีลาวดีโดยการสร้างรูปวิธานระบุชนิด สไลด์ที่ได้นำทั้งหมดเก็บไว้ที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลการศึกษา

จากการศึกษาลักษณะกายวิภาคศาสตร์พืชวงศ์ตีนเป็ดทั้งหมด 5 วงศ์ย่อย 29 สกุล 32 ชนิด พบว่า แผ่นใบพบเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบน (upper epidermis) และเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง (lower epidermis) ส่วนใหญ่มีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal) ผันตรง (straight) (Figure 1d) ยกเว้น 5 ชนิด ที่มีผนังเซลล์หยักลึก (cleft) คือ หนามแดง (*Carissa carandas* L.) แพงพวย (*Catharanthus roseus*) หน้่าพันเกลียว (*Ceropegia thailandica*) ชำมะนาดเล็ก (*Vallis solanacea*) และ โมกบ้าน (*Wrightia religiosa*) บางชนิดมีรูปร่างจิกซอร์ (jigsaw-shaped) ผันหยักเป็นหยักลึก เช่น *Cat. roseus* (Figure 1e) ในภาคตัดตามขวางเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างขนาดเท่ากัน เรียง 1 ชั้น และพบเนื้อเยื่อชั้นรองจากผิว (hypodermis) ในยี่โถ (*Nerium oleander*) (Figure 1l) ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่างเป็นริ้ว (striate) (Figure 1a) เป็นปุ่ม (papillose) (Figure 1c) หรือเรียบ (smooth) (Figure 1b) ปากใบพบที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง (hypostomatis) 26 ชนิด และพบที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบทั้งสองด้าน (amphistomatic) 6 ชนิด ปากใบมี 4 แบบ ได้แก่ ปากใบแบบไซโคลไซติก (cyclocytic) (Figure 1i) พาราไซติก (paracytic) (Figure 1f) แอนอโมไซติก (anomocytic) (Figure 1g) และแอนไอไซไซติก (anisocytic) (Figure 1h) ในภาคตัดตามขวางส่วนใหญ่พบปากใบอยู่ระดับเดียวกับเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิว (typical stomata) และบางชนิดพบปากใบอยู่ระดับต่ำกว่าเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิวหรือปากใบจม (sunken stomata) มีขนปกคลุมปากใบ (stomatal crypts) คือ *N. oleander* (Figure 1l) พบขนเซลล์เดี่ยว (unicellular trichome) (Figure 3l) 4 ชนิด ได้แก่ ชะลูด (*Alyxia reinwardtii*), *Cat. roseus*, พุดทุ่ง (*Holarrhena curtisii*) และเครือชูด (*Ichnocarpus frutescens*) และพบขนหลายเซลล์เรียงแถวเดี่ยว (Multicellular trichome) (Figure 3k) ได้แก่ ระย่อมหลวง (*Rauvolfia cambodiana*) และขจร (*Telosma minor*) พบปุ่มเล็ก (papilla) 4 ชนิด ได้แก่ เถาเอ็นอ่อน (*Cryptolepis buchanani*) หัวใจทศกัณฐ์ (*Hoya kerrii*) (Figure 3j) *N. oleander* และ เถาวัลย์แดง (*Toxicarpus villosus*) เนื้อเยื่อชั้นมีโซฟิลล์

(mesophyll) ส่วนใหญ่พบแพลิสเตด (palisade) เรียง 1-3 ชั้น (Figure 1j,l) สปองจี (spongy) เรียงตัวแบบหลวมๆ บางชนิดเรียงเป็นชั้นไม่ชัดเจน (Figure 1k) ขอบใบ พบรูปร่าง 7 แบบ คือ มนโค้งลง (rounded-curved) เรียวเกือบตรง (slender) มนเกือบตรง (rounded subspherical) (Figure 2i) แหลมตรง (acuminate straight) (Figure 2h) เรียวโค้งลง (slender curved) (Figure 2g) มนตรง (round straight) และเรียวแหลมโค้งลง (acuminate curved) (Table 2) เส้นกลางใบ ด้านหลังใบรูปร่างเกือบตรง (subspherical) ถึงตรง (straight) โค้งขึ้น (curved) (Figure 2c) เว้าลง (concave) และรูปร่างอักษรยู (u-shaped) ด้านท้องใบส่วนใหญ่มีลักษณะอักษรยู ยกเว้น ชะลูด (*Aly. reinwardtii*) (Figure 2a) และ *Hoy. micrantha* มีลักษณะตรง และลักษณะรูปร่างอักษรวี (v-shaped) ในรำเพย (*Thevetia peruviana*) (Figure 2e) บริเวณท้องใบที่อยู่ระหว่างเส้นกลางใบและเส้นแขนงพบตุ่มใบ (domatia) 1 ชนิด คือสร้อยสุมาลี (*Parameria laevigata*) (Figure 2b) เนื้อเยื่อลำเลียงส่วนใหญ่มีจำนวนมัดท่อลำเลียง (vascular bundle) 1 กลุ่ม ยกเว้น *Car. carandas* มีมัดท่อลำเลียง 3 กลุ่ม (Figure 2d) ส่วนใหญ่มีรูปร่างอักษรยู บางชนิดรูปร่างอักษรวี (Figure 2f) กิ่งในภาคตัดตามขวาง ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลม (Figure 3a-b) ยกเว้น *V. solanacea* มีรูปร่างคล้ายรูปไข่ และ *Aly. reinwardtii* มีรูปร่างรูปสามเหลี่ยม (Figure 2l) เซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวรูปร่างกลมหรือรี เรียง 1 ชั้น บางชนิดพบเนื้อเยื่อคอร์ก (cork) อยู่ถัดจากวาสคิวลาร์แคมเบียม (vascular cambium) ออกไปข้างนอก ได้แก่ ระย่อมหลวง (*Rauvolfia cambodiana*) (Figure 3c), *Th. peruviana* และตีนเป็ดขาว (*Plumeria obtuse*) รูปร่างมัดท่อลำเลียงส่วนมากรูปร่างกลม (circle) ยกเว้น *V. solanacea* รูปร่างสามเหลี่ยม (triangle) ใน *Aly. reinwardtii* (Figure 2l) และรูปร่างสี่เหลี่ยม (square) ใน *W. religiosa* (Figure 2k) บางชนิดมัดท่อลำเลียงมีสองกลุ่มคือ *V. solanacea* (Figure 2j) พบเซลล์แปลกปลอม (idioblast) สะสมผลึกรูปปริซึม (prismatic) (Figure 3h-i) ผลึกรูปดาว (druse) (Figure 3f) ผลึกรูปเม็ดทราย (crystal-sand) (Figure 3d) เซลล์น้ำยาง (laticifer cells) (Figure 3g) และเซลล์สะสมสารอื่นๆ (secretory cells) (Figure 3d-e) (Table 3)

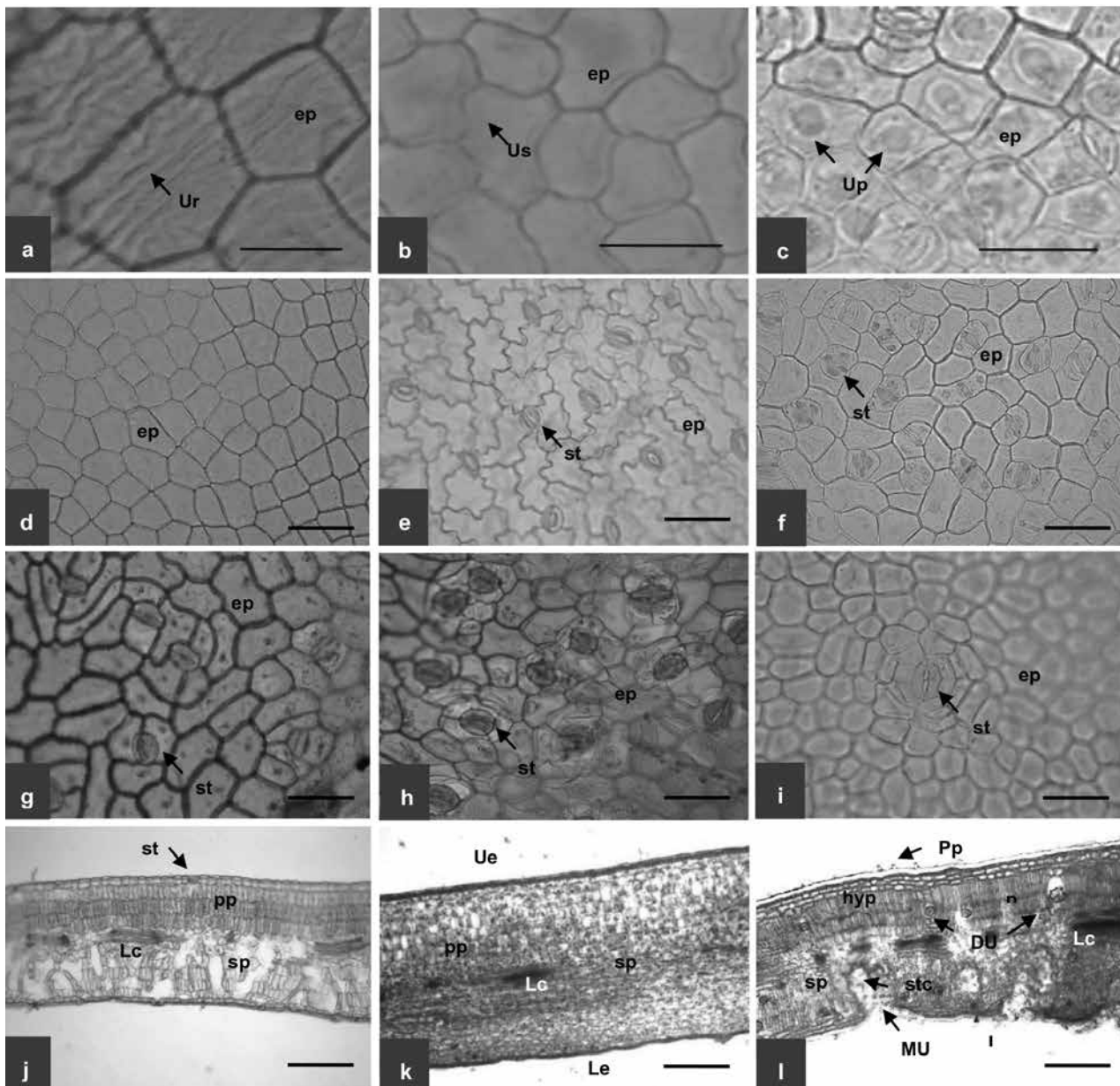


Figure 1 The anatomy of family Apocynaceae: by epidermal peeling method; (a) cuticles are striate (*Cryptolepis buchanaui*), (b) cuticles are smooth (*Thevetia peruviana*), (c) cuticles are papillose (*Oxystelma esculentum*), (d) the shapes of epidermal cells are polygonal, cell walls are straight (*Oxystelma esculentum*), (e) the shapes of epidermal cells are jigsaw-shaped, cell walls are cleft, (f) paracytic stomata (*Aganonerion polymorphum*), (g) anomocytic stomata (*Ceropegia thailandica*), (h) Anisocytic stomata (*Cryptostegia grandiflora*), (i) cyclocytic stomata (*Hoya micrantha*): cross section of blade; (j) *Calotropis gigantean*, (k) *Hoya micrantha*, (l) *Nerium oleander*: Du = druse crystals, ep = epidermis, hyp = hypodermis, Lc = Laticifer cells, Le = Lower epidermis, Pp = papillae, pp = palisade parenchyma, stc = stomatal crypts, sp = spongy parenchyma, st = stomata, Ue = Upper epidermis, Mt = Multicellular trichome, Scale = 50 micrometer (a-i), 200 micrometer (j-l)

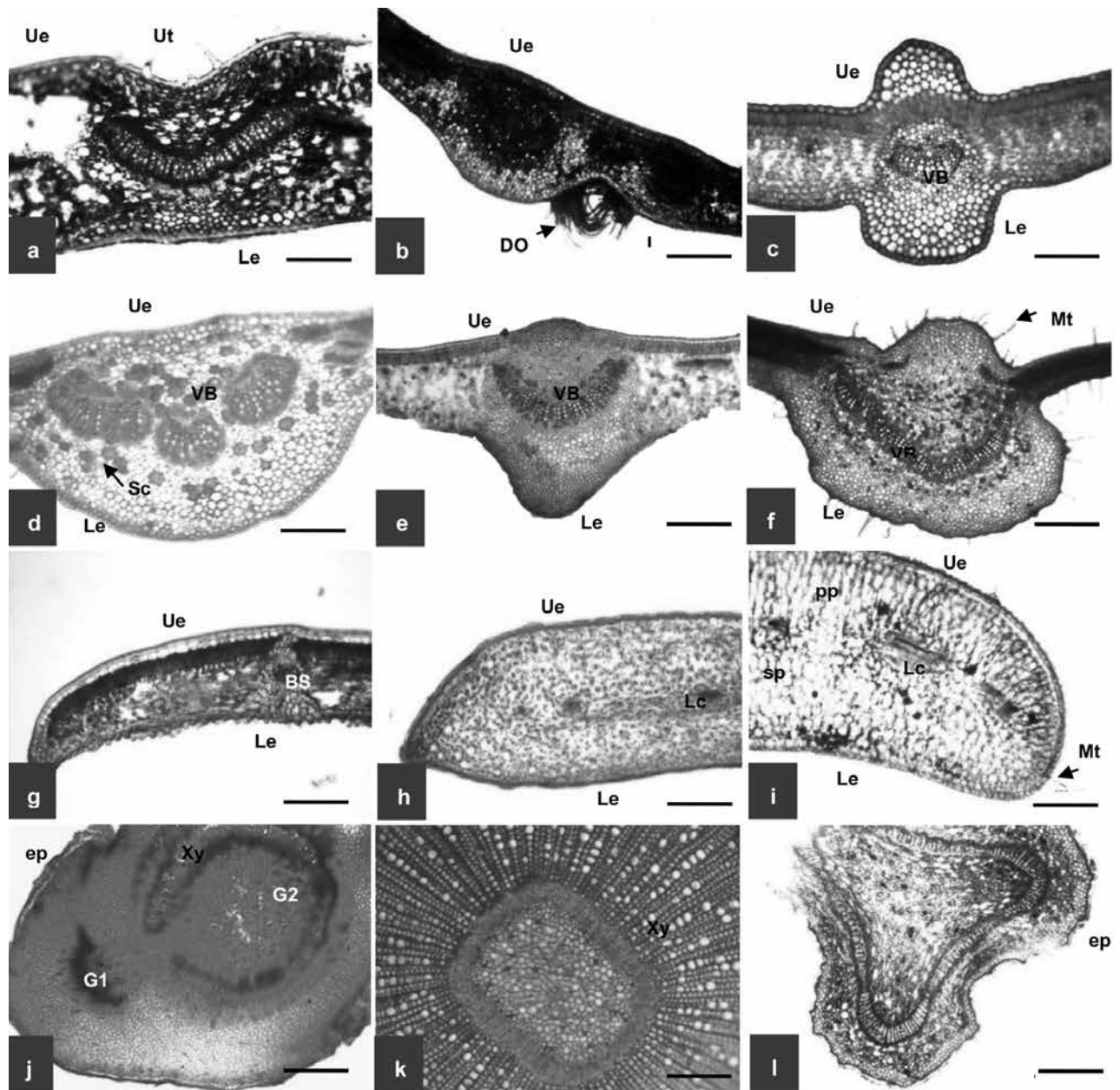


Figure 2 The anatomy of family Apocynaceae: by cross section of Midrib; (a) the shapes of lower epidermis are straight (*Alyxia reinwardtii*), (b) domatia, (c) curved (*Pentasachme caudatum*), (d) the shape of vascular bundle are three group, (e) the shapes of lower epidermis are V-shaped, (f) the shape of vascular bundle are v-shaped: cross section of margins; (g) the shapes of margins are slender curved (*C. buchmanii*), (h) acuminate straight (*Hoya micrantha*), (i) obtuse subspherical (*Hoya kerrii*): cross section of branch; (j) the shape of vascular bundle are two group (k) square shape, (l) triangle shape: Bs = Bundle sheath, ep = epidermal cell, Le = Lower epidermis, Mt = Multicellular trichome, pp = palisade parenchyma, Lc = laticifer cells, sp = spongy parenchyma, Ue = Upper epidermis, Scale = 200 micrometer (d,k), 500 micrometer (a-c,e-j,l)

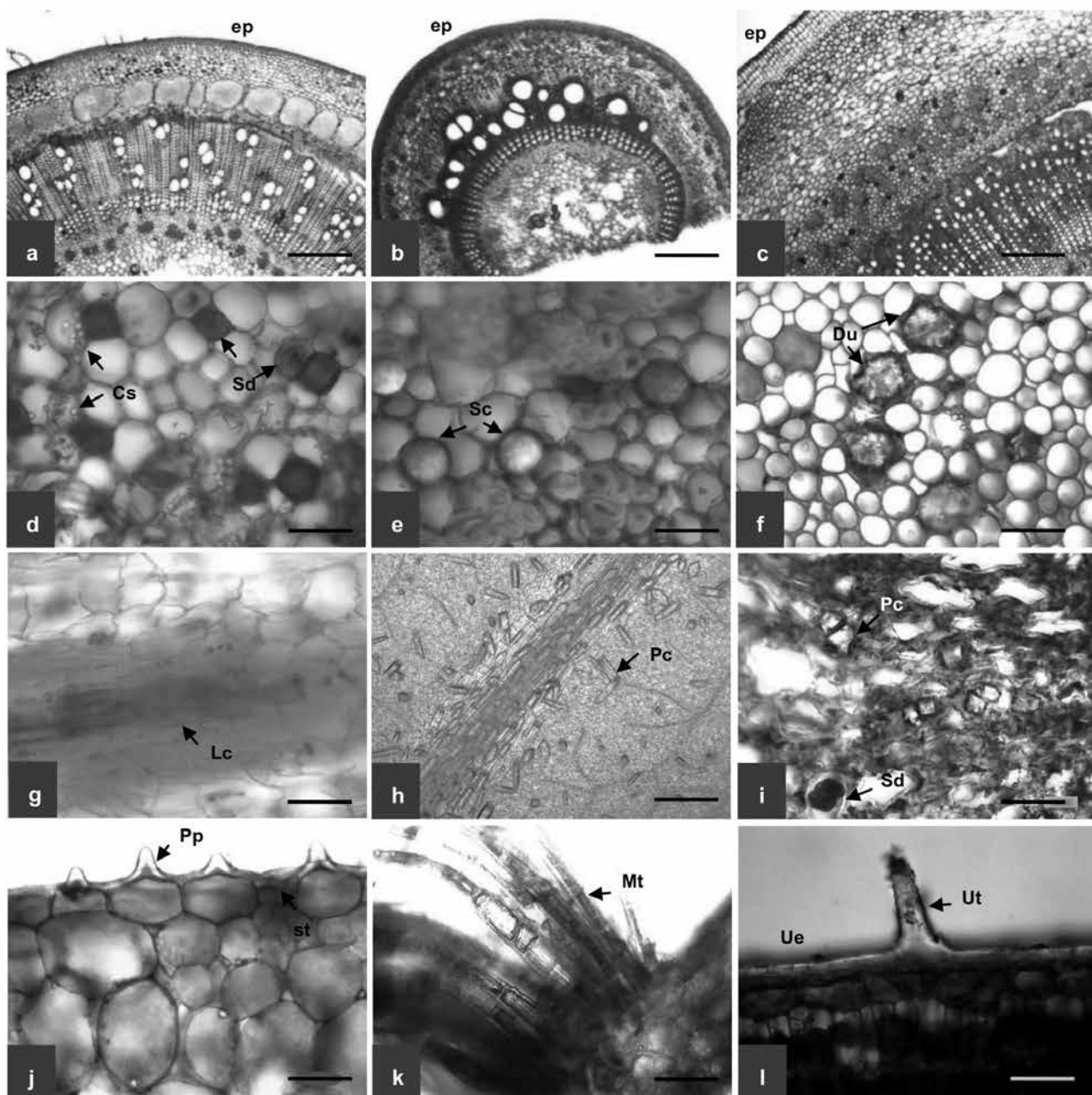


Figure 3 The Anatomy of Family Apocynaceae: by cross section; (a) *Gomphocarpus physocarpus*, (b) *Oxystelma esculentum*, (c) *Rauvolfia cambodiana* (d) crystal sand crystals and secretory cells of Midrib (*Strophanthus gratus*), (e) secretory cells of midrib, (f) druse crystals (*Strophanthus gratus*), (g) laticifer cells, (h) prismatic crystals of blade (*Wrightia religiosa*), (i) secretory cells and prismatic crystals of branch (*Alyxia reinwardtii*) (j) Papillae of blade, (k) Multicellular trichome of midrib (*Parameria laevigata*), (l) Unicellular trichome of blade: Cs = crystal-sand crystals, Du = druse crystals, ep = epidermis, Mt = Multicellular trichome, Pc = prismatic crystals, pp = palisade parenchyma, Sc = secretory cells, Ue = Upper epidermis, Ut = Unicellular trichome, Scale = 50 micrometer (d-g,i-l), 200 micrometer (h), 500 micrometer (a-c)

Table 1 Samples study and consumption (vegetables) of the Family Apocynaceae

Subfamily	Scientific Name	Thai Name	Habitat	vegetables
Apocynoideae	1. <i>Aganonerion polymorphum</i> Pierre ex Spire	Som Lom	C	/
	2. <i>Aganosma marginata</i> (ROXd). G.Don	Khrue Sai Tun	C	-
	3. <i>Holarrhena curtisii</i> King & Gamble	Pud Tong	S	-
	4. <i>H. pubescens</i> Wall. ex G.Don	Mok Hlong	T	-
	5. <i>Ichnocarpus frutescens</i> (L.) W.T.Aiton	Khrue sood	C	-
	6. <i>Nerium oleander</i> L.	Yee Tho	S	-
	7. <i>Parameria Laevigata</i> (Juss) Moldenke	Soi Su Ma Lee	C	-
	8. <i>Pentalinon luteum</i> (L) B.F. Hansen & Wunderlin	Chun kra Chang Pha	C	-
	9. <i>Strophanthus gratus</i> (Wall. ex Hook.) Baill.	Yam Phee Nung	S	-
	10. <i>Vallis solanacea</i> (Roth) O. Kuntze	Chom Ma Nad Lek	C	-
	11. <i>Wrightia religiosa</i> Benth. ex Kurz	Mok Ban	T	-
Asclepiadoideae	12. <i>Calotropis gigantea</i> (L.) R.Br. ex Ait.	Ruk	S	-
	13. <i>Ceropegia thailandica</i> Meve	Hya Phan Kliaw	Ph	-
	14. <i>Cryptolepis buchanani</i> Roem. & Schult.	Thao En On	C	-
	15. <i>Gomphocarpus physocarpus</i> E. Mey.	Hong Hern	S	-
	16. <i>Hoya kerrii</i> Craib	Hua Chai Tod Sa Kun	C	-
	17. <i>H. micrantha</i> Hook. f.	Hoya	C	-
	18. <i>Oxystelma esculentum</i> (L.) R.Br.	Cha mook Pla Hlod	C	/
	19. <i>Pentasachme caudatum</i> Wall. ex Wight	Daw Chon La Than	Ph	-
	20. <i>Telosma minor</i> Craib	Kha chon	C	/
Periplocoideae	21. <i>Cryptostegia grandiflora</i> R. Br.	Daw Pra Dub	C	-
Rauvolfioideae	22. <i>Allamanda cathartica</i> L.	Ban Bu Ree Rueng	S	-
	23. <i>Alstonia scholaris</i> (L.) R.Br.	Pa ya Sad Ta Bun	T	-
	24. <i>Alyxia reinwardtii</i> Blume	Cha Lood	S	-
	25. <i>Carissa carandas</i> L.	Hnam Dang	S	-
	26. <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G.Don	Phang Phuaw	S	-
	27. <i>Kopsia angustipetala</i> Kerr	Phod Pak Ped	T	-
	28. <i>Plumeria obtusa</i> L.	Lee La Wa Dee Khaw	T	-
	29. <i>P. rubra</i> L.	Lee La Wa Dee Dand	T	-
	30. <i>Rauvolfia cambodiana</i> Pierre ex Pitard	Ra Yom Hlong	S	-
	31. <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K.Schum.	Rum Pherw	T	-
	Secamonoideae	32. <i>Toxicarpus villosus</i> (Blume) Decne.	Thao Wun Dand	C

Note: C = Climber, Ph = Perennial herb, S = Shrub, T = Tree

Table 2 The Anatomy by epidermal peeling method and cross section of leaf blade and branch.

Scientific Name	Cross section				Epidermal peeling			
	Margins	Blade	Midrib	Shape of vascular bundle	Shape cells	Stomata	cuticular ornamentation	
	Shape	Epidermis cells	Shape	Shape of vascular bundle	U L	Type U/L	U L	
1. <i>Aganonerion polymorphum</i> Pierre ex Spire.	Rounded-curved	Ts	Straight	U-thick	Cp	PA	L Ur	
2. <i>Aganosma marginata</i> (Roxb.) G. Don.	Rounded-curved	Ts	Curved	U	Cp	AN	L Ur	
3. <i>Allamanda cathartica</i> L.	Rounded-curved	Ts	Subspherical	U-ns	Cp	PA	L Us	
4. <i>Alstonia scholaris</i> R. Br.	Rounded-sub-spherical	Ts	Subspherical	U-thick	Cp	PA	L Us	
5. <i>Alyxia reinwardtii</i> Blume	Rounded-curved	Ts	Concave	U	Cp	PA	L,U Us	
6. <i>Calotropis gigantea</i> (L.) R. Br. ex Ait.	Slender	Ts	Straight	U	Cp	PA	L,U Us	
7. <i>Carissa carandas</i> L.	Slender curved	Ts	Subspherical	3 Group	Cj	PA	L Us	
8. <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don	Round straight	Ts	Curved	U-ns	Cj	AN	L,U Us	
9. <i>Ceropegia thailandica</i> Meve	Rounded-sub-spherical	Ts	Subspherical	U	Cj	AN	L,U Us	
10. <i>Cryptolepis buchanani</i> Roem. & Schult.	Slender curved	Ts	Subspherical	U	Cp	AN	L Ur	
11. <i>Cryptostegia grandiflora</i> R. Br.	Slender curved	Ts	Subspherical	U	Cp	ANI	L Us	
12. <i>Gomphocarpus physocarpus</i> E. Mey.	Round straight	Ts	W-shaped	U	Cp	AN	L Us	
13. <i>Holarthena curtisii</i> King & Gamble.	Rounded-curved	Ts	Curved	U	Cp	PA	L Us	
14. <i>Hol. pubescens</i> Wall. ex G. Don.	Slender curved	Ts	Curved	V	Cp	PA	L Us	
15. <i>Hoya kerrii</i> Craib	Rounded-sub-spherical	Ts	Straight	-	Cp	AN	L,U Up	
16. <i>Hoy. micrantha</i> Hook. f.	Acuminate straight	Ts	Straight	-	Cp	CC	L Up	

** AN = anomocytic stomata, ANI = Anisocytic stomata, Cp = cells are jigsaw-shaped, Cj = cells are polygonal, CC = cyclocytic stomata, L = Lower epidermis, PA = Paracytic stomata, Ts = Typical stomata, U = Upper epidermis, Up = papillose, Ur = cuticles are striate, Us = cuticles are smooth, U-ns = U-nearly straight, - = Very small

Table 2 (continue) The Anatomy by epidermal peeling method and cross section of leaf blade and branch.

Scientific Name	Cross section						Epidermal peeling				
	Margins	Blade	Midrib	Shape cells	Stomata	cuticular ornamentation	Shape cells	Stomata	cuticular ornamentation		
	Shape	Epidermis cells	Shape	U	L	U	L	Type	U/L	U	L
				Shape of vascular bundle							
17. <i>Ichnocarpus frutescens</i> (L.) W.T.Aiton	Rounded-sub-spherical	Ts	Subspherical	u	U	Cp	Cp	PA	L	Us	Us
18. <i>Kopsia angustipetala</i> Kerr.	Slender curved	Ts	Curved	u	V-ns	Cp	Cp	PA	L	Up	Us
19. <i>Nerium oleander</i> L.	Rounded-sub-spherical	SS	W-shaped	u	U-thick	Cp	Cp	SS	L	Up	Up
20. <i>Oxystelma esculentum</i> (L.) R.Br.	Rounded-sub-spherical	Ts	Subspherical	u	U-thick	Cp	Cp	AN	L	Us	Up
21. <i>Parameria laevigata</i> (Juss.) Moldenke.	Slender	Ts	Subspherical	u	U-thick	Cp	Cp	ANI	L	Us	Us
22. <i>Pentaschme caudatum</i> Wall. ex Wight.	Round straight	Ts	Curved	u	U-thick	Cp	Cp	AN	L	Ur	Us
23. <i>Pentalinon luteum</i> (L.) B.F. Hansen & Wunderlin	Slender	Ts	Subspherical	u	U	Cp	Cj	PA	L	Us	Us
24. <i>Plumeria obtusa</i> L.	Acuminate curved	Ts	Subspherical	u	U	Cp	Cp	PA	L	Us	Ur
25. <i>Plu. rubra</i> L.	Rounded-sub-spherical	Ts	Concave	u	U	Cp	Cp	PA	L	Up	Us
26. <i>Rauvolfia cambodiana</i> Pierre ex Pitard.	Rounded-sub-spherical	Ts	Curved	u	U-ns	Cp	Cp	PA	L,U	Us	Us
27. <i>Strophanthus gratus</i> (Wall. ex Hook.) Baill.	Slender curved	Ts	Subspherical	u	U-ns	Cp	Cp	PA	L	Us	Us
28. <i>Telosma minor</i> Craib	Rounded-sub-spherical	Ts	Curved	u	U-ns	Cp	Cp	PA	L	Us	Us
29. <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K.Schum.	Slender curved	Ts	Subspherical	v	U-thick	Cp	Cp	AN	L	Us	Us
30. <i>Toxocarpus villosus</i> (Blume) Decne.	Slender	Ts	Straight	u	U	Cp	Cp	PA	L	Up	Up
31. <i>Vallaris solanacea</i> (Roth) O. Kuntze	Slender	Ts	Curved	u	U-thick	Cj	Cj	PA	L	Us	Us
32. <i>Wrightia religiosa</i> Benth.	Rounded-curved	Ts	Curved	u	U	Cj	Cj	AN	L	Us	Us

** AN = anomocytic stomata, ANI = Anisocytic stomata, Cj = cells are jigsaw-shaped, Cp = cells are polygonal, L = Lower epidermis, PA = Paracytic stomata, SS = sunken stomata, Ts = Typical stomata, U = Upper epidermis, Up = cuticles are papillose, Ur = cuticles are striate, Us = cuticles are smooth, V-ns = V-nearly straight

Table 3 The Anatomy by epidermal peeling method and cross section of idioblast and trichome types

Scientific Name	Cross section										Epidermal peeling	
	Margins		Blade		Midrib		Branch				U/L	
	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	Shape	IDB	TC	
1. <i>Aganonerion polymorphum</i> Pierre ex Spire.	-	-	Lc	-	Sc	Ut	Sc	Ut	globula	-	-	
2. <i>Aganosma marginata</i> (Roxb.) G. Don.	-	-	Lc	-	Sc	-	Sc	-	globula	-	-	
3. <i>Allamanda cathartica</i> L.	-	-	Lc	-	Sc	-	PC	-	globula	-	-	
4. <i>Alistonia scholaris</i> R. Br.	-	-	Lc	-	Sc,Lc	-	-	-	globula	-	-	
5. <i>Alyxia reinwardtii</i> Blume	-	Ut	Lc	Ut	-	Ut	Sc,PC	Ut	triangle	-	-	
6. <i>Calotropis gigantea</i> (L.) R. Br. ex Ait.	-	Ut	Lc	-	-	Ut	-	Ut	globula	-	-	
7. <i>Carissa carandas</i> L.	-	-	Lc	-	Sc	-	-	-	globula	-	-	
8. <i>Catharanthus roseus</i> (L.) G. Don	-	Mt	Lc	Ut	-	Mt	-	-	globula	-	-	
9. <i>Ceropegia thalindica</i> Meve	-	-	-	-	-	-	-	-	globula	-	-	
10. <i>Cryptolepis buchanani</i> Roem. & Schult.	-	Pp	-	Pp	-	-	Sc,DU	-	globula	PC/L	Pp/L	
11. <i>Cryptostegia grandiflora</i> R. Br.	-	-	-	-	-	-	-	-	globula	-	-	
12. <i>Gomphocarpus physocarpus</i> E. Mey.	-	Ut	-	-	-	Ut	-	Mt	globula	-	-	
13. <i>Holarrhena curtisii</i> King & Gamble.	-	Mt	-	Ut	-	Ut	-	-	globula	-	Ut/U	
14. <i>Hol. pubescens</i> Wall. ex G. Don.	-	Mt	-	-	Sc	Mt	-	Mt	globula	-	Ut,U/U	
15. <i>Hoya kerrii</i> Craib	-	Pp,Mt	Lc	Pp	CS	Mt,Pp	-	Pp,Mt	globula	-	-	
16. <i>Hoy. micrantha</i> Hook. f.	-	-	-	-	-	-	CS,Sc,PC	-	globula	-	-	
17. <i>Ichnocarpus frutescens</i> (L.) W.T. Aiton	-	Ut	-	Ut	Sc	-	Sc	Ut	globula	-	-	

** DU=druse crystals, CS=crystal-sand crystals, IDB=idioblast, L=Lower epidermis, Lc=Laticifer cells, Mt=Multicellular trichome, PC=prismatic crystals, Pp=Papillae, Sc=Secretory cells, TC=trichome, U=Upper epidermis, Ut=Unicellular trichome, - = Absent

Table 3 (continue) The Anatomy by epidermal peeling method and cross section of inclusions and trichome types

Scientific Name	cross section												epidermal peeling			
	Margins		Blade		Midrib		Branch									
	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	IDB	TC	U/L	TC
18. <i>Kopsia angustipetala</i> Kerr	DU	-	DU,Lc	-	Sc	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	-	-
19. <i>Nerium oleander</i> L.	DU	Pp	DU,Lc	Pp	Sc	Pp	Sc,DU	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	Ut/L	-
20. <i>Oxystelma esculentum</i> (L.) R.Br.	-	-	Lc	-	Sc	Ut	Sc,DU	Pp	Sc,DU	Pp	Sc,DU	CS/U	Sc,DU	-	-	-
21. <i>Parameria laevigata</i> (Juss.) Moldenke	-	-	-	-	-	Mt, DO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22. <i>Pentasachme caudatum</i> Wall. ex Wight	-	Ut	-	-	-	-	-	-	-	Pp	-	-	-	-	-	-
23. <i>Pentalinon luteum</i> (L.) B.F. Hansen & Wunderlin	-	Ut	Lc	-	-	-	-	-	Sc	-	-	PC/L	-	-	-	-
24. <i>Plumeria obtusa</i> L.	-	-	-	-	-	Ut	-	-	Sc	-	-	-	-	-	-	-
25. <i>Plu. rubra</i> L.	-	Mt	Lc	-	Sc	-	PC	-	PC	-	-	-	-	-	-	-
26. <i>Rauvolfia cambodiana</i> Piere ex Pitard	-	-	-	Mt	Sc	-	Sc,PC	-	Sc,PC	-	-	-	-	-	-	-
27. <i>Strophanthus gratus</i> (Wall. ex Hook.) Baill.	DU	Pp	DU	-	DU,CS	-	Sc,DU	-	Sc,DU	-	-	-	-	-	-	-
28. <i>Telosma minor</i> Craib	-	-	-	Mt	-	Mt	-	-	-	Mt	-	-	-	-	-	-
29. <i>Thevetia peruviana</i> (Pers.) K. Schum.	DU	Ut	DU,Lc	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30. <i>Toxocarpus villosus</i> (Blume) Decne.	-	Mt	Lc	Pp	-	Ut	Sc	Ut	Sc	Ut	-	-	-	-	Ut/L	-
31. <i>Vallaris solanacea</i> (Roth) O. Kuntze	-	Mt	-	-	Sc	Ut	Sc	-	Sc	-	-	-	-	-	-	-
32. <i>Wrightia religiosa</i> Benth. ex Kurz	DU,PC	Pp, Mt	DU,PC	-	PC	-	Sc,DU,PC	-	Sc,DU,PC	-	-	-	-	-	-	-

** DU = druse crystals, CS = crystal-sand crystals, IDB = idioblast, L = Lower epidermis, Lc = Laticifer cells, Mt = Multicellular trichome, PC = prismatic crystals, Pp = Papillae, Sc = Secretory cells, TC = trichome, U = Upper epidermis, Ut = Unicellular trichome, - = Absent

วิจารณ์และสรุปผล

ลักษณะกายวิภาคศาสตร์ของพืชวงศ์ลีลาวดีสามารถนำมาสร้างรูปวิธานระบุชนิดได้ ดังนี้ รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนและด้านล่าง มีรูปร่างเซลล์ผิว ผันงเซลล์ ลวดลายผิวเคลือบผิวเป็นริ้ว เป็นปุ่ม และเรียบ สอดคล้องกับรายงานถึงรูปร่างเซลล์หลายเหลี่ยม และรูปร่างจิกซอร์ สามารถนำลักษณะนี้ไปใช้ในการระบุชนิดหรือจัดกลุ่มพืชที่ศึกษา⁶ ผลการศึกษาครั้งนี้ส่วนใหญ่พบปากใบ 4 แบบ ได้แก่ ไชโคไลไซติก พาราไซติก แอนอโมไซติก และแอนโอไซไซติกเฉพาะที่เนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง ยกเว้น 6 ชนิด (*Aly. reinwardtii*, *Calotropis gigantean*, *Cat. roseus*, *Ce. thailandica*, *Hoy. kerrii* และ *R. cambodiana*) พบปากใบแบบพาราไซติก และแอนอโมไซติกทั้งในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านบนและด้านล่าง โดยไม่สอดคล้องกับการรายงานกลุ่มที่มีปากใบมากกว่าหนึ่งแบบ มี 2 ชนิด ได้แก่ *Car. carandas* พบปากใบแบบเฮกซะไซติก และไชโคไลไซติก ส่วน *W. religiosa* พบปากใบแบบพาราไซติก และไชโคไลไซติก และกลุ่มที่มีปากใบแบบเดียวมี 4 ชนิด ได้แก่ *Aganosma marginata*, *P. laevigata*, *Th. peruviana* พบปากใบแบบพาราไซติก และ *N. oleander* พบปากใบแบบแอนอโมไซติก พร้อมทั้งรายงานชนิดและบริเวณที่พบปากใบสามารถใช้ระบุพืชบางชนิดได้⁶ แต่รายงานไว้เพียง 2 วงศ์ย่อย 23 สกุล ในขณะที่ผลการศึกษาครั้งนี้มี 5 วงศ์ย่อย 29 สกุล พบลักษณะของปากใบเพิ่มเติม คือในวงศ์ย่อย Apocynoideae ได้แก่ *A. marginata* พบปากใบแบบแอนอโมไซติก *P. laevigata* พบปากใบแบบแอนโอไซไซติก และ *N. oleander* พบปากใบแบบจม โดยสอดคล้องกับการรายงานปากใบจมอยู่ในแอ่งปากใบและมีขนปกคลุม¹¹ ส่วนในวงศ์ย่อย Rauvolfioideae สอดคล้องกับรายงาน *Allamanda cathartica* พบปากใบแบบพาราไซติก และ *Th. peruviana* พบปากใบแบบแอนอโมไซติก⁹ ทั้งนี้ความแตกต่างของชนิดและบริเวณที่พบปากใบ ควรคำนึงถึงความแตกต่างของสภาพแวดล้อมที่พืชอาศัยอยู่ด้วย¹³ รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านท้องใบและหลังใบ รูปร่างมัดท่อลำเลียง ได้แก่ รูปร่างอักษรรู อักษรวี และ แบบ

รูปวิธานระบุชนิด

1. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบพบปากใบด้านเดียว

2. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบรูปจิกซอร์

3. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างรูปจิกซอร์

3. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่างและด้านบนรูปจิกซอร์

4. รูปร่างมัดท่อลำเลียงในภาคตัดตามขวางเส้นกลางใบแบบ 3 กลุ่ม

4. รูปร่างมัดท่อลำเลียงในภาคตัดตามขวางเส้นกลางใบรูปอักษรรู

5. ปากใบแบบพาราไซติก

5. ปากใบแบบแอนอโมไซติก

3 กลุ่ม และลักษณะที่สามารถนำมาใช้ระบุชนิดได้อีกคือ รูปร่างขอบใบ และการมีหรือไม่มีขน โดยขนในวิธีการลอกผิวใบส่วนมากไม่พบ ยกเว้นใน *N. oleander* พบขนแบบเซลล์เดี่ยวในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านล่าง เช่นเดียวกับการรายงานเบื้องต้นทางเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชวงศ์ลีลาวดีในประเทศไทย⁶ และพบปุ่มเล็ก ใน *Cryptolepis buchanani* แต่การศึกษาครั้งนี้พบขนแบบเซลล์เดี่ยวเพิ่มเติมใน *Toxocarpus villosus* และพบขนแบบหลายเซลล์เรียงแถวเดี่ยวใน *Holarrhena curtisii* และ *Hol. pubescens* ซึ่งแตกต่างจากการรายงานไว้ใน *Hol. curtisii* มีขนแบบเซลล์เดี่ยว และเซลล์แปลกปลอมในเนื้อเยื่อใบและกิ่ง⁶ ผลการศึกษากายวิภาคศาสตร์พืชวงศ์ลีลาวดีในครั้งนี้เป็นการรายงานครั้งแรกจำนวน 16 ชนิด อยู่ใน 3 สกุล และ 3 วงศ์ย่อย จากตัวอย่างที่ศึกษาทั้งหมดจำนวน 5 วงศ์ย่อย 29 สกุล 32 ชนิด ข้อมูลด้านกายวิภาคศาสตร์จัดเป็นลักษณะที่สำคัญในการจัดจำแนกทางด้านอนุกรมวิธานของพืช มีความหลากหลายของลักษณะ แต่ข้อมูลจากการศึกษาในครั้งนี้ยังไม่สามารถนำมาจัดกลุ่มในระดับวงศ์ย่อยได้ตามระบบการจำแนกของ Endress และ Bruyns อย่างไรก็ตามสามารถนำมาใช้ในการระบุชนิดพืชที่ศึกษาได้ โดยสามารถสร้างรูปวิธานระบุชนิดสามารถนำไปใช้ในการจำแนกร่วมกันกับลักษณะอื่นได้นอกจากนี้ผลการศึกษาทางด้านกายวิภาคศาสตร์ใบและกิ่งพบปริมาณของเซลล์สะสมสารในเนื้อเยื่อใบมากกว่ากิ่ง ซึ่งพืชที่ศึกษามี 3 ชนิดที่สามารถรับประทานเป็นผักสดได้ คือ ขจร ส้มลม และจุมูกปลาหลด (*Oxystelma esculentum*) พบสารสะสมในเนื้อเยื่อใบและกิ่ง ดังนั้นข้อมูลการสะสมผลึกแคลเซียมออกซาเลต และสารสะสมต่างๆ ในบริเวณเนื้อเยื่อพืช สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อชี้แนะ และต้องระมัดระวังในการเลือกนำพืชผักสมุนไพรมาบริโภค เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโรคนี้ไว้ได้อีกทั้งข้อมูลทางกายวิภาคศาสตร์ของเซลล์แปลกปลอม เซลล์น้ำยาง และเซลล์สะสมสารอื่นๆ อาจมีคุณสมบัติทางเคมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางเภสัช หรือพัฒนาทางด้านการค้าได้อีกต่อไป

Pentalinon luteum

Carissa carandas

Vallisneria spiralis

Wrightia religiosa

2. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบหลายเหลี่ยม
 6. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนเรียบ
 7. กิ่งในภาคตัดตามขวางมีเซลล์สะสมสาร
 8. กิ่งในภาคตัดตามขวางมีขน
 9. ปากใบแบบพาราไซติก *Ichnocarpus frutescens*
 9. ปากใบแบบแอนอโมไซติก *Oxystelma esculentum*
 8. กิ่งในภาคตัดตามขวางไม่มีขน
 10. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางมน *Allamanda cathartica*
 10. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางเรียวหรือแหลม
 11. เส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางมีผลึกรูปดาวและรูปเม็ดทราย *Strophanthus gratus*
 11. เส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางไม่มีเซลล์สะสมสาร *Plumeria obtuse*
 7. กิ่งในภาคตัดตามขวางไม่มีเซลล์สะสมสาร
 12. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านท้องใบรูปอักษรวี *Thevetia peruviana*
 12. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านท้องใบรูปอักษรยู
 13. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเป็นริ้ว
 14. รูปร่างมัดท่อลำเลียงเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางรูปอักษรยู *Holarrhena curtisii*
 14. รูปร่างมัดท่อลำเลียงเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางรูปอักษรวี *Holarrhena pubescens*
 13. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเป็นปุ่มหรือเรียบ
 15. ปากใบแบบพาราไซติก
 16. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเป็นปุ่ม *Alstonia scholaris*
 16. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเรียบ *Telosma minor*
 15. ปากใบแบบแอนอโมไซติกหรือแอนไอไซไซติก
 17. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางมน *Gomphocarpus physocarpus*
 17. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางเรียว
 18. เส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางไม่มีขน *Cryptostegia grandiflora*
 18. เส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางมีขนแบบหลายเซลล์และตุ่มใบ *Parameria laevigata*
6. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนเป็นริ้วหรือเป็นปุ่ม
 19. เนื้อเยื่อชั้นผิวจากการลอกผิวใบไม่มีเซลล์สะสมสาร
 20. ปากใบแบบพาราไซติก
 21. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางมน
 22. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนเป็นริ้ว *Aganonerion polymorphum*
 22. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านบนเป็นปุ่ม *Plumeria rubra*
 21. รูปร่างขอบใบในภาคตัดตามขวางเรียว
 23. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบโค้งขึ้น *Kopsia angustipetala*
 23. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบตรง *Toxocarpus villosus*
 20. ปากใบแบบแอนอโมไซติกหรือไฮโคลไซติก
 24. ปากใบแบบไฮโคลไซติก *Hoya micrantha*
 24. ปากใบแบบแอนอโมไซติก
 25. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเป็นริ้ว *Aganosma marginata*
 25. ลวดลายผิวเคลือบคิวทินในเนื้อเยื่อชั้นผิวด้านล่างเรียบ *Pentasachme caudatum*

19. เนื้อเยื่อชั้นผิวจากการลอกผิวใบมีเซลล์สะสมสาร
26. ปากใบต่ำกว่าเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ *Nerium oleander*
26. ปากใบระดับเดียวกับเซลล์เนื้อเยื่อชั้นผิวใบ *Cryptolepis buchanani*
1. เนื้อเยื่อชั้นผิวใบพบปากใบทั้งสองด้าน
27. ปากใบแบบพาราไซติก
28. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านท้องใบตรง *Alyxia reinwardtii*
28. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านท้องใบรูปอักษรยู
29. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบตรง *Calotropis gigantea*
29. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบโค้งขึ้น *Rauvolfia cambodiana*
27. ปากใบแบบแอนอโมไซติก
30. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านหลังใบรูปเหลี่ยม *Hoya kerrii*
30. รูปร่างเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นผิวใบด้านหลังใบหยักลึก
31. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบโค้งขึ้น *Catharanthus roseus*
31. รูปร่างเส้นกลางใบในภาคตัดตามขวางด้านหลังใบเกือบตรง *Ceropegia thailandica*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนากำลังคนด้านวิทยาศาสตร์ (ทุนเรียนดีวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย) ที่สนับสนุนทุนการศึกษา ขอขอบคุณทุนอุดหนุนส่งเสริมการวิจัยระดับบัณฑิต ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และขอขอบคุณสถาบันวิจัยวลัยรุกขเวช มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ก่องกานดา ชยามฤต. ลักษณะประจำวงศ์พรรณไม้. กรุงเทพมหานคร: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช; 2548
- ดำรง วัฒนะโชติ วิโรจน์ ชดช้อย และวิชัย หงส์ไพฑูรย์. คู่มือคู่มือเรื่องโรคนี้ทางเดินปัสสาวะ. โครงการควบคุมโรคนี้ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข: กรุงเทพมหานคร; 2533
- ทยา กิจการคุณ. อาหารดอกไม้. กรุงเทพมหานคร: บริษัท อัมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน); 2545
- นิจศิริ เรืองรังสี และรัชชชัย มังคละคุปต์. สมุนไพรไทย. บี เฮลท์ดี: กรุงเทพมหานคร; 2547
- นฤมล ผิวเผื่อน. ผลึกแคลเซียมออกซาลเลตและปริมาณออกซาลเลตในพืชผักบางชนิดในจังหวัดหนองคาย. วารสารวิทยาศาสตร์ มข.42(4): 820-829; 2557
- วิโรจน์ เกสรบัว และอนิษฐาน ศรีนวล. การศึกษาเบื้องต้นทางเนื้อเยื่อชั้นผิวใบของพืชวงศ์ลิ้นทม (Apocynaceae) ในประเทศไทย. วารสารพฤกษศาสตร์ไทย. 7(1): 1-15; 2558
- องค์การสวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์. ไม้ดอกไม้ประดับ. บริษัทด้านสุทธนาการพิมพ์ จำกัด: กรุงเทพมหานคร; 2536
- Endress M.E, Bruyns PV. A revised Classification of the Apocynaceae s.l. The Botanical Review 66 (1): 1-56; 2000
- Garces, J.M., Guanzon, NP. and Iguialada, RA C. Mopho-anatomical charaterization of yellow bell *Allamanda cathartica* (Apocynaceae) leaves, stem and roots. Library Resources & Technical Services; 2015
- Hesse, A. and Siener, R. Current aspects of epidemiology and nutrition in urinary stone disease. World Journal of Urology 15: 165-171; 1997
- Korkijthamkul, W., Riengrojpitak, S. and Traiperm, P. Microscopic study of plants containing cardiac glycoside in Apocynaceae. Thai Journal of Botany 5: 119-131; 2013
- Manit kidyoo. *Hoya mirabilis* Kidyoo, a New Species of *Hoya* (Asclepiadaceae) from Western Thailand. Tropical Natural History 12(1): 21-28; 2012
- Metcalfe, C.R. & Chalk, L. Anatomy of the Dicotyledons. Vol. 1. Oxford University Press: London; 1957
- Middleton D.J. Apocynaceae. In T. Santisuk & K. Larsen (eds.), Flora of Thailand, Vol. 7 Part 1, pp. 1-153. Diamond Printing Co. Ltd: Bangkok; 1999
- Middleton D.J. An update on the Apocynaceae in Thailand. Thai Forest Bulletin (Botany): 143-155; 2009

ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน ในอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย

Species diversity of butterflies in Phu Ruela National Park, Phu Ruela district, Loei province

กิตติ ตันเมืองปัก,¹ ศิริกรรณ์ ศรีโพธิ์,¹ พิสุทธิ์ เอกอำนวย²

Kitti Tanmuangpak,^{1*} Sirikorn Sripho,¹ Pisuth Ek-Amnuay²

Received: 20 February 2017 ; Accepted: 3 August 2017

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความหลากหลาย การกระจายตัว และความชุกชุมสัมพันธ์ของผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติภูเรือ จังหวัดเลย ระหว่างเดือนมีนาคม 2556 ถึงเดือนมกราคม 2557 โดยการโฉบจับผีเสื้อกลางวันและบันทึกข้อมูลในเส้นทางศึกษาธรรมชาติ (Line Transect) 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 สวนหินสระสวรรค์ (1,341-1,350 เมตรจากระดับน้ำทะเล) และเส้นทางที่ 2 น้ำตกห้วยไผ่ (910-919 เมตรจากระดับน้ำทะเล) เส้นทางละ 3 กิโลเมตร ผลการสำรวจพบผีเสื้อกลางวัน 726 ตัวอย่าง 5 วงศ์ 91 สกุล 161 ชนิด เส้นทางสวนหินสระสวรรค์ พบทั้งหมด 350 ตัวอย่าง 5 วงศ์ 67 สกุล 111 ชนิด และเส้นทางน้ำตกห้วยไผ่ พบทั้งหมด 376 ตัวอย่าง 5 วงศ์ 60 สกุล 100 ชนิด เมื่อวิเคราะห์ดัชนีความหลากหลาย (Shannon-Weiner's index; H') ค่าการกระจายตัว (E_{H}) และความชุกชุมสัมพันธ์ พบว่าเส้นทางสวนหินสระสวรรค์มีค่าความหลากหลาย และค่าการกระจายตัว เท่ากับ 4.221 และ 0.896 ตามลำดับ โดย *Ypthima baldus baldus* (Fabricius, 1775) มีความชุกชุมสัมพันธ์มากที่สุด เส้นทางน้ำตกห้วยไผ่มีค่าความหลากหลาย และค่าการกระจายตัว เท่ากับ 3.951 และ 0.858 ตามลำดับ โดย *Eurema hecabe hecabe* (Linnaeus, 1758), *Eurema simulatrix sarinoides* (Fruhstorfer, 1910), *Junonia lemonias lemonias* (Linnaeus, 1758) และ *Ypthima savara savara* (Grose-smith, 1887) มีค่าความชุกชุมสัมพันธ์มากที่สุด ชนิดของผีเสื้อกลางวันทั้งสองเส้นทางมีความคล้ายคลึงกันปานกลาง ($S_s = 0.47$) สรุปได้ว่าผีเสื้อกลางวันในอุทยานแห่งชาติภูเรือ มีความหลากหลายสูงและเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้

คำสำคัญ: ความหลากหลาย ผีเสื้อกลางวัน อุทยานแห่งชาติภูเรือ

Abstract

The aims of this research were comparative studies in species diversity and abundance of butterfly communities, which were assessed at different elevations in mixed-deciduous forest of Phu Ruela National Park, Loei Province from March 2013 to January 2014. Butterflies were collected by sweeping along line transects (3 km long) at two different elevations. The two transects were (1) the Suanhin Sra Sawan natural trail (1,341-1,350 m above sea level) and (2) the Huayphai Waterfall natural trail (910-919 m above sea level). A total of 726 individuals representing 161 species in 91 genera belonging to five families were recorded. Of these, 350 individuals, 111 species in 67 genera belonging to five families were found at Suanhin Sra Sawan natural trail and 100 species in 60 genera belonging to five families, totaling 376 individuals at Huayphai Waterfall natural trail. Differences in species diversity and abundance of butterflies between the transects were analyzed. The Shannon-Weiner's index of diversity (H') and Evenness index (E_{H}) were highest at high elevation and lowest at low elevation. *Ypthima baldus baldus* (Fabricius, 1775) had the highest

¹ สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

² สวนสัตว์แมลงสยาม ตำบลแม่แรม อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ 50180

¹ Majority of Biology, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University

² Siam Insect Zoo, Mae Ram, Mae Rim, Chigh Mai, 50180

* Corresponding author; Kitti Tanmuangpak, Majority of Biology, Department of Science, Faculty of Science and Technology, Loei Rajabhat University, Mueang District, Loei Province 42000, Thailand. Landsnail2015@hotmail.com

abundance at high elevation while at lower sites, *Eurema hecabe hecabe* (Linnaeus, 1758), *Eurema simulatrix sarinoides* (Fruhstorfer, 1910), *Junonia lemonias lemonias* (Linnaeus, 1758) and *Ypthima savara savara* (Grose-smith, 1887) were most abundant. Butterfly species assemblages from high and low elevation transect were moderately similar ($S_s = 0.47$). Finally, the result suggested that high diversity of butterflies at Phu Ruea National Park, might reflect a high quality habitat, and butterflies could be selected as a good bioindicator of habitat.

Keywords: species richness, butterflies, Phu Ruea National Park

บทนำ

ปัจจุบันโลกตระหนักและให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์ความหลากหลายทางชีวภาพอย่างยิ่งย่น โดยเฉพาะแมลงในกลุ่มผีเสื้อกลางวัน¹⁻⁴ ที่มีการศึกษาทั่วโลก ซึ่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นับได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายทางชีวภาพที่สำคัญมากแห่งหนึ่งของโลก (hot spot)⁵⁻⁸ และพบว่าสิ่งมีชีวิตหลายชนิดเป็นสิ่งมีชีวิตเฉพาะถิ่น (endemic species)⁵⁻⁷ มีการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ประเทศเวียดนาม⁹⁻¹¹ ประเทศมาเลเซีย¹² ประเทศอินโดนีเซีย¹³⁻¹⁶ ประเทศฟิลิปปินส์¹⁷ และในเขตรัฐสุลต่านบรูไน ซึ่งทั้งหมดมีความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันเกินกว่าสูง

ในประเทศไทยมีการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันอย่างต่อเนื่อง โดย Ek-Amnuay (2012)¹⁸ พบความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันทั้งหมด 1,604 ชนิด และมีรายงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่จังหวัดเลย กิตติและคณะ¹⁹ ศึกษาที่ป่าชุมชน อำเภอภูเรือ โดยงานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาที่อุทยานแห่งชาติภูเรือ มีความสูงถึง 1,365 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง และยังเป็นแหล่งต้นน้ำที่สำคัญเป็นพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งสภาพป่าที่มีความแตกต่างกันย่อมทำให้พืชอาหารและที่อยู่อาศัยของแมลงมีความแตกต่างกัน แต่จากความงามตามธรรมชาติและอากาศที่หนาวเย็นทำให้อุทยานแห่งนี้มีนักท่องเที่ยวมาเยือนเป็นจำนวนมากในแต่ละปี ทำให้มีปริมาณมลพิษและขยะที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูการท่องเที่ยว ซึ่งอาจจะเกิดสาเหตุหนึ่งที่สำคัญต่อการรบกวนถิ่นที่อยู่อาศัยและวิถีการดำรงชีวิตส่งผลต่อการลดจำนวนลงของผีเสื้อกลางวัน ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีความสำคัญในการบ่งชี้ถึงความหลากหลายของผีเสื้อกลางวัน ในยุคที่การท่องเที่ยวของอุทยานแห่งชาติภูเรือ

กำลังเฟื่องฟูและรุ่งเรือง เพื่อจะเป็นการนำเอาข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์และบริหารจัดการพื้นที่ได้อย่างดียิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความหลากหลาย ความชุกชุมสัมพันธ์ของผีเสื้อกลางวัน ในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอ ภูเรือ จังหวัดเลย
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดของผีเสื้อกลางวัน ในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย

วิธีการวิจัย

การเก็บและรวบรวมตัวอย่าง

สำรวจและเก็บรวบรวมตัวอย่างผีเสื้อกลางวันในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือ (Figure 1) โดยวางเส้นทางสำรวจผีเสื้อกลางวัน (butterfly transect)²⁰ 2 แนว ตามระดับความสูง 2 ระดับ ระยะทาง 3 กิโลเมตร และกว้าง 10 เมตร โดยใช้เส้นทางศึกษาธรรมชาติสวนหินสระสวรรค์ (17°30'470", N และ 101°19'596", E) สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,341-1,350 เมตร และเส้นทางศึกษาธรรมชาติน้ำตกห้วยไผ่ (17°28'885", N และ 101°21'108", E) ซึ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 910-919 เมตร (Figure 2) สำรวจโดยใช้สวิงตวัดจับผีเสื้อกลางวันในแนวสำรวจเส้นทางละ 1 วัน โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลาได้แก่ เวลา 10.00 – 12.00 น. และเวลา 14.00-16.00 น. สำรวจสองเดือนต่อครั้ง จำนวน 6 ครั้ง ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 ถึงเดือนมกราคม 2557

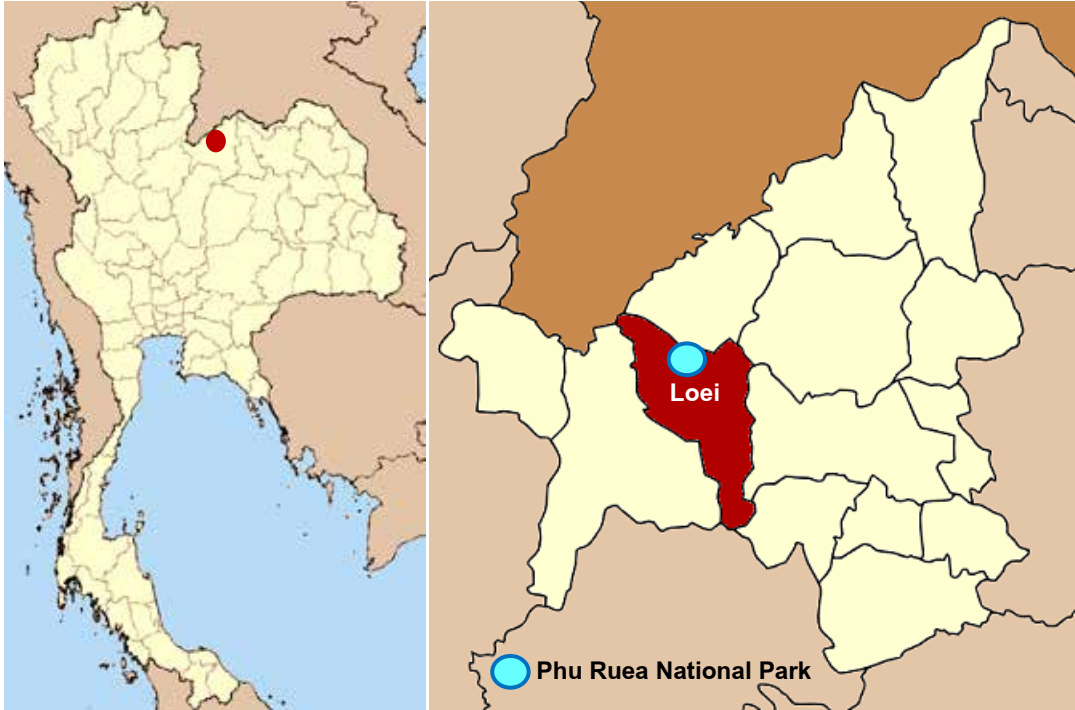


Figure 1 Map of Phu Ruea National Park³²

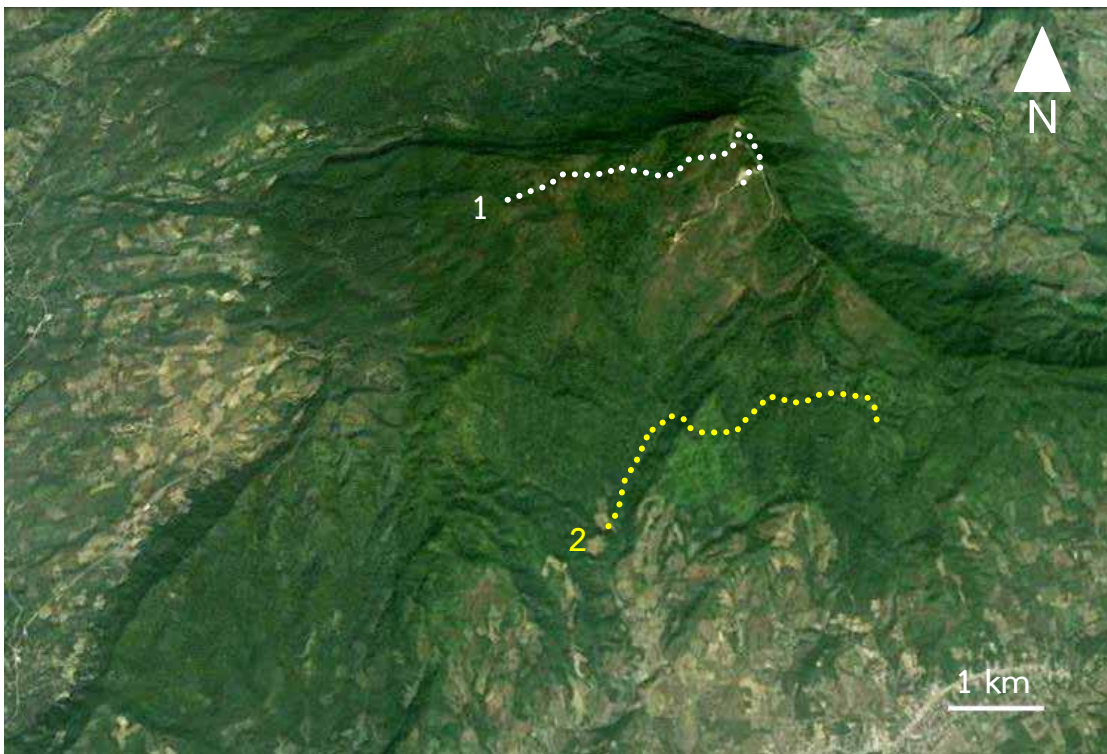


Figure 2 Line transect trails for butterflies collection in Phu Ruea National Park, (1) Suanhin Sra Sawan natural trail and (2) Huayphai Waterfall natural trail.³³

การระบุชนิด

นำตัวอย่างผีเสื้อกลางวันรวบรวมได้มาทำการระบุชนิด โดยใช้คู่มือ Butterflies in Thailand (Ek-Amnuay, 2012)¹⁸ และนำไปเทียบตัวอย่างเพื่อระบุชนิดที่พิพิธภัณฑ์แมลงสยาม อำเภอมะริม จังหวัดเชียงใหม่ และที่ศูนย์กีฏวิทยา

ป่าไม้ที่ 2 ชุมแพ (กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช) จังหวัดขอนแก่น โดยตัวอย่างผีเสื้อกลางวันจะทำการเก็บตัวอย่างและนำออกนอกพื้นที่เพื่อนำไประบุชนิด เก็บตัวอย่างชนิดละไม่เกิน 5 ตัว โดยการจับครั้งถัดไปหากพบเป็นผีเสื้อชนิดเดียวกันจะบันทึกภาพและข้อมูล จากนั้นจะปล่อยคืนสู่

ธรรมชาติในสภาพที่ผีเสื้อสมบูรณ์ เมื่อระบุชนิดเสร็จแล้ว เรียบร้อยจะนำมาจัดแสดงไว้ที่อุทยานแห่งชาติภูเรือ และเก็บไว้ที่พิพิธภัณฑ์วิทยุวิทยาป่าไม้ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช เพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงต่อไป

การวิเคราะห์ข้อมูล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

ดัชนีความหลากหลายของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's index, H')²¹ ดังนี้

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i) (\ln p_i)$$

โดยที่ p_i = สัดส่วนระหว่างจำนวนตัวของผีเสื้อกลางวันชนิดที่ i ต่อจำนวนตัวของผีเสื้อกลางวันทั้งหมด (เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, s$)

s = จำนวนชนิดของผีเสื้อกลางวันทั้งหมดในเส้นทางศึกษา

\ln = ล็อกการิทึมฐานธรรมชาติ (natural logarithm)

ดัชนีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของ Shannon-Wiener (Shannon-Wiener's Evenness index, E_H)²¹

$$E_H = H' / H_{max} = H' / \ln S$$

โดยที่ H' = ค่าความหลากหลายชนิดของ Shannon-Wiener
 S = species richness (จำนวนชนิดของสิ่งมีชีวิต)

E_H มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (ค่ามากที่สุดคือ 1 หมายความว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนตัวเท่ากัน หรือเรียกว่ามีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ)

สูตรการหาค่าความชุกชุม (ร้อยละ)

$$\text{ความชุกชุม} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พบผีเสื้อกลางวันชนิดนั้น} \times 100}{\text{จำนวนครั้งที่สำรวจผีเสื้อกลางวันทั้งหมด}}$$

สัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง

วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของชนิดผีเสื้อกลางวันที่พบใน 2 เส้นทาง โดยใช้ Sorensen's Similarity Coefficient²¹

$$S_s = \frac{2a}{2a+b+c}$$

เมื่อ S_s คือค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (Sorensen's Similarity Coefficient)

a คือ จำนวนชนิดที่พบในเส้นทางที่ 1 และ 2 (number of species in sample A and B)

b คือ จำนวนชนิดที่พบในเส้นทางที่ 1 แต่ไม่พบในเส้นทางที่ 2 (number of species in sample B but not in sample A)

c คือ จำนวนชนิดที่พบในเส้นทางที่ 2 แต่ไม่พบในเส้นทางที่ 1 (number of species in sample A but not in sample B)

ผลการวิจัย

การสำรวจความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเส้นทางศึกษาธรรมชาติสวนหินสระสวรรค์ (เส้นทางที่ 1) และเส้นทางศึกษาธรรมชาติน้ำตกห้วยไผ่ (เส้นทางที่ 2) อุทยานแห่งชาติภูเรือ (Figure 4) พบผีเสื้อกลางวัน 5 วงศ์ 91 สกุล 161 ชนิด โดย วงศ์ผีเสื้อหางติ่ง (Family Papilionidae) พบ 5 สกุล 10 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ (Family Pieridae) พบ 8 สกุล 18 ชนิด วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟู (Family Nymphalidae) พบ 36 สกุล 78 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน (Family Lycaenidae) พบ 32 สกุล 41 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็ว (Family Hesperidae) พบ 10 สกุล 14 ชนิด (Table 1,3) เส้นทางที่ 1 พบทั้งหมด 5 วงศ์ 67 สกุล 111 ชนิด แบ่งออกได้ดังนี้ วงศ์ผีเสื้อหางติ่งพบ 4 สกุล 7 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำพบ 7 สกุล 15 ชนิด วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟูพบ 28 สกุล 55 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงินพบ 21 สกุล 27 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็วพบ 7 สกุล 7 ชนิด ส่วนเส้นทางที่ 2 นั้น พบทั้งหมด 5 วงศ์ 60 สกุล 100 ชนิด แบ่งออกได้ดังนี้ วงศ์ผีเสื้อหางติ่งพบ 4 สกุล 5 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำพบ 4 สกุล 9 ชนิด วงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟูพบ 24 สกุล 49 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงินพบ 21 สกุล 27 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็วพบ 7 สกุล 10 ชนิด (Table 1,3)

ดัชนีความหลากหลายชนิดในเส้นทางที่ 1 มีค่าดัชนีความหลากหลายชนิดเท่ากับ 4.221 สูงกว่าเส้นทางที่ 2 ที่มีค่าเท่ากับ 3.951 และตลอดทั้งปีมีค่าเท่ากับ 4.420 ซึ่งมีความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันสูง ดัชนีการกระจายตัวในเส้นทางที่ 1 พบว่าดัชนีการกระจายตัวมีค่าเท่ากับ 0.896 ซึ่งถือผีเสื้อกลางวันแต่ละชนิดนั้นมีการกระจายตัวสม่ำเสมอค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี และเส้นทางที่ 2 ค่าที่ได้นั้นค่อนข้างสูงเช่นกัน มีค่าเท่ากับ 0.858 และตลอดทั้งปีที่ทำการสำรวจพบว่ามีค่าดัชนีการกระจายตัวเท่ากับ 0.870 (Table 2)

เมื่อนำข้อมูลของทั้งสองเส้นทางตลอดทั้งปีมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.47 กล่าวได้ว่าความคล้ายคลึงของผีเสื้อกลางวันทั้งสองเส้นทางนั้นมีความคล้ายคลึงกันปานกลาง และความชุกชุมของผีเสื้อกลางวัน เส้นทางที่ 1 ชนิดที่มีความชุกชุมมากที่สุดได้แก่ *Ypthima baldus baldus* (Fabricius, 1775) (ผีเสื้อสีดำลจุด

ตาห้าธรรมดา) และ *Eurema hecabe hecabe* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา) มีค่า 83.33% รองลงมาได้แก่ *Eurema brigitta hainana* (Moore, 1878) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา), *Neptis hylas kamarupa* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อกะลาสีธรรมดา), *Junonia lemonias lemonias* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อแพนซีสีตาล) และ *Parantica aglea melanoides* (Moore, 1883) (ผีเสื้อลายเสือขีดยาว) มีค่าเท่ากับ 66.67% (Figure 3) และเส้นทางที่ 2 ชนิดที่มีความชุกชุมมากที่สุดได้แก่ *Eurema hecabe hecabe* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา), *Eurema simulatrix sarinoides* (Fruhstorfer, 1910) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา), *Junonia lemonias lemonias* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อแพนซีสีตาล) และ *Ypthima savara savara*

(Grose-smith, 1887) (ผีเสื้อสีตาลจุดตาห้าสีจาง) มีค่าเท่ากับ 83.33% รองลงมาได้แก่ *Ypthima baldus baldus* (Fabricius, 1775) (ผีเสื้อสีตาลจุดตาห้าธรรมดา) (Figure 3), *Eurema blanda silhetana* (Wallace, 1867) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา) และ *Mycalesis intermedia* (Moore, 1892) (ผีเสื้อตาลพุ่มคั่นกลาง) มีค่าเท่ากับ 66.67% เมื่อวิเคราะห์ค่าความชุกชุมสัมพัทธ์ร่วมกันทั้งสองเส้นทางศึกษา พบว่า *Eurema hecabe hecabe* (Linnaeus, 1758) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา), *Eurema simulatrix sarinoides* (Fruhstorfer, 1910) (ผีเสื้อแฉกรรรมดา) และ *Parantica aglea melanoides* (Moore, 1883) (ผีเสื้อลายเสือขีดยาว) มีความชุกชุมมากที่สุดเท่ากับ 100%

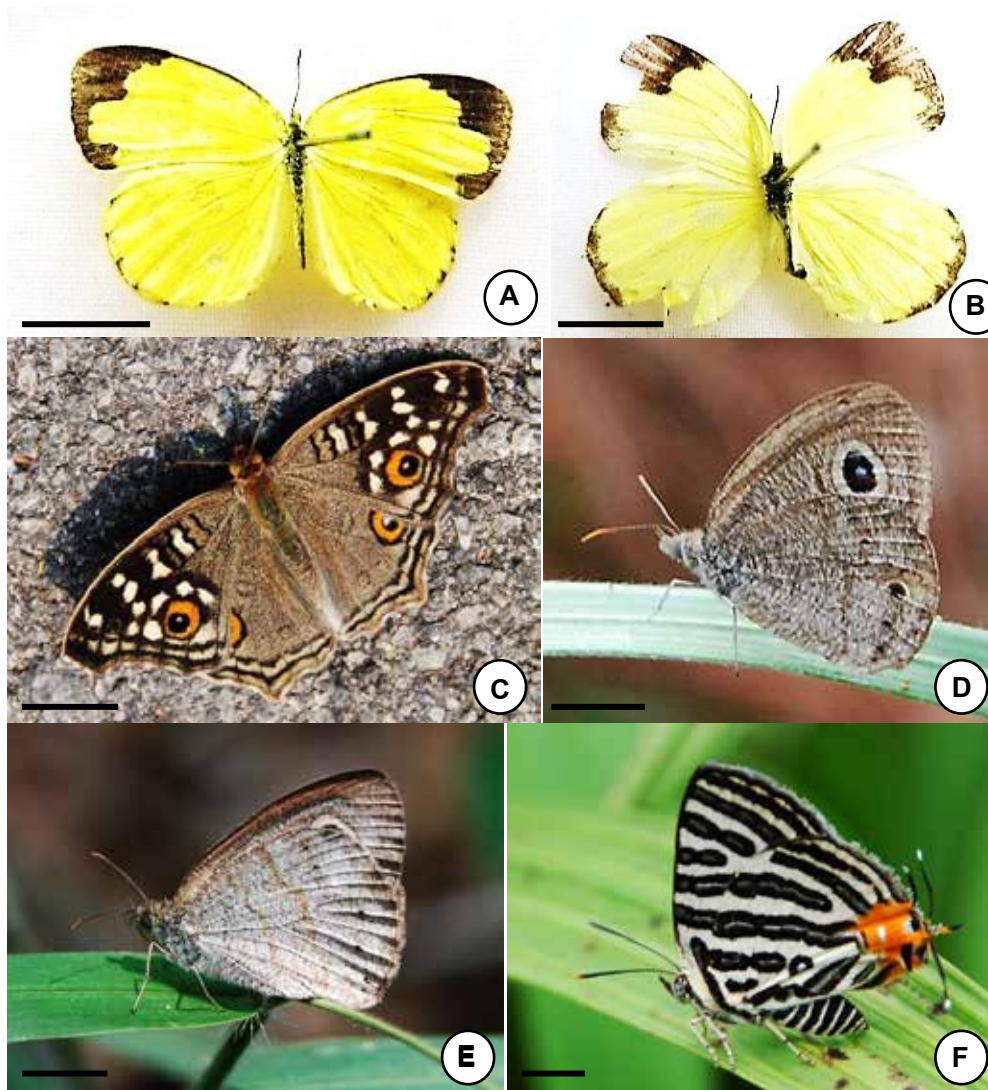


Figure 3 Some butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 and January 2014, (A) *Eurema hecabe hecabe* (B) *Eurema simulatrix sarinoides* (C) *Junonia lemonias lemonias* (D) *Ypthima baldus baldus* (E) *Ypthima savara savara* and (F) *Cigaritis syama terana* (Bar 1 cm).

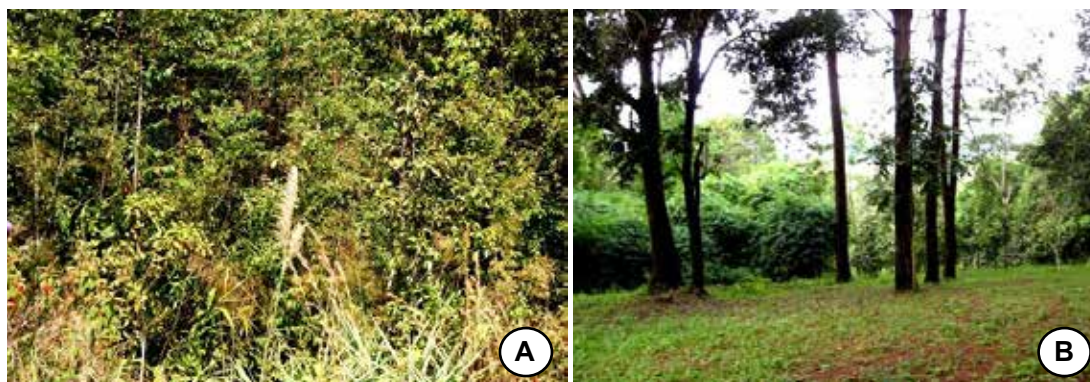


Figure 4 Site collections in Phu Ruea National Park, (A) Suanhin Sra Sawan natural trail and (2) Huayphai Waterfall natural trail.

Table 1 Number of genera and species of five families of butterflies in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.

Family	Number of genera and species of butterflies					
	Suanhin Sra Sawan		Huayphai Waterfall		Total	
	Genera	Species	Genera	Species	Genera	Species
Papilionidae	4	7	4	5	5	10
Pieridae	7	15	4	9	8	18
Nymphalidae	28	55	24	49	36	78
Lycaenidae	21	27	21	27	32	41
Hesperiidae	7	7	7	10	10	14
Total	67	111	60	100	91	161

Table 2 Diversity index (Shannon-Weiner's index) and Evenness index (E_H) of butterflies in Phu Ruea National Park in two line transect trails between March 2013 - January 2014.

Sites	Indices	
	Diversity index (H')	Evenness index (E_H)
Suanhin Sra Sawan	4.221	0.896
Huayphai Waterfall	3.951	0.858
Total	4.420	0.870

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals		
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails	Total	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Family Papilionidae																
1	<i>Atrophaneura varuna zaleucus</i>	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	3
2	<i>Graphium agamemnon agamemnon</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
3	<i>Graphium sarpedon sarpedon</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
4	<i>Pachliopta aristolochiae goniopeltis</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
5	<i>Papilio clytia clytia</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
6	<i>Papilio demoleus malayanus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
7	<i>Papilio helenus helenus</i>	5	0	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	11	1	12
8	<i>Papilio memnon agenor</i> (f. <i>gynandromorph</i>)	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2
9	<i>Papilio polytes romulus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10	<i>Troides aeacus aeacus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Total	10	3	6	3	2	2	0	0	0	0	0	0	18	8	26
Family Pieridae																
11	<i>Appias albina darada</i>	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	1	7
12	<i>Catopsilia pomona pomona</i> (f. <i>alcmeone</i>)	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
13	<i>Catopsilia pomona pomona</i> (f. <i>crocale</i>)	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	8
14	<i>Catopsilia pomona pomona</i> (f. <i>jugurtha</i>)	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	7
15	<i>Catopsilia pomona pomona</i> (f. <i>hilaria</i>)	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
16	<i>Cepora nadina nadina</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
17	<i>Delias descombesi descombesi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
18	<i>Delias pasithoe beata</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
19	<i>Eurema blanda silhetana</i>	0	1	0	6	0	0	0	3	0	7	0	0	0	17	17
20	<i>Eurema brigitta hainana</i>	1	0	0	0	5	0	9	0	0	0	1	0	16	0	16
21	<i>Eurema brigitta senna</i>	1	0	0	0	0	0	11	1	1	0	0	0	13	1	14
22	<i>Eurema hecabe hecabe</i>	1	0	1	1	2	10	0	4	1	9	1	2	6	26	32
23	<i>Eurema laeta pseudolaeta</i>	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	2
24	<i>Eurema simulatrix sarinoides</i>	0	2	0	6	1	3	6	7	0	4	1	0	8	22	30
25	<i>Eurema simulatrix tecmessa</i>	2	5	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	2	9	11
26	<i>Leptosia nina nina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
27	<i>Pieris rapae crucivora</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
28	<i>Prioneris thestylis thestylis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	Total	8	8	32	14	8	14	27	17	2	24	3	2	80	79	159

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.
(Continue)

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals			
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails		Total	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
Family Nymphalidae																	
29	<i>Ariadne merione tapestrina</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
30	<i>Athyma cama cama</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	3	
31	<i>Athyma larymna siamensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	
32	<i>Athyma nefte asita</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	2	
33	<i>Athyma opalina shan</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	
34	<i>Athyma perius perius</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	
35	<i>Athyma selenophora bahura</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	
36	<i>Cethosia biblis biblis</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	4	
37	<i>Cethosia biblis perakana</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	4	0	4	
38	<i>Cirrorhroa tyche mithila</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
39	<i>Cupha erymanthis erymanthis</i>	0	0	0	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7	7	
40	<i>Cynitia lepidae sthavara</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2	
41	<i>Dichorragia nesimachus nesimachus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
42	<i>Enispe duranius corbeti</i>	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	
43	<i>Euploea core godartii</i>	1	6	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	11	
44	<i>Euploea mulciber mulciber</i>	0	6	5	4	0	0	0	0	0	0	1	5	6	15	21	
45	<i>Euploea orontobates</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
46	<i>Euripus nyctelius nyctelius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	
47	<i>Euthalia alpheda verena</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
48	<i>Faunis eumeus incerta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	2	
49	<i>Hestina nama nama</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
50	<i>Hypolimnas bolina jacintha</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	
51	<i>Ideopsis vulgaris contigua</i>	0	0	1	2	0	0	0	0	1	4	0	0	2	6	8	
52	<i>Ideopsis vulgaris macrina</i>	0	1	0	0	1	0	0	0	1	4	0	0	2	5	7	
53	<i>Junonia almana almana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
54	<i>Junonia iphita iphita</i>	0	1	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3	4	7	
55	<i>Junonia lemonias lemonias</i>	0	0	0	1	2	5	1	5	3	6	2	1	8	18	26	
56	<i>Kallima inachus siamensis</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	
57	<i>Laringa harsfieldi glaucescens</i>	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	
58	<i>Lethe confusa apara</i>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	0	4	1	5	
59	<i>Lethe eropa niladana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	
60	<i>Lethe makara krijnana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	2	

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.
(Continue)

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals			
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails	Total		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
61	<i>Lethe gulnihal peguana</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
62	<i>Lethe rohria rohria</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2
63	<i>Lexias pardalis dirteana</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2
64	<i>Lexias pardalis jadeitina</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
65	<i>Melanitis leda leda</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3	4	4
66	<i>Melanitis zitenius auletes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1
67	<i>Mycalesis adamsoni</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
68	<i>Mycalesis anaxioides</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	3	3	3
69	<i>Mycalesis anaxias aemate</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	3	3	3
70	<i>Mycalesis distanti</i>	0	0	0	0	1	0	0	9	0	0	0	0	1	9	10	10
71	<i>Mycalesis francisca sanatana</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2
72	<i>Mycalesis gotama charaka</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
73	<i>Mycalesis intermedia</i>	0	1	0	0	0	2	0	3	1	1	0	0	1	7	8	8
74	<i>Mycalesis maianeas maianeas</i>	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2
75	<i>Mycalesis perseoides</i>	0	0	0	0	0	1	5	0	1	2	1	0	7	3	10	10
76	<i>Neptis clinia leuconata</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
77	<i>Neptis hylas kamarupa</i>	6	2	2	0	0	0	1	0	0	0	2	5	11	7	18	18
78	<i>Neptis hylas papaja</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
79	<i>Neptis sappho astola</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2
80	<i>Neptis yerburii pandoces</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
81	<i>Neptis zaida putoia</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
82	<i>Parasarpa dudu dudu</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1
83	<i>Pantoporia hordonia hordonia</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3	3	3
84	<i>Parantica aglea melanoides</i>	2	4	1	0	1	0	1	0	0	2	0	1	5	7	12	12
85	<i>Parantica melaneus plataniston</i>	0	0	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	5	1	6	6
86	<i>Parantica sita ethologa</i>	0	0	2	0	3	2	1	0	0	0	0	0	6	2	8	8
87	<i>Parthenos sylvia apicalis</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2
88	<i>Penthema darlisa melama</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	2	2
89	<i>Phaedyma columella martabana</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	4	4	4
90	<i>Phalanta alcippe alcippoides</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
91	<i>Phalanta phalanta phalanta</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2
92	<i>Polyura athamas samatha</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
93	<i>Tanaecia julii odilina</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
94	<i>Thaumantis diores diores</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.
(Continue)

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals		
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails	Total	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
95	<i>Tirumala septentrionis septentrionis</i>	0	0	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4	2	6
96	<i>Vindula dejone erotella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
97	<i>Vindura erota erota</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	3
98	<i>Ypthima baldus baldus</i>	5	2	4	1	2	6	8	0	12	14	0	0	31	23	54
99	<i>Ypthima baldus newboldi</i>	0	0	0	0	0	0	28	0	2	0	0	0	30	30	
100	<i>Ypthima horsfieldii humei</i>	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	3	5	8
101	<i>Ypthima huebneri</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	
102	<i>Ypthima lisandra bara</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	
103	<i>Ypthima pandocus corticaria</i>	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	5	
104	<i>Ypthima savara savara</i>	0	4	0	1	2	2	0	1	0	0	0	2	2	10	12
105	<i>Ypthima similis similis</i>	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	4	5
106	<i>Ypthima singorensis indosinica</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	3	0	3
	Total	27	37	42	22	30	32	31	58	24	47	19	21	173	217	390
	Family Lycaenidae															
107	<i>Abisara abnormis</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
108	<i>Abisara geza niya</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
109	<i>Acytoplepis puspa lambi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
110	<i>Arhopala eumolphus eumolphus</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
111	<i>Bothrinia chennelli celastroides</i>	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	1	12
112	<i>Catochrysops strabo strabo</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	2	1	3
113	<i>Celatoxia marginata marginata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
114	<i>Celastrina lavendularis limbata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
115	<i>Cheritra freja evansi</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2
116	<i>Cigaritis syama terana</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
117	<i>Discolampa ethion thalimar</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
118	<i>Euchrysops cnejus cnejus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
119	<i>Everes hueselii dipora</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
120	<i>Flos fulgida singhapura</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
121	<i>Heliophorus ila nolus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	2
122	<i>Hypolycaena amasa maximinianus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2
123	<i>Iraota timoleon timoleon</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
124	<i>Jamides abdul abdul</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
125	<i>Jamides alecto ageladas</i>	1	4	2	1	2	0	0	0	0	0	0	0	5	5	10
126	<i>Jamides bochus bochus</i>	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	11

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.
(Continue)

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals		
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails	Total	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
127	<i>Jamides celeno aelianus</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	4	1	0	1	6	2	8
128	<i>Jamides celeno celeno</i>	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	4	5	9
129	<i>Jamides pura pura</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	3	3
130	<i>Lampides boeticus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2
131	<i>Leptotes plinius</i>	0	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	5
132	<i>Logania regina sriwa</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
133	<i>Loxura atymnus continentalis</i>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2
134	<i>Miletus mallus mallus</i>	0	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	10	0	10
135	<i>Nacaduba angusta albida</i>	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	2
136	<i>Nacaduba kurava euplea</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
137	<i>Nacaduba subperusia lysa</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
138	<i>Pithecops corvus corvus</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
139	<i>Simiskina phalia potina</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
140	<i>Spalgis epius epius</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
141	<i>Surendra vivarna amisena</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
142	<i>Udara placidula howarhi</i>	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
143	<i>Zemerops flegya sallica</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	2
144	<i>Zizeeria maha maha</i>	2	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	3	6	9
145	<i>Zizina otis lampa</i>	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	4
146	<i>Zizina otis sangra</i>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	1	3
147	<i>Zizula hylax hylax</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	Total	27	32	10	6	10	4	14	0	5	9	3	9	69	60	129
	Family Hesperidae															
148	<i>Aeromachus pygmaeus</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
149	<i>Celaenorrhinus ladana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
150	<i>Celaenorrhinus munda maculicornis</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	2
151	<i>Hasora taminatus bhavara</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	2
152	<i>Isma protoclea bicolor</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
153	<i>Lambrix salsala salsala</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
154	<i>Notocrypta curvifascia curvifascia</i>	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	2
155	<i>Notocrypta paralysos asawa</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
156	<i>Potanthus nesta nesta</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	2	1	3
157	<i>Psolos fuligo subfasciatus</i>	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	2	3
158	<i>Tagiades japedus atticus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

Table 3 Number of each butterfly species in Phu Ruea National Park collected between March 2013 - January 2014.
(Continue)

No.	Scientific name	Number of individuals of butterflies (natural trails)												Total of individuals			
		Mar		May		July		Sep		Nov		Jan		Trails	Total		
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2				
159	<i>Tagiades japetus ravi</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
160	<i>Tagiades ultra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
161	<i>Udaspes folus</i>	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	2
	Total	2	1	0	0	4	3	3	1	1	6	0	1	10	12	22	

วิจารณ์และสรุปผล

จากการสำรวจพบผีเสื้อกลางวันที่ทั้งหมด 161 ชนิด 726 ตัว ซึ่งวงศ์ผีเสื้อขาหน้าพบจำนวนประชากรมากที่สุด 390 ตัว ทั้งหมด 78 ชนิด รองลงมาวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำพบทั้งหมด 159 ตัว 18 ชนิด วงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงินพบทั้งหมด 129 ตัว 41 ชนิด วงศ์ผีเสื้อหางติ่งพบทั้งหมด 26 ตัว 10 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อบินเร็วพบทั้งหมด 22 ตัว 14 ชนิด โดยวงศ์ผีเสื้อขาหน้าพบจำนวนประชากรมากที่สุดเมื่อเทียบกับวงศ์อื่นๆ เนื่องจากสภาพป่าที่ไม่รกทึบและมีพืชอาหารตามเส้นทางสำรวจที่อาจจะมีเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผีเสื้อในวงศ์นี้ เมื่อพิจารณาในแต่ละเส้นทางพบข้อมูลได้ดังนี้

เส้นทางศึกษาธรรมชาติสวนหินสระสวรรค์พบผีเสื้อกลางวันที่ 350 ตัว ทั้งหมด 111 ชนิด วงศ์ผีเสื้อขาหน้าพบประชากรมากที่สุด เนื่องจากสภาพพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของผีเสื้อกลางวันที่เป็นป่าเบญจพรรณ สลับกับป่าสนและป่าดิบเขาต่ำ ทำให้มีพืชพรรณกระจายอยู่เป็นจำนวนมากเป็นผลทำให้มีความหลากหลายของพืชอาหารและแหล่งหลบภัยจากศัตรู จึงทำให้พบผีเสื้อกลางวันที่ในเส้นทางนี้ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสภาพป่าไม่รกทึบและมีหญ้าและพืชวงศ์ถั่วเจริญอยู่ข้างเส้นทางสำรวจจึงเป็นอาหารสำหรับตัวเต็มวัยได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันที่ในเส้นทางที่ 2 พบว่ามีความสอดคล้องกับเส้นทางที่ 1 ทั้งจำนวนประชากรและชนิด โดยพบทั้งหมด 376 ตัว 100 ชนิด และวงศ์ผีเสื้อขาหน้าพบประชากรมากที่สุดเช่นกัน โดยเส้นทางที่ 2 นั้นจะมีพืชกลุ่มไผ่ขึ้นสลับกับป่าเบญจพรรณทำให้สภาพป่าไม่รกทึบเช่นกันสอดคล้องกับรายงานของ Vu and Vu (2011)²² ที่รายงานว่าถ้าสภาพป่าไม่รกทึบจนเกินไป และพื้นที่นั้นมีการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์จะส่งผลทำให้พบผีเสื้อกลางวันที่ค่อนข้างสูง

ความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันที่ในเส้นทางที่ 1 มีค่าความหลากหลายชนิดสูงตลอดทั้งปี ซึ่งสอดคล้องกับผลการสำรวจในเส้นทางที่ 2 โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูร้อนและต้นฤดูฝน ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่เย็นต้นมีการแตกกิ่งก้านสาขาที่ยืดอ่อนที่เหมาะสมกับการเป็นแหล่งอาหารสำหรับตัวอ่อนของผีเสื้อกลางวันที่^{23,24,25} อีกทั้งสภาพพื้นที่ป่าของทั้ง 2 เส้นทาง ของอุทยานแห่งชาติภูเรือมีความสมบูรณ์ และมีสภาพป่าที่ไม่รกทึบมาก จึงทำให้พบความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันที่ได้สูงมาก แต่จำนวนผีเสื้อกลางวันที่ชนิดและประชากรนั้นจะลดลงในช่วงฤดูฝน เนื่องมาจากมีความชื้นสูงและไม่มีแสงแดดเพียงพอที่จะทำให้ผีเสื้อกลางวันที่ออกมาตากปีก โดยผลการสำรวจนี้สอดคล้องกับ พงศ์เทพ²⁶ ที่พบว่าช่วงเดือนกันยายนจะพบความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันที่น้อย เนื่องจากเข้าสู่ช่วงฤดูฝนทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูง อีกทั้งอุณหภูมิจะค่อนข้างต่ำ ซึ่งทำให้ระยะตัวอ่อนของผีเสื้อกลางวันที่เข้าสู่ระยะฟักตัวจึงเป็นผลให้จำนวนชนิด และประชากรของผีเสื้อกลางวันที่จึงลดลงตามไปด้วย กิตติ และคณะ¹⁹ ทำการศึกษาความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันที่ในเขตป่าชุมชน อำเภอภูเรือ มีความหลากหลายสูงมากเช่นกัน ซึ่งจำนวนชนิดมีความใกล้เคียงกับข้อมูลที่สำรวจพบในอุทยานแห่งชาติภูเรือ เนื่องจากสภาพป่ามีความอุดมสมบูรณ์ และเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตจึงพบความหลากหลายได้มาก แต่จำนวนชนิดน้อยกว่าผีเสื้อกลางวันที่พบบริเวณน้ำตกในพื้นที่มรดกโลกดงพญาเย็น-เขาใหญ่ ซึ่งพบทั้งหมด 306 ชนิด ที่ทำการศึกษาโดย พงศ์เทพ²⁶

การกระจายของผีเสื้อกลางวันที่ในเส้นทางที่ 1 ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2557 มีการกระจายตัวสม่ำเสมอในเกณฑ์ที่สูง สอดคล้องกับการกระจายตัวของผีเสื้อกลางวันที่ในเส้นทางที่ 2 ที่อยู่ในเกณฑ์สูงเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าผีเสื้อกลางวันที่ในเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือมีความหลากหลายสูงและมีการกระจายได้อย่างสม่ำเสมอตลอด

ทั้งปีไม่ว่าจะในเส้นทางใด แต่ขึ้นอยู่กับแต่ละชนิดของผีเสื้อกลางวัน โดยเฉพาะผีเสื้อกลางวันในวงศ์ผีเสื้อขาหน้าฟูและวงศ์ผีเสื้อหนอนกะหล่ำ และอาจจะเป็นผลมาจากสภาพถิ่นที่อยู่อาศัยทั้งสองเส้นทางที่มีป่าไม่รกทึบมากซึ่งส่งผลต่อการกระจายของผีเสื้อกลางวัน¹⁶

ผีเสื้อกลางวันที่มีความชุกชุมมากที่สุดได้แก่ *Ypthima baldus baldus* (Fabricius, 1775) (ผีเสื้อสีตาลจุดตาห้าธรรมดา) อาจจะเป็นเพราะว่ามีพืชอาหารที่มาก อีกทั้งสภาพป่าที่มีความรกทึบเป็นบางช่วงและบางช่วงเป็นป่าไผ่ไม่รกทึบมากซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Vu and Vu (2011)²² ที่กล่าวว่าสภาพป่าไผ่นั้นพบผีเสื้อสีตาลจุดห้าธรรมดาชุกชุมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับป่าธรรมชาติที่มีความรกทึบมากกว่าป่าไผ่^{11,27}

เมื่อเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึงของผีเสื้อกลางวันทั้งสองเส้นทาง พบว่ามีความคล้ายคลึงกันปานกลาง อาจเป็นเพราะว่าสภาพความรกทึบของป่าทั้งสองเส้นทางนั้นมีความแตกต่างกัน ทำให้แสงแดดที่ส่องลงมายังพื้นล่างแตกต่างกันตามไปด้วย โดยเส้นทางศึกษาธรรมชาติน้ำตกห้วยไผ่จะมีความรกทึบเป็นบางช่วงเนื่องจากมีป่าไผ่ขึ้นสลับจึงทำให้โอกาสในการพบผีเสื้อกลางวันบางชนิดในเส้นทางนี้มีน้อยตามไปด้วย แต่เมื่อพิจารณาความคล้ายคลึงกันปานกลางเนื่องจากมีป่าเบญจพรรณขึ้นสลับทั้งสองเส้นทาง และอีกประการหนึ่งนั้นก็อาจบางช่วงของเส้นทางมีป่าสนเขาที่มีความรกทึบน้อยสอดคล้องกับเส้นทางที่ 2 ที่พบป่าไผ่ที่มีความรกทึบน้อยเช่นกันทำให้พบหญ้าและพืชตระกูลถั่วที่เป็นอาหารอย่างดีสำหรับผีเสื้อวงศ์ผีเสื้อสีน้ำเงิน นอกจากนี้ระดับความสูงจากน้ำทะเลของทั้งสองเส้นทางอาจจะเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ผีเสื้อกลางวันของทั้งสองเส้นทางมีความคล้ายคลึงกันปานกลาง²⁷

สรุปได้ว่าผีเสื้อกลางวันเขตอุทยานแห่งชาติภูเรือมีความหลากหลายชนิดในเกณฑ์สูง แต่มีความคล้ายคลึงกันปานกลาง เนื่องจากสภาพป่านั้นยังมีความอุดมสมบูรณ์อยู่มาก จึงทำให้ผีเสื้อกลางวันมีความหลากหลายสูงตามไปด้วยขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ²⁹ ซึ่งผีเสื้อกลางวันนั้นสามารถเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี^{3,13,16,30,31,32}

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณแผ่นดิน และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ขอขอบพระคุณ นายธรรมาภ คัชมาตย์ หัวหน้าอุทยานแห่งชาติภูเรือ ที่ช่วยเหลือในการ

สำรวจและเก็บตัวอย่าง นายพนพนธ์ ทับทิม หัวหน้าศูนย์กีฏวิทยาป่าไม้ที่ 2 ชุมแพ อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น ที่ได้อนุเคราะห์ในการระบุชนิดผีเสื้อกลางวัน ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยทุกท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. Mound LA, Waloff N. Diversity of insect faunas. Symposia R Entomol Soc Lond 1978;9:89-104.
2. Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR. Does butterfly diversity predict moth diversity? Testing a popular indicator taxon at local scales. Biol Cons 2002;103:361-70.
3. Schulze CH, Waltert M, Kessler PJA, Pitopang R, Shahabuddin, Veddelier D et al. Biodiversity indicator groups of tropical land-use systems: comparing plants, birds, and insects. Ecol Appl 2004;14(5):1321-33.
4. Nganso BT, Kyerematen R, Obeng-Ofori D. Diversity and abundance of butterfly species in the Abiriw and Odumante Sacred Groves in the eastern region of Ghana. Res Zool 2012;2(5):38-46.
5. Sodhi NS, Koh LP, Brook BW, Peter KLNg. Southeast Asian biodiversity: an impending disaster. Trends Ecol Evolut 2004;19(12): 654-60.
6. Sodhi NS, Brook BW. Southeast Asia biodiversity in crisis. Cambridge: Cambridge University Press; 2006.
7. Sodhi NS, Posa MRC, Lee TM, Bickford D, Koh LP, Brook BW. The state and conservation of Southeast Asian biodiversity. Biodivers Conserv 2010;19:317-28.
8. Koh LP, Kettle CJ, Sheil D, Mbarara, Kabale, Bogor et al. Biodiversity state and trends in Southeast Asia. Elsevier. 2013;509-27.
9. Leps J, Spitzer K. Ecological determinants of butterfly communities (Lepidoptera, Papilionoidea) in the Tam Dao Mountains, Vietnam. Acta Entomol Bohemoslov 1990;87:182-194.
10. Lien VV, Yuan D. The differences of butterfly (Lepidoptera, Papilionoidea) communities in habitats with various degrees of disturbance and altitudes in tropical forests of Vietnam. Biodivers Conserv 2003;12:1099-111.
11. Lien VV, Abeh B. Diversity of butterfly in a tropical rainforest of Van Ban Nature Reserve, Lao Cai

- Province, Vietnam (Lepidoptera: Rhopalocera). Russ Entomol J 2011;20(4):411-8.
12. Yong DL, Lohman DJ, Weei C, Lan G, Susan Q, Lim LH. Tropical butterfly communities on land-bridge islands in Peninsular Malaysia. Raffles Bull Zool 2012;25:161-172.
 13. Winarni NL. The importance of detectability in butterfly monitoring: butterfly diversity of Lambusango Forest, Buton, Southeast Sulawesi. National Insect Conference. Bogo: 2007. p. 1-12.
 14. Tabadepu H, Buchori D, Sahari B. Butterfly record from Salak Mountain, Indonesia. J Entomol Indon 2008;5(1):10-6.
 15. Ardhasnsyah MA. The diversity of butterfly in ancient volcano mount of Ngglanggeran Yogyakarta. Proceeding of the 3rd International Conference on Biology, Environment and Chemistry (ICBEC); 2012 Nov 24-25; Bangkok. Thailand: 2012. p. 30-2.
 16. Nisa ARK, Mukti M, Hamzah MF, Mustakim A, Abidin Z. Butterflies diversity in green open space of Malang City, East Java Province, Indonesia. JTLS 2013;3(2): 104-7.
 17. Mohagan AB. Diversity and status of butterflies across vegetation types of Mt. Hamiguitan, Davao Oriental, Philippines. Asian J Biodivers 2010;2094-15019:1-24.
 18. Ek-Amnuay P. Butterflies of Thailand. 2nd Edition. กรุงเทพฯ: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน); 2012.
 19. กิตติ ดันเมืองปัก. ความหลากหลายชนิดของผีเสื้อกลางวันในเขตป่าชุมชน หมู่บ้านหินสอ อำเภอกงเรือ จังหวัดเลย. ใน: รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (Proceeding) "วิทยาศาสตร์วิจัย" ครั้งที่ 8. หอประชุมพญาเงาเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา. พะเยา: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา; 2559. หน้า 155-161.
 20. Pollard E, Yates TJ. Monitoring butterflies for ecology and conservation. Chapman and Hall, London. 1993; 274 pp.
 21. Heip CHR, Herman PMJ, Soetaert K. Indices of diversity and evenness. Oceanis 1998;24(4):61-87.
 22. Vu LV, Vu CQ. Diversity pattern of butterfly communities (Lepidoptera, Papilionidae) in different habitat types in a tropical rain forest of southern Vietnam. ISRN Zoology 2011;1-8.
 23. Tiple AD, Khurad AM, Dennis RHL. Butterfly diversity in relation to a human-impact gradient on an Indian University Campus. Nota Lepid 2007;30(1): 179-88.
 24. Tiple AD, Khurad AM. Butterfly species diversity, habitat and seasonal distribution in and around Nagpur City, Central India. W J Z 2009;4(3):153-62.
 25. Arya MK, Dayakrishna, Chaudhary R. Species richness and diversity of butterflies in and around Kumaun University, Nainital, Uttarakhand, India. J Entomol Zool Stud 2014;2(3):153-9.
 26. พงศ์เทพ สุวรรณวารี. การเปรียบเทียบความหลากหลายของผีเสื้อกลางวันของน้ำตกบางแห่งในพื้นที่มรดกโลก ดงพญาเย็น-เขาใหญ๋. งานวิจัยสาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี; 2555.
 27. Majumder J, Lodh R, Agarwala BK. Butterfly species richness and diversity in the Trishna Wildlife Sanctuary in South Asia. J Insect Sci 2012;13:1-13.
 28. Sanchez-Rodriguez JF, Baz A. The effects of elevation on the butterfly communities of a Mediterranean Mountain, Sierra de ja v Alambre, Central Spain. J Lepid Soc 1995;49(3):192-207.
 29. Houlihan PR, Harrison ME, Cheyne SN. Impacts of forest gaps on butterfly diversity in a Bornean Peat-Swamp Forest. J Asia Pac Entomol 2013;16:67-73.
 30. Kunte KA. Butterflies of Peninsular India. India: Indian Academy of Sciences, Universities Press (India) Limited; 2000. 254 pp.
 31. Aluri JSR, Rao SP. Psychophily and evolution consideration of *Cadaba fructicosa* (Capparaceae). JBNHS 2002;99(1):59-63.
 32. Thomas JA. Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and their indicator groups. Phil Trans R Soc 2005;360:339-57.
 33. วิกีพีเดีย. แผนที่ประเทศไทย. Wikipedia [serial online]; 2556 เมษายน; [2 screens] สืบค้น จาก http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amphoe_4207.png. สืบค้นเมื่อ สิงหาคม 1, 2556.
 34. กูเกิลเอิร์ธ. อุทยานแห่งชาติภูเรือ จังหวัดเลย. Google Map [serial online] 2557 มีนาคม; [1 screen] สืบค้น จาก <https://maps.google.co.th/maps?q=%E0%>. สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 15, 2557.

ผลจากสารสกัดจากใบสาบเสือในการควบคุมเพลี้ยอ่อนถั่ว *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae)

Effect of siam weed leaf extract, *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob) in controlling cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch (Hemiptera: Aphididae)

ณัฐพงศ์ เมทินธวัชสรศักดิ์^{1*}

Nathapong Matintarangsani^{1*}

Received: 13 January 2017 ; Accepted: 5 May 2017

บทคัดย่อ

การทดสอบประสิทธิภาพสารสกัดจากใบสาบเสือที่สกัดด้วยเอทานอล ในการเป็นสารไล่ สารฆ่าและสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่วโดยวิธีจุ่มใบพืช ที่ระดับความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 0.125, 0.25 และ 5% (w/v) พบว่าประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือมีผลต่อการไล่ การฆ่า และการยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่วมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ที่ความเข้มข้น 5% มีเปอร์เซ็นต์ในการไล่และการตายของเพลี้ยอ่อนถั่วสูงสุด 100% ค่า LC₅₀ มีค่าเท่ากับ 1.25 ที่เวลา 24 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนถั่วพบว่าจำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาวมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% จำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาวมากที่สุดเท่ากับ 8.20 ± 0.74 ครั้ง/นาที ในขณะที่ชุดควบคุมเท่ากับ 1.20 ± 0.48 ครั้ง/นาที ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนน้อยสุดเท่ากับ 0.17 ± 0.03 นาที ในขณะที่ชุดควบคุมเท่ากับ 8.74 ± 1.03 นาที พฤติกรรมของเพลี้ยอ่อนถั่วจะตอบสนองต่ออาหารยอมรับความเป็นพืชอาหารโดยการแทงปากเพื่อดูดอาหาร ถ้าอาหารไม่เหมาะสมพฤติกรรมของเพลี้ยอ่อนถั่วจะไม่ตอบสนองต่อการแทงดูดอาหาร

คำสำคัญ: สารสกัด ใบสาบเสือ เพลี้ยอ่อนถั่ว

Abstract

The repellent, insecticidal and anti-feedant activity of ethanol extracts from siam weed leaf extract, *Chromolaena odorata* (L.) R.M. King & H. Rob) were tested on cowpea aphid, *Aphis craccivora* Koch. The leaf dipping method was applied with different concentrations of siam weed leaf extract (0, 0.3125, 0.625, 0.125, 0.25 and 5% (w/v)). The results indicated that the repellent, insecticidal and anti-feedant activity of siam weed leaf extract on cowpea aphid were significantly effective ($p < 0.05$) when compared with the control. At 5% of siam weed leaf extract, the percent repellent and percent mortality were the highest 100% and LC₅₀ value with 1.25 at 24 hours when compared with the control. The anti-feedant activity, the number of probing was higher when the concentration was higher. At 5%, the number of probing was highest (8.20 ± 0.74) when compared with the control (1.20 ± 0.48). Time of penetration was lower when the concentration was higher; at 5%, the time of penetration was lowest (0.17 ± 0.03 min) when compared with the control (8.74 ± 1.03 min). The behavior of cowpea aphids responds to tests of host acceptance for feeding. The cowpea aphids cannot penetrate into the host plants, while the host plants are unsuitable.

Keywords: extract, siam weed leaf, cowpea aphid

¹ อาจารย์ หลักสูตรเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ Entomology2552@gmail.com

¹ Lecturer, Biotechnology Program, Faculty of Science and Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage, Pathumthani, Thailand

บทนำ

เพลี้ยอ่อนตัวที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Aphis craccivora* Koch อยู่ในวงศ์ Aphididae อันดับ Hemiptera จัดเป็นกลุ่มแมลงศัตรูพืชตระกูลถั่ว Leguminosae ที่มีความสำคัญและสร้างความเสียหายทางเศรษฐกิจ¹ (Blackman and Eastop, 2000) ทั้งตัวอ่อนและตัวเต็มวัยจะดูดกินน้ำเลี้ยงจากส่วนของพืช ทำให้ใบเป็นสีเหลืองและร่วงหล่นไป² (Emden and Harrington, 2007) นอกจากนี้ยังขับสารเหนียวปกคลุมบนใบถั่วเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคราดำ (sooty mold) ส่งผลกระทบต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและเป็นพาหะนำโรคไวรัส cowpea aphid-borne mosaic virus (CABMV) มาสู่พืชอีกด้วย³ (Damiri *et al.*, 2013) ถ้ามีการระบาดของเพลี้ยอ่อนตัวมากๆ มีผลทำให้ต้นถั่วหยุดชะงักและตายในที่สุด ส่งผลให้ผลผลิตลดลง 50% ถ้าไม่มีการป้องกันควบคุม⁴ (Obopile, 2006)

การป้องกันกำจัดเพลี้ยอ่อนตัวส่วนใหญ่เกษตรกรนิยมใช้สารเคมีสังเคราะห์ (synthetic chemical) อย่างไรก็ตามผลกระทบต่อหลายประการเช่น สารเคมีตกค้างในผลผลิตและสิ่งแวดล้อม สัตว์และสิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ตาย ลดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ และที่สำคัญแมลงพัฒนาความต้านทานต่อสารเคมี^{5,6,7} (Han and Li, 2004; Iseining, 2010; Dey *et al.*, 2013) จากรายงานวิจัยของ Pérez *et al.*,⁸ (2000) พบว่าแมลงศัตรูพืชสามารถสร้างความต้านทานต่อสารฆ่าแมลง โดยค่าความเป็นพิษ (LC₅₀) มีค่าสูงกว่ากลุ่มชุดทดลองเปรียบเทียบ

การใช้สารสกัดจากพืช (plant extract) เป็นทางเลือกหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช เนื่องจากสารออกฤทธิ์ที่สกัดจากพืชไม่คงทนและสลายตัวง่าย จึงทำให้ไม่มีปัญหาในเรื่องการสะสมของสารพิษและไม่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม^{9,10} (Isman 2000; Prakash *et al.*, 2008) จากการศึกษาของ Azad *et al.*,¹¹ (2012) พบว่าสารสกัดจากพืชมีคุณสมบัติในการเป็นสารฆ่า สารไล่ สารยับยั้งการกิน สารยับยั้งการวางไข่และสารยับยั้งการเจริญเติบโต สาบเสื่อ (*Chromolaena odorata* (L) R.M. King & H. Rob) จัดเป็นวัชพืชที่พบได้ทั่วไป ก้านและใบเมื่อยังมีกลิ่นเหม็นฉุนแรงคล้ายกับกลิ่นสาบเสื่อ สามารถนำมาเป็นสารไล่แมลงศัตรูพืชได้¹² (Chakraborty *et al.*, 2011) มีการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับสารสกัดจากสาบเสื่อ จากการศึกษาของ Acero¹³ (2014) ศึกษาผงสกัดแห้งจากใบสาบเสื่อต่อการตายของตัวงวงข้าวพบว่าผงสกัดแห้งจากใบสาบเสื่อที่ความเข้มข้น 40% มีผลต่ออัตราการตายของตัวงวงข้าวสูงสุด 96% และจากงานวิจัยของ Degri *et al.*¹⁴ (2013) พบว่าสารสกัดจากใบสาบเสื่อเมื่อนำไปฉีดพ่นในแปลงทดลองมีผลทำให้ประชากรของมวนเจาะฝักถั่ว (Pod-sucking bugs) ลดลง ลด

ความเสียหายลงเกือบ 50% ดังนั้นงานวิจัยจึงศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นพิษของสารสกัดจากใบสาบเสื่อในการเป็นสารไล่ (repellent) สารฆ่า (insecticidal) และสารยับยั้งการกิน (anti-feedant) ของเพลี้ยอ่อนตัว เพื่อเป็นแนวทางในการบริหารจัดการเพลี้ยอ่อนตัวและนำมาประยุกต์ใช้ทดแทนสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูพืชและที่สำคัญเป็นการนำเอาวัชพืชที่ขึ้นอยู่ข้างทางมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

วิธีการศึกษา

เลี้ยงและเพิ่มจำนวนเพลี้ยอ่อนตัว

เก็บเพลี้ยอ่อนตัวจากแปลงเกษตรกรนำมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75-80 เปอร์เซ็นต์ การจำแนกเพลี้ยอ่อนตัวอ้างอิงจาก Islam *et al.*,¹⁵ (2015) โดยจำแนกได้กล้องสเตอริโอ (stereo microscope) ลำตัวมีขนาดเล็กประมาณ 1.0-1.3 มิลลิเมตร สีน้ำตาลจนถึงสีดำส่วนท้องด้านปลาย siphunculi และ cauda จะมีขนอยู่ 7 เส้น บริเวณหนวด (tentacles) มี 4 ปล้อง (Figure 1) นำเพลี้ยอ่อนตัวมาปล่อยลงในกระถางที่ปลูกถั่วฝักยาวไว้สำหรับเป็นอาหารและขยายพันธุ์เพิ่มจำนวนเพลี้ยอ่อนตัวไว้สำหรับการทดลองต่อไป

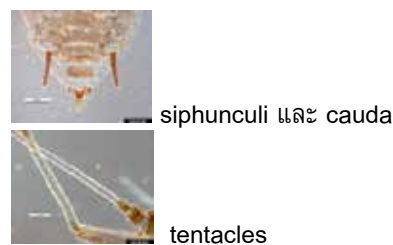


Figure 1 Identification of cowpea aphid (siphunculi, cauda and tentacles) (Poole and Gentili, 1996)

การเตรียมสารสกัดจากใบสาบเสื่อ

นำใบสาบเสื่อมาล้างน้ำกลั่นผึ่งให้แห้งนำมาหั่นให้ละเอียด นำไปสกัดด้วยวิธี Soxhlet extraction โดยใช้ 95% เอทานอลเป็นตัวทำละลาย นำใบสาบเสื่อบรรจุใน Thimble โดยใช้สาบเสื่อ 100 กรัมต่อเอทานอล 800 มิลลิลิตร (1:8 w/v) นำไปสกัดด้วยเครื่องสกัดสาร Soxhlet apparatus สกัดวันละ 8 ชั่วโมงเป็นเวลา 3 วัน หลังจากนั้นนำมารองด้วยกระดาษกรอง Whatman[®]เบอร์ 1 นำไประเหยเอาตัวทำละลายออกโดย Rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ก็จะได้สารสกัดหยาบ (crude extract) นำไปเก็บโดยแช่แข็งเพื่อใช้

ทดสอบขั้นต่อไป

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารไล่ (Repellent test)

นำสารสกัดจากใบสาบเสือ โดยมีชุดการทดลอง 5 ชุดการทดลอง และชุดควบคุม ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) ด้วยการทดสอบแบบมีทางเลือกในจานแก้ว (Petri-dish choice bioassay) ใช้วิธี impregnated filter paper test โดยนำกระดาษกรองเบอร์ 1 (Whatman เบอร์ 1) เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร มาตัดออกเป็น 2 ส่วน เท่าๆ กัน ซีกหนึ่งหยดสารสกัดสาบเสือ จำนวน 1 มิลลิลิตร ส่วนอีกซีกหนึ่งหยดตัวทำลายคือเอทานอลจำนวน 1 มิลลิลิตร ทั้งไว้ให้แห้ง นำ 2 ส่วนมาประกบเข้าด้วยกัน วางในจานแก้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร และนำระยะตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มีปีก (Apterous) อายุ 4 วัน ใส่ลงตรงกลางจานแก้ว แต่ละความเข้มข้นทำการทดลอง 5 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ตัว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) นำจานแก้ววางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้น 75-80 เปอร์เซ็นต์ นับจำนวนแมลงที่พบบนแต่ละซีกของกระดาษกรองเมื่อเวลาผ่านไป 12 และ 24 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การไล่

Percentage repellency, PR (%) = $[(Nc - Nt) / (Nc + Nt)] \times 100$

โดย Nc = จำนวนของแมลงที่อยู่บนกระดาษกรองส่วนที่หยดเอทานอลซึ่งเป็นชุดควบคุม (control)

Nt = จำนวนของแมลงที่อยู่บนกระดาษกรองส่วนที่หยดน้ำมันหอมระเหย

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารฆ่าโดย การกิน (Contact toxicity test)

ทำการทดสอบโดยวางใบถั่วฝักยาวที่จุ่มสารสกัดจากใบสาบเสือความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) ลงในกล่องเลี้ยงแมลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร รอกันกล่องด้วยกระดาษฟางชุบน้ำเพื่อให้ความชื้น ส่วนฝากล่องเจาะรูและปิดด้วยผ้าขาวบางเพื่อระบายอากาศ ปลอຍระยะตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มีปีกอายุ 4 วันจำนวน 10 ตัวต่อกล่อง ทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) นำไปวางในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25-27 องศาเซลเซียส ความชื้น 75-80 เปอร์เซ็นต์ บันทึกจำนวนเพลี้ยอ่อนตัวตายที่ 24 และ 48 ชั่วโมง หลังการทดสอบ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม นำผลที่

ได้มาคำนวณหาค่า LC₅₀ หลังการทดสอบและเปอร์เซ็นต์การตายของเพลี้ยอ่อนตัว ตามสูตร Abbott's formula¹⁶ (Abbott, 1925)

$\% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนจริง} = \frac{\% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนที่ได้รับสารสกัด} - \% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนในชุดควบคุม}}{\% \text{การตายของเพลี้ยอ่อนในชุดควบคุม}} \times 100$

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารยับยั้ง การกิน (Anti-feedant test)

ทำการทดสอบโดยวางใบถั่วฝักยาวที่จุ่มสารสกัดจากใบสาบเสือความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% (w/v) ทั้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาวางในจานแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร รอกันกล่องด้วยกระดาษฟางชุบน้ำเพื่อให้ความชื้น ก้านใบถั่วฝักยาวหุ้มด้วยสำลีชุบน้ำ ปลอຍระยะตัวเต็มวัยของเพลี้ยอ่อนตัวที่ไม่มีปีกอายุ 4 วันลงไป 1 ตัว ทำการทดลองความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) บันทึกจำนวนครั้งในการเจาะและระยะเวลาในการแทงดูดของเพลี้ยอ่อนตัวภายใต้กล้องสเตอริโอ เป็นเวลา 15 นาที

วิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และวิเคราะห์ค่า Median Lethal Concentration (LC₅₀) โดยวิธี Probit analysis¹⁷ (Finney, 1971)

ผลการศึกษา

1. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากสาบเสือในการเป็นสารไล่เพลี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารไล่เพลี้ยอ่อนตัว พบว่าสารสกัดจากใบสาบเสือมีผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้นมีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การไล่เพลี้ยอ่อนตัวเพิ่มขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ของสารสกัดจากใบสาบเสือมีเปอร์เซ็นต์การไล่เพลี้ยอ่อนตัวสูงสุด ในชั่วโมงที่ 12 มีผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัวเฉลี่ย 8.00 ± 0.48 ตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การไล่ 60% ในชั่วโมงที่ 24 ผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัวเฉลี่ย 10.00 ± 0.00 ตัว คิดเป็นเปอร์เซ็นต์การไล่ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีผลต่อการไล่เพลี้ยอ่อนตัว (Table 1)

Table 1 Effect of repellent activities of siam weed leaf extract on cowpea aphid after 12 and 24 h

concentration (%) (w/v)	Duration of exposure Number of cowpea aphid / h			
	12h	(%) repellent	24h	(%) repellent
0	0.00 ± 0.00 ^c	0.0	0.00 ± 0.00 ^c	0.0
0.3125	5.10 ± 0.74 ^{ab}	2.0	5.40 ± 0.48 ^b	8.0
0.625	5.30 ± 0.48 ^{ab}	6.0	5.80 ± 0.48 ^b	16.0
1.25	6.00 ± 0.48 ^a	20.0	6.60 ± 0.48 ^b	32.0
2.5	6.80 ± 0.48 ^a	36.0	8.60 ± 0.48 ^a	72.0
5	8.00 ± 0.48 ^a	60.0	10.00 ± 0.00 ^a	100.0

* Mean values in the same column with the same letter do not differ significantly ($P < 0.05$ according to DMRT).

2. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือในการเป็นสารฆ่าเพลี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารฆ่าเพลี้ยอ่อนตัว พบว่าสารสกัดจากใบสาบเสือมีผลต่อการฆ่าเพลี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการตายของเพลี้ยอ่อนตัวสูงขึ้น

โดยที่ความเข้มข้น 5% มีอัตราการตายของเพลี้ยอ่อนตัวสูงสุด 100% ค่า LC_{50} มีค่าเท่ากับ 1.25 และ 1.05 ในชั่วโมงที่ 24 และ 48 ชั่วโมง ตามลำดับ ในขณะที่ความเข้มข้น 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 ในชั่วโมงที่ 24 มีอัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยอ่อนตัว 13.3, 33.3, 50.0 และ 83.3 ตัว ตามลำดับ และในชั่วโมงที่ 48 มีอัตราการตายเฉลี่ยของเพลี้ยอ่อนตัว 20.0, 33.3, 60.0 และ 83.3 ตัว ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมไม่มีอัตราการตายของเพลี้ยอ่อนตัว (Table 2)

Table 2 Effect of insecticidal activities of siam weed leaf extract on cowpea aphid after 24 and 48 h

concentration (%) (w/v)	Duration of exposure Number of cowpea aphid / h			
	24h	mortality (%)	48h	mortality (%)
0	0.0 ± 0.00 ^{cd}	0.0	0.0 ± 0.00 ^c	0.0
0.3125	1.33 ± 0.47 ^{cd}	13.3	2.00 ± 0.81 ^b	20.0
0.625	3.33 ± 0.47 ^b	33.3	3.33 ± 0.47 ^b	33.3
1.25	5.00 ± 0.00 ^b	50.0	6.00 ± 0.81 ^{ab}	60.0
2.5	8.33 ± 0.47 ^{ab}	83.3	8.33 ± 0.94 ^{ab}	83.3
5	10.00 ± 0.00 ^a	100.0	10.00 ± 0.00 ^a	100.0

* Mean values in the same column with the same letter do not differ significantly ($P < 0.05$ according to DMRT).

3. การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือในการเป็นสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 0, 0.3125, 0.625, 1.25, 2.5 และ 5% ในการเป็นสารยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว พบว่าจำนวนครั้งในการเจาะและระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนตัวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม การยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัวพบว่าจำนวนครั้งในการแทงดูดใบถั่วฝักยาว

มากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้น ความเข้มข้น 5% จำนวนครั้งในการเจาะใบถั่วฝักยาวเท่ากับ 8.20 ± 0.74 ครั้ง/นาทีก่อนที่ชุดควบคุมเปรียบเทียบกับ 1.20 ± 0.48 ครั้ง/นาทีก่อนที่ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารน้อยลง เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดจากใบสาบเสือสูงขึ้น ที่ความเข้มข้น 5% ระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อนตัวเท่ากับ 0.17 ± 0.03 นาที ในขณะที่ชุดควบคุมเปรียบเทียบกับ 8.74 ± 1.03 นาที (Table 3)

Table 3 Effect of anti-feedant activities of siam weed leaf extract on cowpea aphid after 15 min

concentration (%) (w/v)	Mean number of probing	Mean time spent of probing (min)
0	1.20 ± 0.48 ^a	8.74 ± 1.03 ^a
0.3125	2.60 ± 0.48 ^b	1.44 ± 0.33 ^b
0.625	3.20 ± 0.48 ^b	1.11 ± 0.34 ^b
1.25	6.40 ± 0.63 ^c	0.29 ± 0.13 ^b
2.5	7.20 ± 0.74 ^c	0.23 ± 0.04 ^b
5	8.20 ± 0.74 ^c	0.17 ± 0.03 ^b

* Mean values in the same column with the same letter do not differ significantly ($P < 0.05$ according to DMRT).

วิจารณ์และสรุปผล

การทดสอบประสิทธิภาพของสารสกัดจากใบสาบเสือในการควบคุมเพลี้ยอ่อนตัว พบว่าสารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการควบคุมเพลี้ยอ่อนตัว ในด้านการเป็นสารไล่ สารฆ่า และสารยับยั้งการกิน จากการวิจัยของ Agaba and Fawole¹⁸ (2016) อธิบายว่าสารสำคัญในใบสาบเสือ phenols 38.69 mg/g, tannins 41.09 mg/g, flavonoids 7.74 mg/g, saponins 331.76 mg/g, alkaloids 12.25 mg/g ซึ่งจะมีผลต่อแมลงศัตรูพืช โดยสารบางตัวมีคุณสมบัติในการเป็นไล่ นอกจากนี้กลิ่นที่มีลักษณะฉุนเหม็นยังมีผลต่อการไล่ ยับยั้งการเข้าทำลาย และยับยั้งการวางไข่ นอกจากนี้สารสกัดจากใบสาบเสื่อยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเพลี้ยอ่อนตัว จากการศึกษารายงานของ Wubie *et al.*¹⁹ (2014) อธิบายว่าสารพิษจะมีผลต่อระบบย่อยอาหารส่วนกลาง (midgut) ของเพลี้ยอ่อน (digestive system) โดยทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อของกระเพาะอาหาร เซลล์เยื่อหุ้มมีรูปร่างผิดปกติ ซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมสารอาหารส่งผลทำให้เพลี้ยอ่อนตายในที่สุด และจากการศึกษาของ Zhou *et al.*²⁰ (2016) อธิบายว่าเมื่อเพลี้ยอ่อนได้รับสารพิษจากพืชเข้าไป สารพิษจากพืชจะไปยับยั้งการทำงานของเอนไซม์กลูตาไทโอน เอสทรานเฟอเรส (glutathione S-transferases) เป็นเอนไซม์ในการกำจัดสารพิษของเพลี้ยอ่อน เกิดการสะสมสารพิษมากขึ้น ส่งผลทำให้แมลงตายในที่สุด ในด้านของการยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อนตัว สารสกัดจากใบสาบเสือมีผลกระทบบต่อการจำนวนครั้งและระยะเวลาในการแทงดูดอาหารของเพลี้ยอ่อน โดย Sadek *et al.*²¹ (2013) อธิบายว่าเพลี้ยอ่อนจะทำการทดสอบความเหมาะสมของพืชอาหาร (test of suitable host / host acceptance) โดยใช้วิธีวัดความรู้สึกที่บริเวณหนวด ระยะปากหรือขนตามระยะต่าง ๆ สัมผัสพื้นผิวภายนอกของพืชอาหารที่ค้นพบ สอดคล้องกับการศึกษาของ Züst and Agrawal²² (2016) อธิบายว่าหากคุณสมบัติไม่เหมาะสม เช่น มีความแข็ง มีขน มีหนามมากเกินไปหรือมีสารพิษ แมลงจะเปลี่ยนตำแหน่งหาแหล่งสำรวจใหม่ แต่หากเหมาะสมแมลงจะดำเนินขั้นตอนทดสอบต่อไปการชิมสารบริเวณพื้นผิวหรือเนื้อเยื่อ

ภายในที่อยู่ใกล้พื้นผิวของพืชอาหารเพื่อเลือกตำแหน่งที่จะแทงสไตเลทลงในเนื้อเยื่อของพืช (select of inserting site) หากสารบริเวณดังกล่าวเหมาะสม เพลี้ยอ่อนตัวจะเริ่มแทงสไตเลทลงในเนื้อเยื่อพืช โดยใช้ส่วนของสไตเลทเจาะไปยังชั้นของผิวใบ ลักษณะการเจาะจะเจาะลงไปในส่วนของเซลล์ (feeding intercellular) นอกจากนี้ Dancewicz *et al.*²³ (2011) อธิบายว่ากลิ่นฉุนเหม็นของสารสกัดจากพืชจะมีผลต่อพฤติกรรมของเพลี้ยอ่อน บริเวณส่วนปากของเพลี้ยอ่อน (stylets) จะมีเซลล์ประสาทรับสัมผัสทางเคมี (chemosensilla) ถ้าอาหารนั้นไม่เหมาะสมหรือมีสารพิษ ระบบประสาทส่วนกลางจะส่งสัญญาณมายังเซลล์ประสาทรับสัมผัสทางเคมีให้หยุดการตอบสนองและยับยั้งการกินของเพลี้ยอ่อน

ดังนั้นสารสกัดจากใบสาบเสือมีผลต่อเพลี้ยอ่อนตัว ในด้านการเป็นสารไล่ สารฆ่า และสารยับยั้งการกิน ซึ่งในงานวิจัยครั้งต่อไปจะทดสอบในแปลงทดลองขนาดเล็กและในสภาพแปลงปลูกจริง และจะนำสารสกัดจากใบสาบเสือมาพัฒนาในรูปแบบผลิตภัณฑ์แบบสเปรย์ที่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคลากรห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในการทดลองวิจัยครั้งนี้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเอาพืชที่ขึ้นตามริมทางถนนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการป้องกันกำจัดแมลงในห้องปฏิบัติการ ในงานวิจัยครั้งต่อไปจะทำการศึกษาคูสมบัติของสารสกัดจากพืชที่มีผลต่อแมลงและรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในแปลงสภาพจริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- Blackman RL, Eastop VF. Aphids on the world's crops: an identification and information guide. 2nd ed. John Wiley and Sons : Chichester; 2000.
- Emden HFV, Harrington R. **Aphids as Crop Pests**. Wallingford Oxfordshire Press : United Kingdom; 2007.
- Damiri BV, Al-Shahwan IM, Al-Saleh MA, Abdalla OA Amer MA. Identification and Characterization of Cowpea Aphid-Borne Mosaic Virus Isolates in Saudi Arabia. *Journal of Plant Pathology* 2013;95(1):79-85.
- Obopile M. Economic threshold and injury levels for control of cowpea aphid, *Aphis craccivora* Linnaeus (Homoptera: Aphididae) on cowpea. *Afr Plant* 2006;12:111–115.
- Han Z, Li F. Mutations in acetyl-cholinesterase associated with insecticide resistance in the cotton aphid, *Aphis gossypii* Glover. *Insect Biochemistry & Molecular Biology* 2004;34:397-405.
- Isenring R. Pesticides reduce biodiversity. *Pesticides news* 2010;88:4-7.
- Dey KR, Choudhury P, Dutta BK. Impact of pesticide use on the health of farmers: A study in Barak valley, Assam (India). *J Environ Chem Ecotoxicol* 2013;5(10):269-277.
- Pérez CJ, Alvarado P, Narváez C, Miranda F, Hernández L, Vanegas H. et al. Assessment of Insecticide Resistance in Five Insect Pests Attacking Field and Vegetable Crops in Nicaragua. *J. Econ. Entomol.* 2000;93(6):1779-1787.
- Isman MB. Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protect.* 2000;19:603-608.
- Prakash A, Rao J, Nandagopal V. Future of Botanical Pesticides in rice, wheat, pulses and vegetables pest management. *JBiopest* 2008;1(2):154–169.
- Azad MAK. Effect of Botanical Extract on Pest Control in Brinjal Field. *J. environ sci and nat resources.* 2012;5(2):173–176.
- Chakraborty, AK, Rambhade S, Patil UK. *Chromolaena odorata* (L.): An Overview. *J Pharm Res* 2011;4(3):573-576.
- Acero LH. 2014. Dried Siam Weed (*Chromolaena odorata*) as Rice Weevils' (*Sitophilus oryzae*) Eradicator. *Int J. Chem Engi and and App.* 2014;5(5):363-366.
- Degri MM, Mailafiya DM, Wabekwa JW. Efficacy of aqueous leaf extracts and synthetic insecticide on pod-sucking bugs infestation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) in the Guinea Savanna Region of Nigeria. *Advances in Entomol.* 2013;1(2):10-14.
- Islam SU, Inayatullah M, Jan S, Ibrahim M, Shah SJA. *Aphis craccivora* Koch on wheat in Pakistan. *Int. J. Farming and Allied Sci.* 2015;4(2):86-88.
- Abbott WS. A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 1925;18:265–267.
- Finney DJ. *Probit Analysis*, 3rd ed. Cambridge University Press : London. 1971
- Agaba TA, Fawole B. Phytochemical Constituents of Siam Weed (*Chromolaena odorata*) and African Custard Apple (*Annona senegalensis*). *Int. J Food Agri. Vet. Sc.* 2016;6(1):35-42.
- Wubie M, Negash A, Guadie F, Molla G, Kassaye K, Raja N. Repellent and Insecticidal Activity of *Mentha piperita* (L.) Plant Extracts Against Cabbage Aphid [*Brevicoryne brassicae* Linn. (Homoptera: Aphididae)]. *American-Eurasian J Scientific Res.* 2014; 9(6):150-156.
- Zhou BG, Wang S, Dou TT, Liu S, Li MY, Hua RM, et al. Aphicidal Activity of *Illicium verum* Fruit Extracts and Their Effects on the Acetylcholinesterase and Glutathione S-transferases Activities in *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). *J Insect Science.* 2016;16(1): 1–7.
- Sadek RZ, Elbanna SM, Semida FM. Aphid-host plant interaction. *Open J Animal Sci.* 2013;3(2A):16-27.
- Züst T, Agrawal AA. Mechanisms and evolution of plant resistance to aphids. *Nature Plants.* 2016;2:1-9.
- Dancewicz K, Gabrys B, Przybylska M. Effect of garlic (*Allium sativum* L.) and tansy (*Tanacetum vulgare* L.) extracts and potassic horticultural soap on the probing and feeding behaviour of *Myzus persicae* (Sulzer, 1776). *Aphids and Other Hemipterous Insects.* 2011;17:129-136.

ความหลากหลายของหอยทากบกภายในหย่อมป่าขนาดเล็กบางแห่งในจังหวัดศรีสะเกษ Species diversity of land snails in some small forest patches in Si Sa Ket province

ชุตินา สาสังข์¹, ชนิตาพร ตุ่มปีสุวรรณ², ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ^{3*}

Chutima Sasang¹, Chanidaporn Tumpeesuwan², Sakbaworn Tumpeesuwan^{3*}

Received: 7 March 2017 ; Accepted: 26 May 2017

บทคัดย่อ

จากการเก็บตัวอย่างหอยทากบกในพื้นที่หย่อมป่าขนาดเล็ก 3 แห่งในจังหวัดศรีสะเกษได้แก่ ป่าที่ปกคลุมพื้นที่หินทราย (น้ำตกห้วยจันทร์) ป่าบนพื้นที่ราบริมลำน้ำ (วัดป่าพุทธกุดสมิง) และป่าที่ปกคลุมพื้นที่หินภูเขาไฟ (ภูฝ้าย) โดยใช้แปลงสำรวจขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 2 4 และ 4 แปลง ตามลำดับเก็บตัวอย่างในฤดูแล้งและฤดูฝนในปี พ.ศ.2556 พบหอยทากบกทั้งหมด 991 ตัวอย่าง แบ่งเป็นเปลือก 864 ตัวอย่าง (87.70%) และตัวอย่างที่ยังมีชีวิต 127 ตัวอย่าง (12.30%) จำแนกได้ 8 วงศ์ 13 ชนิด ได้แก่ หอยทากบกที่มีฝาปิดเปลือก 2 ชนิด คือ *Cyclophorus* sp. และ *Cyclotus setosus* หอยทากไม่มีเปลือก 1 ชนิด คือ *Semperula siamensis* และหอยทากบกที่ไม่มีฝาปิดเปลือก 10 ชนิด คือ *Achatina fulica*, *Succinea tenella*, *Cryptozona siamensis*, *Hemiplecta distincta*, *Sitala* sp., *Quantula weinkauffiana*, *Quantula* sp., *Amphidromus* (*Amphidromus*) *inversus annamiticus*, *Chloritis* sp. และ *Pseudobuliminus* (*Giardia*) *siamensis* โดยชนิดที่พบในพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้ง 3 แห่ง ได้แก่ *Cyclophorus* sp., *C. siamensis*, *H. distincta*, *Q. weinkauffiana* และ *Quantula* sp. ในขณะที่หอยทากบกที่พบเฉพาะพื้นที่หินทรายคือ *Chloritis* sp. และชนิดที่พบเฉพาะป่าที่ราบริมลำน้ำคือ *Semperula siamensis*, *Su. tenella*, *Sitala* sp., *A. (A.) inversus annamiticus* และชนิดที่พบเฉพาะป่าที่ปกคลุมหินภูเขาไฟคือ *Cyclotus setosus* และ *Ac. fulica* จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าหย่อมป่าที่ราบริมลำน้ำมีความหลากหลายและมีดัชนีความหลากหลายของหอยทากบกสูงที่สุด หย่อมป่าบนพื้นที่หินทรายมีความหลากหลายชนิดต่ำที่สุดและหย่อมป่าบนพื้นที่หินภูเขาไฟมีดัชนีความหลากหลายชนิดต่ำที่สุด สำหรับค่าดัชนีความเด่นพบว่าหย่อมป่าบนพื้นที่หินภูเขาไฟมีค่ามากที่สุดและป่าที่ราบริมลำน้ำมีค่าน้อยที่สุด ชนิดของหอยทากบกที่พบในพื้นที่หย่อมป่าบนพื้นที่หินภูเขาไฟมีความคล้ายคลึงกับพื้นที่หินทรายมากกว่าป่าที่ราบริมลำน้ำ และหย่อมป่าบนพื้นที่หินทรายกับป่าที่ราบริมลำน้ำมีความคล้ายคลึงกันของชนิดน้อยที่สุด

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางชีวภาพ หย่อมป่า พื้นที่หินทราย พื้นที่หินภูเขาไฟ ป่าริมลำน้ำ จังหวัดศรีสะเกษ

Abstract

Species diversity of land snails in Si Sa Ket Province was studied in three small forest patches on (1) sandstone substrate (Namtok Haui Chan), (2) riverine forest on floodplain (Wat Pa Buddha Kut Saming), and (3) volcanic rock substrate (Phu Fai). Land snails were collected in both dry and rainy seasons in 2013 from 10 plots of 20x20 m² (2, 4 and 4 plots in each locality, respectively). A total of 991 specimens were collected, which comprised 864 empty shells (87.70%) and 127 living snails (12.30%). These snails were identified into 8 families and 13 species including:- Subclass Prosobranchia comprising *Cyclophorus* sp. and *Cyclotus setosus*; Subclass Gymnomorpha comprising *Semperula siamensis*; and Subclass Pulmonata comprising *Achatina fulica*, *Succinea tenella*, *Cryptozona siamensis*, *Hemiplecta distincta*, *Sitala* sp., *Quantula weinkauffiana*, *Quantula* sp., *Amphidromus* (*Amphidromus*) *inversus annamiticus*, *Chloritis* sp., *Pseudobuliminus* (*Giardia*) *siamensis*. The following species were found in all three

^{2,3}อาจารย์, ¹นิสิตปริญญาตรีภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

^{2,3} Lecturer, ¹ student Department of biology, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm 44150 Thailand

study areas:- *Cyclophorus* sp., *C. siamensis*, *H. distincta*, *Q. weinkauffiana*, and *Quantula* sp. *Chloritis* sp. was found only in the sandstone area, whereas, *Semperula siamensis*, *Su. tenella*, *Sitala* sp. and *A. (A.) inversus annamiticus* were found only in the riverine forest patch. *Cyclotus setosus* and *Ac. fulica* were found only in the forest patch on volcanic rocks. The results from this study reveal that the riverine forest patch had the highest number of land snail species and highest species diversity index, whereas the forest patch on sandstone had the lowest number of species while the forest patch on volcanic rock had the lowest species diversity index of land snails. The dominance species index was highest for the forest patch on volcanic rock and lowest for the patch of riverine forest. In addition, the similarity coefficient comparing the forest patches on volcanic rock and sandstone was higher than that comparing the volcanic rock and riverine forest. The similarity coefficient was lowest on the sandstone and riverine forest patches.

Keywords: Biodiversity, Forest patch, Sandstone area, Volcanic rock area, Riverine Forest, Si Sa Ket Province.

บทนำ

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่บนที่ราบสูงโคราช เป็นภูมิภาคที่มีร้อยละของพื้นที่ป่าไม้ต่อพื้นที่ภาคน้อยที่สุดของประเทศไทย¹ และมีอัตราการสูญเสียพื้นที่ป่าสูง พื้นที่ป่าส่วนใหญ่คงเหลือเฉพาะบนภูเขา และเทือกเขาที่เป็นเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า อุทยานแห่งชาติ และป่าสงวนแห่งชาติส่วนป่าธรรมชาติในพื้นที่ราบเหลือเป็นหย่อมป่าเล็กๆ กระจุกกระจายอยู่ทั่วทั้งภูมิภาคในรูปของป่าชุมชนหรือป่าวัฒนธรรม ที่เรียกว่า ป่าทำเล ป่าดอนปู่ตา และโคกป่าช้า ซึ่งจากนโยบายส่งเสริมการปลูกพืชเศรษฐกิจเชิงเดี่ยวโดยภาครัฐและภาคเอกชนในช่วงระยะเวลาสิบปีที่ผ่านมาส่งผลให้ป่าไม้ธรรมชาติที่เป็นป่าสาธารณะประโยชน์เช่น ป่าทำเล โดน บุกรุกแผ้วถางเพื่อปลูกพืชเศรษฐกิจเชิงเดี่ยวเป็นจำนวนมาก ในบางพื้นที่ไม่เว้นแม้กระทั่งโคกป่าช้า พื้นที่ของวัด และพื้นที่ป่าอนุรักษ์ พื้นที่ป่าธรรมชาตินอกเขตอนุรักษ์ที่ยังคงเหลือรอดพ้นจากการแผ้วถางทำลายเหลือเป็นหย่อมป่าขนาดเล็ก เช่น เขตของวัดป่า ป่าดอนปู่ตา โคกป่าช้า ที่ประชาชนในท้องถิ่นมีความเชื่อว่าเป็นที่สถิตของวิญญาณบรรพบุรุษ และสิ่งศักดิ์สิทธิ์

จังหวัดศรีสะเกษเป็นจังหวัดในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างมีอาณาเขตทางทิศใต้ติดกับประเทศกัมพูชาโดยมีแนวเทือกเขาหินทรายคือเทือกเขาพนมดงรักเป็นเขตกันพรมแดนปกคลุมด้วยป่าธรรมชาติที่มีความอุดมสมบูรณ์ ถัดมาทางตอนเหนือเป็นพื้นที่ราบมีภูเขาไฟที่ดับสนิทแล้วเป็นภูเขาลูกโดด รายล้อมด้วยพื้นที่ราบที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและมีป่าปกคลุมที่ราบริมแม่น้ำเป็นหย่อมๆ ปัจจุบันมีป่าไม้ปกคลุมพื้นที่ 639,276.57 ไร่ (เท่ากับ 1,022 ตร.กม. คิดเป็น 11.45 % ของพื้นที่จังหวัด)¹ เป็นบริเวณที่ยังขาดการศึกษาวิจัยเรื่องความหลากหลายทางชีวภาพโดยเฉพาะสัตว์กลุ่มหอยทากบก

จากการศึกษาและรายงานการพบหอยทากบกที่ผ่านมานบนที่ราบสูงโคราช มีการศึกษาในจังหวัดกาฬสินธุ์^{2,3} เทือก

เขาภูพานในเขตจังหวัดอุดรธานี สกลนคร กาฬสินธุ์ นครพนม และมุกดาหาร^{4,5} ขอนแก่น⁶ นครราชสีมา⁷ บึงกาฬ⁸ หนองบัวลำภู⁹ และสุรินทร์¹⁰ จะเห็นได้ว่าการศึกษหอยทากบกในบริเวณทางตอนใต้ของที่ราบสูงโคราชยังมีอยู่น้อยมากและยังไม่เคยมีการศึกษาในป่าบนพื้นที่ราบและหย่อมป่าขนาดเล็ก การศึกษารังนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในจังหวัดศรีสะเกษที่พบในหย่อมป่าธรรมชาติขนาดเล็กที่ปกคลุมพื้นที่หินทราย พื้นที่ราบริมฝั่งแม่น้ำ และพื้นที่หินภูเขาไฟที่ยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อน

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความหลากหลายชนิดของหอยทากบกบริเวณหย่อมป่าขนาดเล็กที่ปกคลุมพื้นที่ที่มีความแตกต่างทางธรณีวิทยา 3 รูปแบบ คือ พื้นที่หินทราย พื้นที่ราบริมลำน้ำ และพื้นที่หินภูเขาไฟ
2. เพื่อศึกษาปัจจัยทางกายภาพและชีวภาพบางประการ ที่มีผลต่อความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาและจัดการทรัพยากรธรรมชาติในเขตจังหวัดศรีสะเกษ

วิธีการศึกษา

1. การเลือกพื้นที่การศึกษา
 - 1.1 ศึกษาแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดศรีสะเกษของกรมทรัพยากรธรณี¹¹ และทำการสำรวจระยะไกลเบื้องต้นด้วย Google Maps¹² เพื่อเลือกพื้นที่ศึกษาที่เป็นหย่อมป่าธรรมชาติที่สามารถเข้าถึงพื้นที่ได้สะดวกและเป็นตัวแทนของหย่อมป่าที่ปกคลุมพื้นที่หินทราย พื้นที่ราบริมลำน้ำ และพื้นที่หินภูเขาไฟ ได้แก่ น้ำตกห้วยจันทร์ วัดพุทธกุดสมิง และภูฝ้ายตามลำดับ (Figure 1A) โดยน้ำตกห้วยจันทร์ พื้นที่หินทราย หินทรายปนกรวด หินกรวดมนของหมวดหินภูพานบริเวณจุดที่ดีแปลงสำรวจมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปาน

กลาง 226-283 เมตร ปกคลุมด้วยป่าเต็งรัง มีลำห้วยจันทร์ไหลผ่านกลางพื้นที่ห้วยป่าเป็นลานหินกว้างประมาณ 20-40 เมตร ยาวประมาณ 300 เมตร พบหลุมรูปหม้อและมีแอ่งน้ำตื้นๆ อยู่ทั่วไป (Figure 1B) พื้นที่ราบริมฝั่งลำน้ำที่วัดป่าพุทธกุตสมิง เป็นห้วยป่าธรรมชาติที่เหลืออยู่ท่ามกลางพื้นที่เกษตรกรรม มีพื้นที่ประมาณ 300 ไร่ บริเวณจุดที่ตีแปลงสำรวจมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 116-198 เมตร พื้นดินเป็นดินร่วนปนทราย ปกคลุมด้วยป่าดิบแล้ง มีลำห้วยท่าไหลผ่านกลางพื้นที่ (Figure 1C) สำหรับห้วยป่าบนพื้นที่หินภูเขาไฟภูเขาไฟ มีพื้นที่ 1,415 ไร่ ปกคลุมด้วยป่าเต็งรัง พื้นที่เป็นหินบะซอลต์และดินที่ผุจากหินบะซอลต์ บริเวณจุดที่ตีแปลงสำรวจมีความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 304-335 เมตร (Figure 1D)

2. การสุ่มตีแปลงสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

2.1 ตีแปลงสำรวจตัวอย่างหอยทากบกขนาด 20x20 เมตร^{8-10,13-16} ในพื้นที่น้ำตกห้วยจันทร์ 2 แปลง วัดป่าพุทธกุตสมิง 4 แปลง และภูเขาไฟ 4 แปลง (Figure 1B-D)

2.2 เก็บตัวอย่างหอยทากบกอย่างละเอียดในแต่ละแปลงสำรวจ โดยทำการเก็บตัวอย่างจากบนพื้นดิน ลำต้นของต้นไม้ และในบริเวณที่หอยมักซ่อนตัวอยู่ เช่น ขอนไม้ผุ เปลือก และพุ่มของต้นไม้ใหญ่ ไต้ใบไม้ ในกองซากใบไม้ทับถม โดยใช้ผู้เก็บตัวอย่าง 4 คน เก็บตัวอย่างเปลือกและหอยที่มีชีวิตทุกตัวเป็นเวลา 30 นาที ต่อ 1 แปลงสำรวจ นับจำนวนตัวอย่างแต่ละชนิดที่พบในแต่ละแปลง วิเคราะห์หาดัชนีความหลากหลายชนิด (species diversity index) โดยใช้ Shannon-Wiener Index¹⁷ : $H = -\sum(p_i)(\ln p_i)$ ดัชนีความเด่น (dominance species Index)¹⁷ : $C = \sum(p_i)^2$ และดัชนีความคล้ายคลึงของชนิด Sorensen's similarity coefficient ระหว่างพื้นที่¹⁷ $S_s =$

2.3 ถ่ายภาพตัวอย่างที่ยังมีชีวิต และเปลือกหอยแต่ละชนิดที่พบในแต่ละแปลง ตัวอย่างเปลือกหอยจะลงทะเบียนและเก็บรักษาไว้เป็นตัวอย่างอ้างอิง (reference collection) ของภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

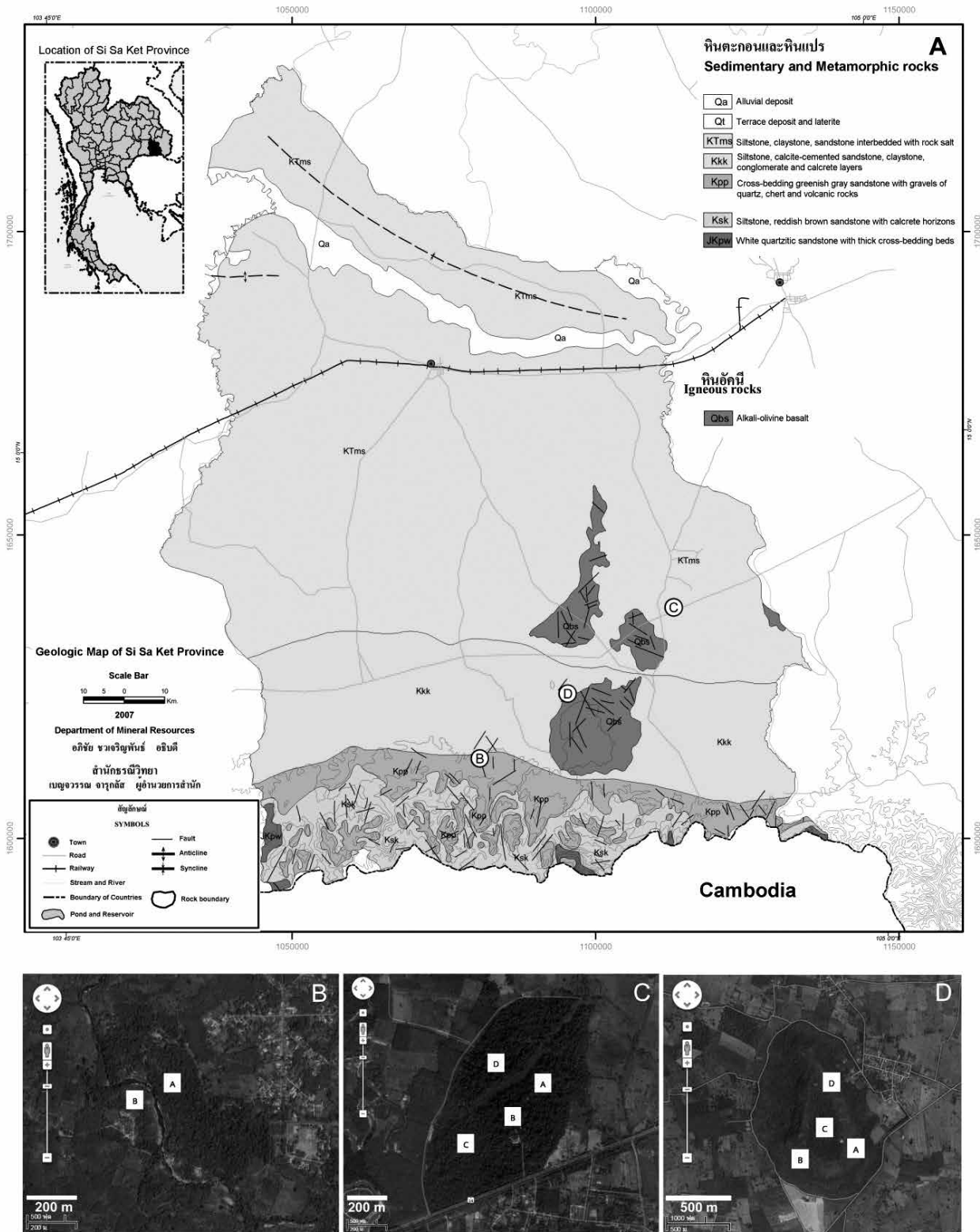


Figure 1 Geologic Map of Si Sa Ket Province and the Study Areas. A, Geologic Map; B, Sandstone Area (Nam Tok Huai Chan); C, Floodplain Area (Wat Pa Buddha Kut Saming); D, Volcanic Rock Area (Phu Fai). (modified after Department of Mineral Resources, 2007¹¹ and Google Maps¹²).

2.4 จำแนกชนิดโดยตรวจสอบกับเอกสารวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหอยทากบกจากบริเวณใกล้เคียง²⁻¹⁰ และตรวจสอบกับรูปถ่ายตัวอย่างต้นแบบ (type specimens) จาก Natural History Museum (London) และรูปถ่ายตัวอย่างอ้างอิง (reference collection) จาก Raffle Museum of Biodiversity Research (Singapore)

3. การศึกษาปัจจัยทางนิเวศวิทยาบางประการที่มีความสัมพันธ์กับหอยทากบก¹⁸ ในแปลงสำรวจหอยทากบกขนาด 20x20 เมตร ทุกแปลงทำการศึกษปัจจัยทางนิเวศวิทยา ดังต่อไปนี้

3.1 ความหนาของชั้นใบไม้ที่ทับถมปกคลุมผิวดิน (Leaf litter depth) เลือกจุดกึ่งกลางด้านใดด้านหนึ่งของขอบแปลงสำรวจ (ที่ตำแหน่ง 10 เมตร) แล้วลากเชือกกลางแปลงยาว 20 เมตร ไปยังจุดกึ่งกลางของขอบด้านตรงข้ามจากนั้นที่ขอบด้านเริ่มต้นซึ่งเชือกยาว 5 เมตร ตั้งฉากออกไปทั้งสองด้านจากเชือกกลางแปลง และทำเช่นนี้ทุก 5 เมตร จนถึงขอบแปลงด้านตรงข้ามรวม 10 เส้น ตีแปลงสำรวจย่อยขนาด 1x1 เมตร ที่ปลายเชือกยาว 5 เมตร ทั้ง 10 เส้น ในแต่ละแปลงทำการวัดความหนาของชั้นใบไม้ทับถมที่ปกคลุม

ผิวดินแปลงละ 10 จุด ให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่^{18,19} แล้วบันทึกผล (Figure 2A)

3.2 ความหลากหลายของไม้ล้มลุกและไม้พุ่ม (Herbaceous vegetation diversity) ใช้แนวเส้นเชือกเดียวกับที่ซึ่งเพื่อเก็บข้อมูลความหนาชั้นใบไม้ จุดเริ่มต้นเริ่มจากทางด้านขวา ลากเชือกยาว 5 เมตรตั้งฉากตรงไปแบบสลับซ้ายขวาห่างกันทุกๆ 5 เมตร ทำการเก็บตัวอย่างต้นไม้ที่สัมผัสกับเส้นเชือกหรืออยู่ในระยะห่างเส้นเชือกไม่เกิน 1 เมตร จากนั้นจำแนกชนิดและนับจำนวนชนิดในแต่ละแปลงแล้วบันทึกผล (Figure 2B)

3.3 เปอร์เซนต์สิ่งปกคลุมผิวดิน (Percent surface cover) โดยใช้แนวเส้นเชือกสลับข้างกันกับการศึกษาความหลากหลายของไม้ล้มลุกและไม้พุ่ม โดยในแนวเส้นเชือกยาว 5 เมตร แต่ละเส้นทำการเก็บข้อมูล 50 จุดห่างกันทุกระยะ 10 เซนติเมตร (ไม่รวมจุดเริ่มต้นที่แนวเชือกกลางแปลง) สังเกตสิ่งปกคลุมดิน บันทึกผลเป็นดิน หิน พีช และใบไม้แห้ง นำจำนวนที่บันทึกได้มาคำนวณเป็นเปอร์เซนต์สิ่งปกคลุมผิวดิน (Figure 2C)

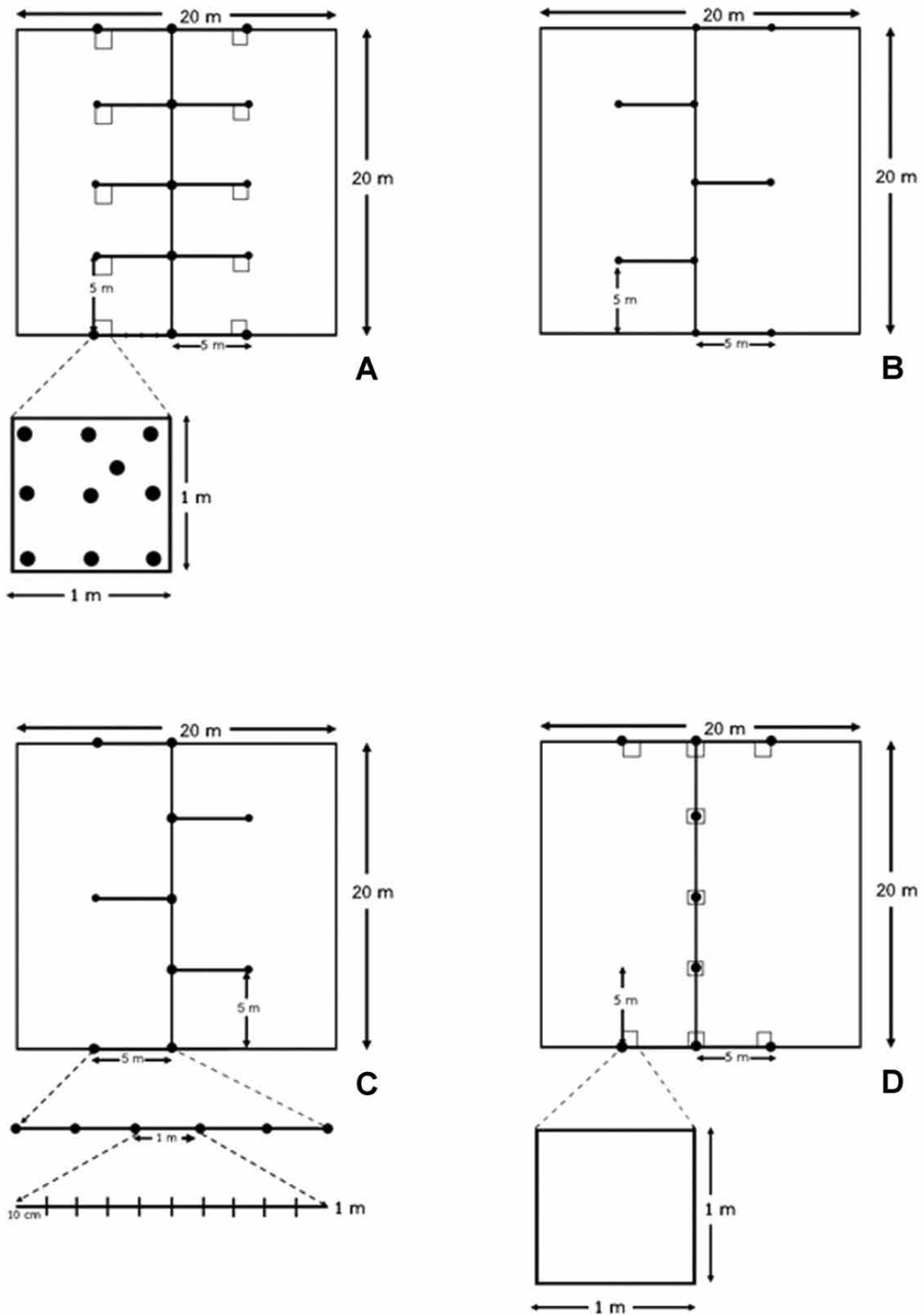


Figure 2 Sampling plots for; A, Leaf litter depth; B, Herbaceous vegetation; C, Percent covered; D, Leaf litter diversity. (Adapted after Tumpeesuwan et al., 2014¹⁹)

3.4 ความหลากหลายชนิดของใบไม้ที่ทับถม (Leaf litter diversity) ตีแปลงสำรวจ ขนาด 1x1 เมตร จำนวน 9 แปลง ประกอบด้วย แปลงที่จุดเริ่มต้นตามแนวเส้นเชือกกลาง แปลงและแปลงถัดไปห่างจุดเดิมทุก 5 เมตร รวม 5 แปลง และแปลงที่ปลายเส้นเชือก 5 เมตร ที่ลากตั้งฉากกับจุดกึ่งกลาง ขอบด้านเริ่มและด้านตรงข้ามรวม 4 แปลง เก็บตัวอย่างใบไม้ที่ทับถมบนพื้นในแปลงสำรวจ จากนั้นทำการจำแนกชนิดโดยเลือกใบที่มีสภาพที่สมบูรณ์ที่สุดแล้วบันทึกผล (Figure 2D)

3.5 นำข้อมูลปัจจัยทางนิเวศวิทยาทั้ง 4 อย่าง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กับค่าความหลากหลายชนิดของหอยทากบกในแต่ละแปลงสำรวจ ด้วยการวิเคราะห์ correlation และ regression

ผลการศึกษา

จากการเก็บตัวอย่างหอยทากบกในพื้นที่ศึกษา จังหวัดศรีสะเกษที่มีความแตกต่างทางธรณีวิทยา 3 พื้นที่ และมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 116-335 เมตร ได้แก่ ห่อมป่าที่ปกคลุมพื้นที่หินทราย (น้ำตกห้วยจันทร์) ห่อมป่าที่ปกคลุมพื้นที่ราบริมลำน้ำ (วัดป่าพุทธกุดสมิง) และห่อมป่าที่ปกคลุมบนพื้นที่หินภูเขาไฟ (ภูฝ้าย) โดยใช้แปลงสำรวจ ขนาด 20 x 20 เมตร จำนวน 2, 4 และ 4 แปลง ตามลำดับ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบหอยทากทั้งหมด 991 ตัวอย่าง เป็นเปลือก 864 ตัวอย่าง คิดเป็น 87.70% และเป็นตัวที่ยังมีชีวิต 127 ตัวอย่าง คิดเป็น 12.30% ประกอบด้วย หอยทากที่มีฝาปิดเปลือก (Subclass Prosobranchia) 2 ชนิด หอยทากไม่มีเปลือก (Subclass Gymnomorpha) 1 ชนิด และหอยทากบกที่ไม่มีฝาปิดเปลือก (Subclass Pulmonata) 10 ชนิด (Figure 3; Table 1) หอยทาก *Cyclophorus* sp. พบมากที่สุด 356 ตัวอย่าง คิดเป็น 31.96% รองลงมา คือ *Cyclotus setosus* พบ 181 ตัวอย่าง คิดเป็น 16.25% และ *Cryptozonia siamensis* พบ 158 ตัวอย่าง คิดเป็น 14.18% ในขณะที่หอยทากบกที่พบน้อยที่สุด คือ *Semperula siamensis* พบ 1 ตัวอย่าง คิดเป็น 0.09% รองลงมาคือ *Chloritis* sp. พบ 2 ตัวอย่าง คิดเป็น 0.18% และ *Achatina fulica* พบ 4 ตัวอย่าง คิดเป็น 0.36% ในฤดูฝนพบหอยทากบก 12 ชนิด ความหนาแน่น 0.1383 ตัว/ตารางเมตร และในฤดูแล้งพบ 9 ชนิด ความหนาแน่น 0.1095 ตัว/ตารางเมตร (Table 2) ในจำนวนนี้มี 5 ชนิด ที่พบเฉพาะในฤดูฝนคือ *Semperula siamensis*, *Succinea tenella*, *Sitala* sp., *Chloritis* sp., และ *Pseudobuliminus (Giardia) siamensis* และมี 1 ชนิดที่พบเฉพาะในฤดูแล้งคือ *Quantula weinkauffiana* (Table 1-2)

บริเวณห่อมป่าบนเขาหินทราย (น้ำตกห้วยจันทร์) พบหอยทากบก 7 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (H') เท่ากับ 1.4536 และค่าดัชนีความเด่น (C') เท่ากับ 0.2988 ฤดูแล้งพบ 4 ชนิด ฤดูฝนพบ 6 ชนิด (Table 1) มีค่าดัชนีความคล้ายคลึง (Sorensen's similarity coefficient) ระหว่างฤดูกาล เท่ากับ 0.67

ห่อมป่าพื้นที่ราบ (วัดป่าพุทธกุดสมิง) พบหอยทากบก 9 ชนิด ค่าดัชนีความหลากหลายชนิด (H') เท่ากับ 1.9070 ค่าดัชนีความเด่น (C') เท่ากับ 0.1820 (Table 1) ฤดูแล้งพบ 5 ชนิด ฤดูฝนพบ 8 ชนิด ค่าดัชนีความคล้ายคลึงระหว่างฤดูกาลเท่ากับ 0.62

บริเวณห่อมป่าบนพื้นที่หินภูเขาไฟ (ภูฝ้าย) พบหอยทากบก 8 ชนิด ดัชนีความหลากหลายชนิด (H') มีค่า 1.3570 และดัชนีความเด่น (C') มีค่าเท่ากับ 0.3235 (Table 1) ในฤดูแล้งพบ 7 ชนิด ฤดูฝนพบ 7 ชนิด มีค่าดัชนีความคล้ายคลึงระหว่างฤดูกาลเท่ากับ 0.8

ค่าสัมประสิทธิ์ความคล้ายคลึง (S_s) ของหอยทากบก ระหว่างห่อมป่าแต่ละพื้นที่ พบว่าหอยทากบกที่พบในพื้นที่น้ำตกห้วยจันทร์มีความคล้ายคลึงกับพื้นที่ภูฝ้ายมากที่สุดซึ่งมีค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 0.833 รองลงมาคือ พื้นที่วัดพุทธกุดสมิงกับพื้นที่ภูฝ้าย มีค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 0.8 และพื้นที่น้ำตกห้วยจันทร์กับวัดป่าพุทธกุดสมิง มีค่าความคล้ายคลึงเท่ากับ 0.774 (Table 3)

ความสัมพันธ์ของร้อยละพื้นที่ปกคลุมกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก พบว่า เปอร์เซ็นต์การปกคลุมของดิน มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างไม่มีนัยสำคัญกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก ($R^2 = 0.057$, $p = 0.508$) (Figure 4) คือ เมื่อเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของดินเพิ่มมากขึ้น ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น อาจเนื่องมาจากในแปลงที่มีพื้นที่ปกคลุมที่เป็นดินมาก จะเป็นถิ่นอาศัยย่อย ที่หลบภัย และเป็นแหล่งอาหารที่เหมาะสมของหอยทากบก ซึ่งหอยทากที่พบส่วนใหญ่มีรูปร่างแบนเป็นหอยที่มีกพบตามพื้นดิน ร้อยละการปกคลุมของดินและใบไม้แห้งไม่มีผลต่อความหลากหลายชนิดของหอยทากบก ($R^2 = 0.0003$, $p = 0.961$ และ $R^2 = 0.0154$, $p = 0.733$) เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างที่มีการปกคลุมของหินส่วนใหญ่เป็นก้อนหินขนาดใหญ่ ผิวเรียบไม่ค่อยมีซอกหลืบให้หลบซ่อนตัว และร้อยละการปกคลุมของพืชกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบกมีความสัมพันธ์กันในทางลบอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($R^2 = 0.2542$, $p = 0.137$) คือ เมื่อเปอร์เซ็นต์การปกคลุมของพืชเพิ่มมากขึ้น ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากหอยทากบกส่วนใหญ่เป็นผู้บริโภคซากใบไม้ทับถม บริเวณพื้นที่มีพืชปกคลุม

หนาแน่นมากอาจจะเป็นบริเวณที่มีแหล่งอาหารน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการที่เศษใบไม้ไม่สามารถร่วงลงไปทับถมบนพื้นได้ (Figure 4)

จำนวนชนิดของพืชล้มลุกไม้พุ่มและความหนาของชั้นใบไม้แห้งไม่มีความสัมพันธ์กับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก ($R^2 = 0.0058, p = 0.834$ และ $R^2 = 0.0038, p = 0.866$) คือ เมื่อจำนวนชนิดของพืชล้มลุกและไม้พุ่มเพิ่มมากขึ้นความหลากหลายชนิดของหอยทากบกก็ลดลง (Figure 5)

จำนวนชนิดของใบไม้แห้งมีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างไม่มีนัยสำคัญกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก ($R^2 = 0.1272, p = 0.312$) คือเมื่อจำนวนชนิดของใบไม้แห้ง

เพิ่มมากขึ้นความหลากหลายชนิดของหอยทากบกจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Figure 5) เนื่องจากชนิดของใบไม้แห้งบ่งบอกถึงชนิดของไม้ยืนต้น ซึ่งในบริเวณที่มีต้นไม้หลากหลายชนิด เมื่อใบร่วงตัวลงสู่พื้นป่าก็จะส่งผลให้เกิดชนิดเห็ดราที่มาย่อยสลายมีความหลากหลายชนิดไปด้วย¹⁸ ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเพราะหอยทากบกส่วนใหญ่กินเศษซากใบไม้ที่ผุพังและ เห็ดราเป็นอาหาร นอกจากนี้ร่มเงาจากต้นไม้ยังช่วยรักษาความชื้นไว้ทำให้พื้นป่าเหมาะกับการอยู่อาศัย เจริญเติบโตของเห็ดราผู้ย่อยสลาย และเป็นพื้นที่หาอาหารหลบซ่อนตัวภายใต้ใบไม้ที่ทับถมของสัตว์ที่กินซากเน่าเปื่อย (detritivore) อย่างหอยทากบก

Table 1 Land snails recorded in 3 forest patches in Si Sa Ket Province (D = Dry Season; R = Rainy Season)

Landsnail species	Study Areas						Total specimens
	Huai Chan		Kut Saming		Phu Fai		
	D	R	D	R	D	R	
<i>Cyclophorus</i> sp.	10	18	12	1	163	152	356
<i>Cyclotus setosus</i>	0	0	0	0	53	128	181
<i>Semperula siamensis</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Achatina fulica</i>	0	0	0	0	1	3	4
<i>Succinea tenella</i>	0	0	0	6	0	0	6
<i>Cryptozonia siamensis</i>	2	8	8	20	72	48	158
<i>Hemiplecta distincta</i>	18	56	19	32	11	1	137
<i>Sitala</i> sp.	0	0	0	13	0	0	13
<i>Quantula weinkauffiana</i>	5	0	15	0	26	0	46
<i>Quantula</i> sp.	0	35	0	11	6	9	61
<i>A. (A.) inversus annamiticus</i>	0	0	17	1	0	0	18
<i>Choritis</i> sp.	0	2	0	0	0	0	2
<i>Pseudobuliminus siamensis</i>	0	6	0	0	0	2	8
Total Species	7		9		8		13
Total Specimens	160		156		675		991
Species Diversity Index (H)	1.4536		1.9070		1.3570		1.8216
Dominance Species Index (C)	0.2988		0.1820		0.3235		0.2122

Table 2 Abundant and Density of Land snail species in Both Rainy and Dry Season

Species	Dry Season		Rainy Season	
	Number of specimens	Density (specimens/m ²)	Number of specimens	Density (specimens/m ²)
<i>Cyclophorus</i> sp.	185	0.046	171	0.043
<i>Cyclotus setosus</i>	53	0.013	128	0.032
<i>Semperula siamensis</i>	-	-	1	0.0003
<i>Achatina fulica</i>	1	0.0003	3	0.0008
<i>Succinea tenella</i>	-	-	6	0.0015
<i>Cryptozona siamensis</i>	82	0.021	76	0.019
<i>Hemiplecta distincta</i>	48	0.012	89	0.0223
<i>Sitala</i> sp.	-	-	13	0.0033
<i>Quantula weinkauffiana</i>	46	0.0115	-	-
<i>Quantula</i> sp.	6	0.0015	55	0.014
<i>A. (A.) inversus annamiticus</i>	17	0.0043	1	0.0003
<i>Choritis</i> sp.	-	-	2	0.005
<i>Pseudobuliminus siamensis</i>	-	-	8	0.002
Total	438	0.1095	553	0.1383

Table 3 Sorensen's similarity coefficient (Ss) of lands nails species between each forest patch.

Forest Patches	Huai Chan	Kut Saming	Phu Fai
Huai Chan	1		
Kut Saming	0.774	1	
Phu Fai	0.833	0.8	1

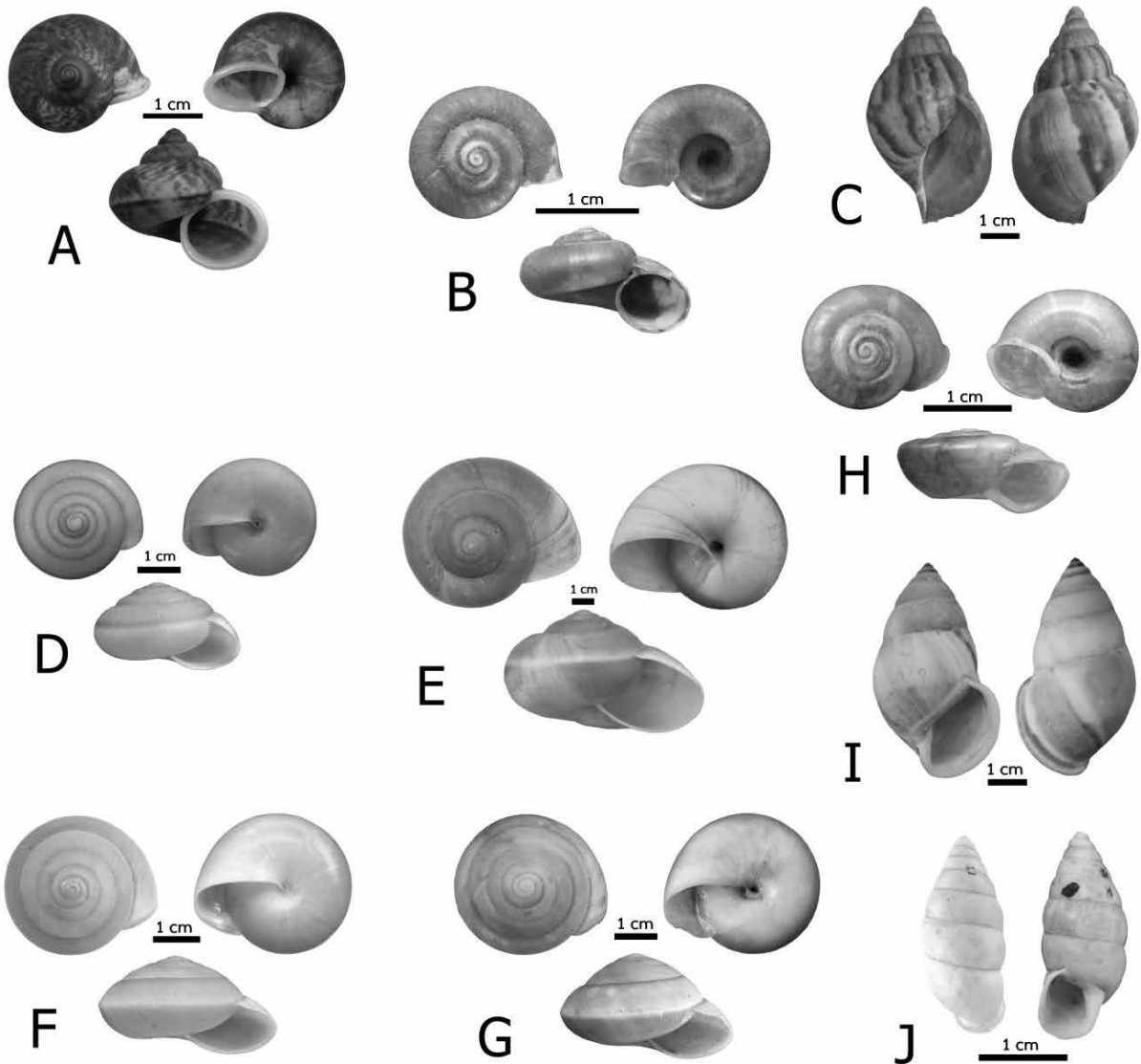


Figure 3 Land snails of Si Sa Ket Province: A = *Cyclophorus* sp.; B = *Cyclotus setosus*; C = *Achatina fulica*; D = *Cryptozonia siamensis*; E = *Hemiplecta distincta*; F = *Quantula weinkauffiana*; G = *Quantula* sp.; H = *Chloritis* sp.; I = *Amphidromus (Amphidromus) inversus annamiticus*; J = *Pseudobuliminus (Giardia) siamensis*; K = *Semperula siamensis*; L = *Succinea tenella*, M = *Sitala* sp.

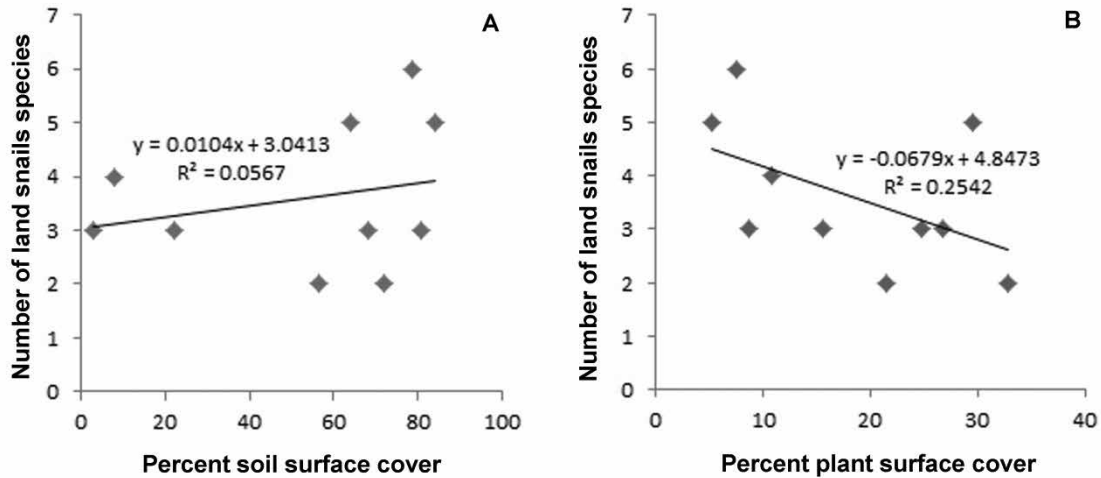


Figure 4. Relationship among; A, Percent soil surface cover and number of species ($R^2 = 0.057$, $p = 0.508$); B, Percent plant surface cover and number of species ($R^2 = 0.2542$, $p = 0.137$).

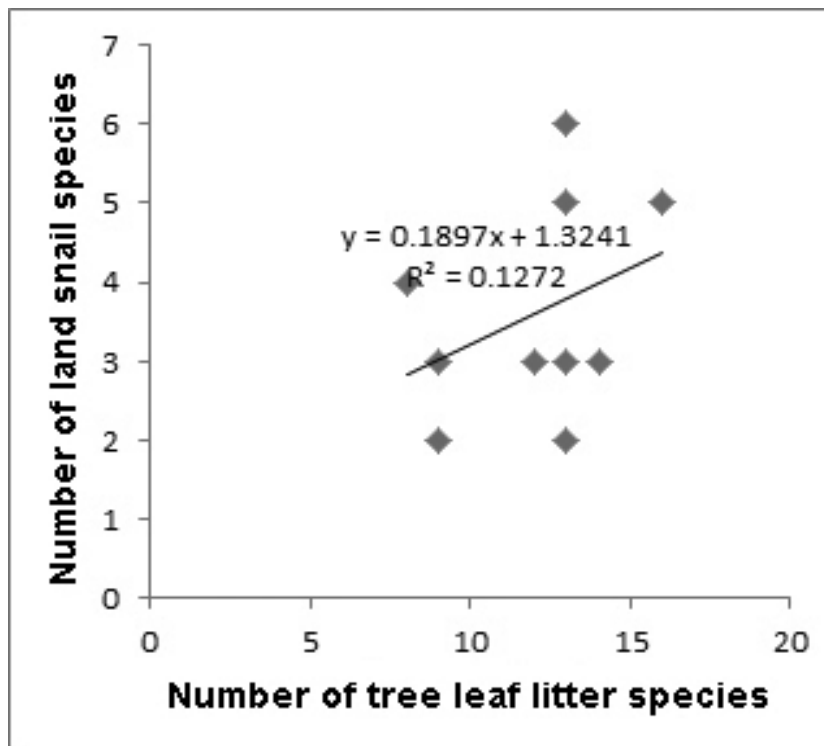


Figure 5. Relationship among; Leaf litter diversity and number of species. ($R^2 = 0.1272$, $p = 0.312$)

วิจารณ์และสรุปผล

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่หินภูเขาไฟ (ภูเขาไฟ) ป่าพื้นที่ราบ (วัดป่าพุทธกุดสมิง) และพื้นที่ภูเขาหินทราย (น้ำตกห้วยจันทร์) พบว่าภูเขาไฟพบหอยทากบกทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งทั้งหมด 675 ตัวอย่าง จัดจำแนกได้เป็น 5 วงศ์ 8 ชนิด เป็นพื้นที่ศึกษาที่มีหอยทากบกชุกชุมมากที่สุดและมีความหลากหลายชนิดมาก ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับเขาพนมสวาย จ.สุรินทร์ ซึ่งเป็นภูเขาไฟเก่าที่เคยมีการศึกษาความหลากหลายชนิดของหอย

ทากบกมาก่อนพบเพียง 3 วงศ์ 5 ชนิด¹⁰ อาจตั้งสมมติฐานได้ว่าช่วงเวลาที่เกิดการระเบิดครั้งสุดท้ายอาจมีผลต่อระยะเวลาสะสมความหลากหลายทางชีวภาพจากกระบวนการเกิดการเปลี่ยนแปลงแทนที่ของระบบนิเวศหลังจากถูกทำลายจากหินหลอมเหลวและแก๊สภูเขาไฟ พื้นที่ภูเขาไฟมีความหลากหลายชนิดของหอยทากบกมากกว่าเขาพนมสวายอาจเป็นเพราะภูเขาไฟเป็นภูเขาไฟที่ดับไปนานกว่าเขาพนมสวายซึ่งต้องหาข้อมูลทางธรณีวิทยามาพิสูจน์ต่อไป นอกจากนี้อาจมีผลเนื่องจากพื้นที่

ศึกษาเป็นเขตป่าชุมชนอนุรักษ์ ลักษณะพื้นที่มีก้อนหินขนาดใหญ่ทั่วทั้งพื้นที่ซึ่งเหมาะแก่การหลบซ่อนตัวจากอันตรายของหอยทากบก ประกอบกับดินที่ผุพังจากหินบะซอลต์ของหินภูเขาไฟเก่ามีแร่ธาตุที่จำเป็นต่อพืชสูงทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีเป็นแหล่งอาหารให้หอยทากบกเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ดี ส่วนวัดป่าพุทธกุดสมิงพบหอยทากบกทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งทั้งหมด 156 ตัวอย่าง จำแนกออกเป็น 7 วงศ์ 9 ชนิด เป็นพื้นที่ที่มีความหลากหลายชนิดมากที่สุด พบหอยที่มีลักษณะน่าสนใจคือ หอยใบไม้จิ๋ว *Sitala* sp. ที่พบเกาะเฉาะใต้ใบไม้ยืนต้น นอกจากนี้ยังพบหอยช็อคโกแลต *Amphidromus* (*Amphidromus*) *inversus annamiticus* เป็นหอยต้นไม้ที่เคยมีรายงานจากพื้นที่ใกล้เคียงคือ เขาศาลา จังหวัดสุรินทร์¹⁰ ซึ่งมีความน่าสนใจในแง่ของการกระจายทางภูมิศาสตร์ คุณค่าทางการอนุรักษ์ และอีกหลายแง่มุมที่ยังขาดการศึกษาข้อมูลในเชิงลึก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ศึกษาเป็นเขตอภัยทานของวัด ห้ามมีการล่าสัตว์ หรือบุกรุกทำการเกษตร สภาพป่ายังคงความอุดมสมบูรณ์ มีต้นไม้ขนาดใหญ่และไม่พุ่มจำนวนมาก เหมาะกับการหลบซ่อนตัวจากอันตรายทั้งจากการบุกรุกถิ่นอาศัย และสารเคมีต่าง ๆ^{3, 8, 10, 13, 16}

ป่าที่ปกคลุมพื้นที่หินทราย น้ำตกห้วยจันทร์พบหอยทากบกทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้งทั้งหมด 160 ตัวอย่าง จัดจำแนกได้เป็น 5 วงศ์ 7 ชนิด เป็นพื้นที่ศึกษาที่พบความหลากหลายชนิดน้อยที่สุด อาจมีสาเหตุจากการที่พื้นที่ศึกษาเป็นแหล่งท่องเที่ยว พื้นที่หอยมป่าถูกแบ่งคั่นกลางด้วยลำน้ำห้วยจันทร์ซึ่งทำให้หอยมป่าที่มีพื้นที่ขนาดเล็กเกิดการแตกกระจาย (fragmentation) และพื้นที่บริเวณขอบป่า (edge) ง่ายต่อการบุกรุกทำเกษตรกรรม²⁰ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้พบชนิดและจำนวนของหอยทากบกได้น้อย

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทางกายภาพกับความหลากหลายชนิดของหอยทากบก พบว่าเมื่อจำนวนชนิดของใบไม้แห้ง (Tree leaf litter species) มีเพิ่มมากขึ้น ความหลากหลายชนิดของหอยทากบกจะมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น (Figure 5) สอดคล้องกับการศึกษาใน southern Appalachian mountains ประเทศสหรัฐอเมริกา¹⁸ เนื่องจากชนิดของใบไม้แห้งบ่งบอกถึงชนิดของไม้ยืนต้น ซึ่งในบริเวณที่มีต้นไม้หลากหลายชนิด เมื่อใบร่วงตกลงสู่พื้นป่าก็จะส่งผลให้เกิดชนิดเห็ดราที่มาย่อยสลายมีความหลากหลายชนิดไปด้วย¹⁸ แต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในการศึกษาในครั้งนี้มีค่า R^2 ค่อนข้างต่ำ แม้จะเห็นแนวโน้มความสัมพันธ์ อาจเป็นเพราะจำนวนแปลงสุ่มตัวอย่างมีน้อยและสังคมป่าในหอยมป่าที่ศึกษาต่างกันเกินไป ซึ่งเป็นจุดที่ต้องปรับปรุงในการวางแผนการศึกษาในครั้งต่อไป

ข้อมูลจากการศึกษาข้างชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของพื้นที่ป่าที่ราบริมลำน้ำซึ่งมีความหลากหลายชนิดของหอยทากบกมากที่สุดในบรรดาหอยมป่าที่เลือกเป็นพื้นที่ศึกษาในครั้งนี้ และมีชนิดของหอยทากบกที่มีความสวยงามและมีความน่าสนใจในเชิงชีวภูมิศาสตร์และชีววิทยาการอนุรักษ์ซึ่งภาครัฐควรให้ความใส่ใจหามาตรการปกป้องคุ้มครองให้เป็นพื้นที่อนุรักษ์เพื่อรักษาความหลากหลายทางชีวภาพและเป็นแหล่งทรัพยากรชีวภาพเพื่อเป็นหลักประกันความมั่นคงทางอาหารและยารักษาโรคของคนในท้องถิ่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกิตติ ดันเมืองปัก วันศิริ บุญเพลิง ชัยวัตร กาลพัฒน์ จักรพันธ์ ทูมมา ทองจันทร์ ศรีสาเนตร ศราวุธ ศรีสาเนตร ศุทธิวี ศรีมงคล และธีรยุทธ ภูคงคา ที่ช่วยเก็บตัวอย่างภาคสนาม ขอขอบพระคุณ รัตนชัย ปลุกพันธ์ ชัยโย หอมหูล นิตยา โยธา สุนทร บุญศรีธา สุลี ภาชีน เจ้าหน้าที่นำตกห้วยจันทร์ ที่อำนวยความสะดวกในการทำวิจัยในครั้งนี้ โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สัญญาเลขที่ 5704020/2557

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. ข้อมูลสถิติ 2558. กลุ่มงานวางแผนและสถิติ ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานแผนและสารสนเทศ กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. กรุงเทพฯ; 2558.
2. ชนิดาพร วรจักร และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. หอยทากบกในเขตจังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2545; 21(2): 11-18.
3. ศิริชัย ศรีหาดา ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และ ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลายชนิด ความชุกชุม และ ถิ่นอาศัยของหอยทากบก ในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร บนภูโน จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2553; 29(4): 359-371.
4. ทศนีย์ แจ่มจรรยา อรุณ ลีวานิช ลอศรี เสนาะเมือง ชุตินา หาญจวนิช นฤมล แสงประดับ สุคนธ์ พลกนิษฐ์ ปรียะวุฒิ วัชรานนท์ สมพงษ์ สิทธิพรหม และพรพิมล เจียรนัยปรีเปรม. รายงานการวิจัยเรื่อง การศึกษาความหลากหลายทางสัตววิทยาในเขตอุทยานแห่งชาติภูพาน. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น; 2540.

5. Tumpeesuwan, C. Species diversity, distribution and habitat relationships of Terrestrial snails on the Phu Phan Mountain Range of northeastern Thailand. Ph.D. Thesis, Biological Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University. Bangkok; 2007.
6. พินิจ หวังสมนึก. รายงานการวิจัยเรื่อง การสำรวจหอยทากบกที่พบในพื้นที่โคกภูตากา อำเภอภูเวียงจังหวัดขอนแก่น โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี พื้นที่โคกภูตากา ภูเวียง จังหวัดขอนแก่น. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น; 2540.
7. ชมพูนุท จรรยาเพศ ปราสาททอง พรหมเกิด ปิยาณี หนูภาพ สมเกียรติ กล้าแข็ง และดาราวรรณ รินทะรักษ์. ความหลากหลายของหอยทากและทากในแหล่งสงวนชีวมณฑลสะแกกราช. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการอรัญญาพืชแห่งชาติ ครั้งที่ 8 สำนักวิจัยพัฒนาการอารักขาพืช กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ; 2551: 60-72.
8. ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลายและชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูทอกน้อย จังหวัดหนองคาย. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. 2553ก; 29(3): 298-307.
9. ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาคินปุณ และภูเขาคินทรายในจังหวัดหนองบัวลำภู. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2553ข; 15(12): 10-19.
10. ปฏิพล จำลอง ชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ และ ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลายและความชุกชุมของหอยทากบกบริเวณภูเขาคินทรายและภูเขาคินไฟเก่าในจังหวัดสุรินทร์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2556; 18(1): 67-81.
11. กรมทรัพยากรธรณี. แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดศรีสะเกษ. สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. กรุงเทพฯ; 2550.
12. Google Maps [Internet]. Si Sa Ket [updated 2016; cited 2016 Nov 13]. Available from: <https://www.google.co.th/maps/@14.9546185,103.8443174,202118m/data=!3m1!1e3>.
13. De Winter, A. J. and Gittenberger, E. The landsnail fauna of a square kilometer Patch of rainforest in southwestern Cameroon : high species richness, low Abundance and seasonal fluctuations. Malacologia. 1998; 40(1-2): 231-250.
14. Schillthuisen, M. and Rutjes, H. A. Land snail diversity in square kilometer of tropical rainforest in Sabah, Malaysian Borneo. Journal of Molluscan Studies. 2001; 67: 417-423.
15. Cameron, R. A. D., Mylonas, M., Triantis, K., Parmakelis, A., and Vardinoyannis, K. Land snail diversity in a square kilometer of Cretan Maquis: Modest species richness, high density and local homogeneity. Journal of Molluscan Studies. 2003; 69: 93-99.
16. Oke, C.O. Terrestrial mollusc species richness and diversity in Omo Forest Reserve, Ogun State, Nigeria. African Invertebrates. 2013; 54(1): 93-104.
17. Krebs, C. J. Ecological methodology. 2nded. Addition Wesley Longman, Inc.; 1999.
18. Getz, L. L., & Uetz, G. W. Species diversity of terrestrial snails in the southern Appalachian mountains, USA. Malacological review. 1994; 27(1-2): 61-74.
19. ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ นภวรรณ ถวิลการ และชนิดาพร ตุ่มปีสุวรรณ. ความหลากหลาย ความชุกชุม และความสัมพันธ์กับถิ่นอาศัยของหอยทากบกบริเวณภูเป้ง จังหวัดกาฬสินธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ฉบับพิเศษประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามครั้งที่ 10. 2557; 10: 498-506.
20. นันทชัย พงศ์พัฒนานุรักษ์ และประทีป ด่วงแค. นิเวศวิทยาของการออกแบบแนวเชื่อมต่อสำหรับสัตว์ป่า: แนวความคิดในเบื้องต้นสำหรับประเทศไทย. วารสารสัตว์ป่าเมืองไทย. 2553; 17(1): 1-25.

การวิเคราะห์ความเสี่ยงพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

Flood Risk Analysis based on a Decision Tree Model at Songkhla Lake Basin

ธิดาภัทร อนุชาญ¹, นิตติ เอี่ยมชื่น²

Thidapath Anucharn¹, Niti lamchuen²

Received: 23 January 2017 ; Accepted: 5 May 2017

บทคัดย่อ

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา เป็นพื้นที่ที่เกิดน้ำท่วมและสร้างความเสียหายให้กับชีวิตและทรัพย์สิน ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม โดยการนำปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมมาพิจารณาพร้อมกับพื้นที่น้ำท่วมที่เคยเกิดขึ้นในอดีต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550-2557 โดยใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 4 ปัจจัย ได้แก่ 1) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 2) การระบายน้ำของพื้นผิวดิน 3) ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง และ 4) ความหนาแน่นของทางน้ำ จากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกผลที่ได้สร้างขึ้นมานั้น พบว่าค่าการจับกลุ่มความถูกต้อง, ค่าการจับกลุ่มความไม่ถูกต้อง, ค่าความแม่นยำของแบบจำลอง, ค่าความระลึกของแบบจำลอง, ค่าความเหวี่ยงของแบบจำลอง และค่าพื้นที่โค้งจาก ROC คือ 95.21%, 4.79%, 0.896, 0.813, 0.853 และ 0.895 ตามลำดับ

คำสำคัญ: น้ำท่วม ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ต้นไม้การตัดสินใจ แผนที่ความอ่อนไหว

Abstract

The Songkhla lake basin is an area where flooding causes damage to people and properties. In this study, the factors affecting flooding were analyzed. All factors were considered in areas that had experienced past flooding between 2007 and 2014 using a decision tree model. The study provided evidence that the factors influencing flooding comprised 1) land use and land cover, 2) surface drainage, 3) altitude, and 4) stream network density. The evaluation efficiency of the model was addressed. The outcomes could be divided into 6 categories: correct classification instances, incorrect classification instances, precision, recall, F-measure and receiver operating characteristics (ROC) curve were 95.21%, 4.79%, 0.896, 0.813, 0.853 and 0.895 respectively.

Keywords: Flood, Songkhla lake basin, Decision tree, Susceptibility mapping

บทนำ

“ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา” เป็นพื้นที่ป่าต้นน้ำที่สำคัญของทะเลสาบสงขลา อยู่ในเขตจังหวัดสงขลา พัทลุงและนครศรีธรรมราช (Figure 1) ส่วนใหญ่อยู่ในแนวเทือกเขา 2 เทือกเขาที่สำคัญคือ แนวเทือกเขาวรรทัด กับแนวเขาเตี้ยๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของเทือกเขาสันกาลาคีรี ซึ่งทั้งสองเทือกเขามีพื้นที่เป็นป่าดิบชื้น

พื้นที่ภูเขาส่วนใหญ่จัดเป็นเขตอนุรักษ์พันธุ์สัตว์ป่าหรืออุทยานแห่งชาติ ถัดจากพื้นที่ป่าต้นน้ำเป็นบริเวณชายเขาและที่ราบลุ่มซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยของ “คนลุ่มน้ำ” และทำการเกษตรมีลำคลองหลายสายไหลผ่านลงสู่ทะเลสาบสงขลา บริเวณโดยรอบทะเลสาบสงขลา มีทั้งแหล่งชุมชนที่เป็นชุมชนชนบทและชุมชนเมือง พื้นที่พรุ พื้นที่การเกษตร พื้นที่อุตสาหกรรมและ

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ 90110

² อาจารย์, สาขาวิชาภูมิสารสนเทศศาสตร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา 56000

¹ Lecturer, Information Technology Department, Faculty of Science and Technology, Hatyai University, 90110 E-mail: thidapath.a@gmail.com

² Lecture, Department of Geographic Information Science, School of Information and Communication Technology, University of Phayao, 56000 E-mail: niti018@hotmail.com

ป่าชายเลน¹ จากลักษณะภูมิประเทศดังกล่าวส่งผลให้ที่ผ่านมามีบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเกิดน้ำท่วมซ้ำซาก สำหรับเหตุการณ์ที่สร้างความเสียหายให้แก่ทรัพย์สินเป็นอย่างมากในรอบปีต่างๆ ที่เคยเกิดขึ้นในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา โดยจังหวัดสงขลา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2557 พบว่ามีประชาชนเสียชีวิต 18 ราย ได้รับความเดือดร้อนทั้งสิ้น 17,935 คน 182,356 ครัวเรือน รวมมูลค่าความเสียหาย 63,189,500 บาท² สำหรับจังหวัดพัทลุง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2539-2548 พบว่ามีประชาชน ได้รับความเดือดร้อนทั้งสิ้น 395,605 คน 118,328 ครัวเรือน มีพื้นที่การเกษตร เสียหาย 245,618 ไร่ รวมมูลค่าความเสียหาย 55,595,306 บาท³ ล่าสุดในปี พ.ศ. 2559 จังหวัดสงขลา น้ำท่วมขังในพื้นที่ 10 อำเภอ 63 ตำบล 352 หมู่บ้าน มีผู้เสียชีวิต 2 ราย ผู้บาดเจ็บ 1 ราย ประชาชนได้รับผลกระทบ 24,246 ครัวเรือน 81,319 คน อพยพประชาชน 232 ครัวเรือน 455 คน ถนนเสียหาย 369 สาย และจังหวัดพัทลุง น้ำท่วมขังในพื้นที่ 11 อำเภอ 62 ตำบล 572 หมู่บ้าน 45 ชุมชน มีผู้เสียชีวิต 2 ราย ประชาชนได้รับผลกระทบ 31,142 ครัวเรือน 85,393 คน อพยพประชาชน 27 ครัวเรือน⁴

จากการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของนาถนเรศ อากาศสุวรรณ, ประมาณ เทพสงเคราะห์ และวรุฒม์ นาที³, สุพิชฌาย์ ธนารุณ⁵, สุณัฐพงศ์ สูงสุมาลัย⁶, และ พิระพิทย์ พิฆังคผล และคณะ⁷ พบว่ามีหลายปัจจัยที่ นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาพื้นที่น้ำท่วม จึงทำการคัดเลือกเพื่อกำหนดเป็นปัจจัยทางกายภาพที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา รวม 6 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 2) ความลาดชัน 3) การระบายน้ำของพื้นผิวดิน 4) ความหนาแน่นของทางน้ำ 5) ความหนาแน่นของเส้นทางถนน และ 6) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง (Altitude: Mean sea level: MSL) ธรรมชาติของการไหลของน้ำจะไหลจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำกว่า ตามลักษณะของพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างมีแนวทิวเขาบรรทัดกั้นระหว่างฝั่งตะวันตกและฝั่งตะวันออก ทำให้มีความสูงลดหลั่นจากแนวภูเขาตอนกลางแผ่นดินไศลระดับลงมาที่ราบฝั่งตะวันออกหรือฝั่งอ่าวไทย และได้รับความชุ่มชื้นจากอิทธิพลของทั้งจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ พัดผ่านอ่าวไทย ทำให้ช่วงดังกล่าวจะมีฝนตกชุกมาก ถ้าน้ำทะเลหนุนในช่วงนี้จะทำให้เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ที่เป็นที่ต่ำได้ง่าย⁸ รายละเอียดดัง Figure 2

ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) หมายถึง ลักษณะของพื้นที่ที่ลาดเอียงไปจากแนวราบ หรือสัดส่วนของระยะใน

แนวตั้งกับแนวนอน ความลาดชันของพื้นที่จะมีอิทธิพลต่อลักษณะสมบัติของดิน การไหลบ่าของน้ำและตะกอน พื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำกว่า หรือเป็นที่ราบเมื่อเกิดฝนตกบนพื้นที่นั้นก็จะทำให้เกิดน้ำท่วมขังในพื้นที่นั้นเป็นระยะเวลานาน แต่ในทางตรงกันข้ามหากพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง เมื่อเกิดฝนตกลงมาก็จะทำให้น้ำฝนไหลออกจากพื้นที่นั้นได้ภายในระยะเวลาที่ไม่นาน ดังนั้นพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ ก็มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมสูงกว่าพื้นที่ที่มีความลาดชันสูง รายละเอียดดัง Figure 3

การระบายน้ำของพื้นผิวดิน (Surface Drainage)

เนื้อดินที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัย คือ ดินที่มีเนื้อละเอียดมาก โดยเฉพาะดินที่มีค่าอนุภาคของดินเหนียวสูงจะมีการระบายน้ำไม่ดี ทำให้เกิดการแช่ขังของน้ำ ในทางกลับกันดินที่มีอนุภาคของดินเหนียวต่ำจะมีการระบายน้ำได้ดี ซึ่งจะช่วยให้การระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ประสบน้ำท่วมเป็นไปอย่างรวดเร็วทำให้ไม่เกิดการแช่ขังของน้ำ โดยได้จัดกลุ่มความสามารถในการระบายน้ำของดินตามศักยภาพในการระบายน้ำอ้างอิงตามกรมพัฒนาที่ดิน⁹ ออกเป็น 8 ระดับ (Figure 4) ดังนี้ การระบายน้ำเร็วมาก, การระบายน้ำเร็ว, การระบายน้ำค่อนข้างเร็ว, การระบายน้ำดี, การระบายน้ำดีปานกลาง, การระบายน้ำค่อนข้างมาก, การระบายน้ำมากเกินไป และพื้นที่ไม่มีการสำรวจ (ความลาดชันเชิงซ้อน หรือ Slope complex จัดอยู่ในกลุ่มชุดดิน 62)

ความหนาแน่นของทางน้ำ (Stream Density)

ทางน้ำเกิดจากรวมตัวของน้ำที่ไหลรวมกัน ในพื้นที่มีลักษณะรูปแบบทางน้ำแบบขนนก (Dendritic Pattern) โดยพื้นที่ลุ่มน้ำใดที่มีทางน้ำหนาแน่น การระบายน้ำของพื้นที่ก็จะดี โอกาสที่จะเกิดน้ำท่วมก็จะน้อยตามไปด้วย การพิจารณาความหนาแน่นของทางน้ำ รายละเอียดดัง Figure 5

ความหนาแน่นของเส้นทางคมนาคม (Road Density) ลักษณะของถนนในพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลักษณะเส้นทางเพื่อเชื่อมต่อบริเวณชุมชนใกล้เคียงและในลำดับขั้นของชุมชนที่สูงขึ้นไปแบบโครงข่าย (Road Network) ในบริเวณพื้นที่ที่มีเส้นทางคมนาคมมากก็จะเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ ส่งผลต่อการระบายน้ำออก เพราะมีสิ่งกีดขวาง ขวางเส้นทางการไหลของน้ำ และทำให้การระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ที่เป็นไปอย่างล่าช้า โอกาสเกิดอุทกภัยก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย รายละเอียดดัง Figure 6

การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land Use and Land Cover: LULC) ลักษณะของสิ่งปกคลุมดินหรือการใช้ที่ดินส่งผลต่อการเกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ที่มีพืชพรรณปกคลุมดิน เช่น พื้นที่ไผ่ ไม้ยืนต้น และสวนผล

ไม่อยู่มาก พื้นที่นั้นจะมีโอกาสเกิดน้ำท่วมน้อย เนื่องจากพืชพรรณดังกล่าวสามารถช่วยดูดซับน้ำได้ดี ทำให้หน้าส่วนเกินมีปริมาณลดลงและยังช่วยชะลอการไหลบ่าของน้ำ ด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีผลต่อการเกิดน้ำท่วม จึงพิจารณาจากชนิดของสิ่งที่ปกคลุมดินในระดับที่ 1 โดยจัดลำดับออกเป็น 5 ระดับ

(Figure 7) อ้างอิงตามกรมพัฒนาที่ดิน¹⁰ ดังนี้ พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่น ๆ (พื้นที่ลุ่ม, ไม้พุ่มหรือทุ่งหญ้าสลัปไม้พุ่ม, เหมืองแร่ เหมืองเก่า บ่อขุด), พื้นที่อยู่อาศัย, แหล่งน้ำ, พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้



Figure 1 Province Political Boundary : Songkhla Lake Basin

วิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวส่วนใหญ่จะเป็นการให้ค่าน้ำหนักคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย (Weighting) และการให้ค่าน้ำหนักคะแนนระดับของปัจจัย (Rating)^{3,5,6,7} แต่สำหรับการศึกษาคั้งนี้ ได้นำวิธีโครงสร้างต้นไม้การตัดสินใจ (Decision Tree) มาประยุกต์ใช้ โดยโครงสร้างต้นไม้การตัดสินใจจะประกอบด้วย 1) ใบ (Leaf) เป็นส่วนของผลลัพธ์หรือกลุ่ม ที่ได้กำหนดไว้ 2) กิ่ง (Branch) เป็นตัวเชื่อมระหว่างโหนด ที่แสดงผลในการทดสอบ (ในที่นี้โหนดจะแสดงแอตทริบิวต์ข้อมูล (Attribute Data) 3) ราก (Root) เป็นจุดเริ่มต้นของเหตุการณ์¹¹ การสร้างจะเป็นลักษณะจากบนลงล่าง (Top-Down) คือ เริ่มจากการสร้างรากของต้นไม้ก่อน แล้วแตกแขนงไปตามเงื่อนไขหรือข้อมูลที่ได้อาคาดการณ์ไว้ว่าจะเกิดขึ้น สำหรับข้อดีของแบบจำลองนี้ คือ เป็นแบบจำลองที่เข้าใจง่าย นำไปสร้างกฎแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ง่าย มีลักษณะเหมือนแผนภูมิองค์กร สามารถแปลความจากแบบจำลองได้เลย แบบจำลองที่สร้างได้ อาจจะไม่ใช้ทุกแอตทริบิวต์ในชุดข้อมูลฝึกสอน (Training Data) และสามารถวิเคราะห์ปัญหาที่ซับซ้อนได้ ข้อด้อย คือ แบบจำลองที่ได้ อาจมีขนาด

ใหญ่ซับซ้อน การประยุกต์ใช้งานจะเป็นลักษณะของการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervise Learning) คือ สามารถนิยามได้ว่าผลลัพธ์ จะเป็นอย่างไร เช่น ผ่าน/ไม่ผ่าน ,ใช่/ไม่ใช่ มีประโยชน์ในการสร้างโมเดลแบบการพยากรณ์ (Forecasting) สามารถใช้ได้หลากหลาย เช่น สถาบันการเงินนำมาใช้ในการอนุมัติเครดิตว่าบุคคลคนนี้จะเครดิตผ่าน/ไม่ผ่าน หรือการเก็บข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ย้อนหลังเพื่อดูว่าฝนจะตกหรือไม่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการพยากรณ์การเกิดน้ำท่วม ว่าพื้นที่ใดบ้างท่วม/ไม่ท่วม

สำหรับการวิเคราะห์ต้นไม้การตัดสินใจใช้ซอฟต์แวร์ Weka ซึ่งย่อมาจาก Waikato Environment for Knowledge Analysis¹² ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำเร็จรูปประเภทซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์ส (Free Ware) ที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ GPL License ซึ่งโปรแกรม Weka ได้ถูกพัฒนามาจากภาษาจาวาทั้งหมด

กรอบแนวคิดในการศึกษาคั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม และทำการสร้างแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วม โดยใช้แบบจำลองต้นไม้การ

ตัดสินใจ ซึ่งระบุพื้นที่ที่มีแนวโน้มการเกิดน้ำท่วมบนพื้นฐานความรู้ของตำแหน่งที่เคยเกิดน้ำท่วมในอดีตกับปัจจัยทางกายภาพที่มีความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการเกิดน้ำท่วม โดย

แผนที่ที่ได้จะนำมาใช้ประกอบการวางแผนบรรเทาปัญหาอุทกภัย การแจ้งเตือนภัย และการเตรียมรับสถานการณ์ช่วงฤดูฝนในบริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา



Figure 2 Allitude: Mean Sea Level



Figure 3 Slope

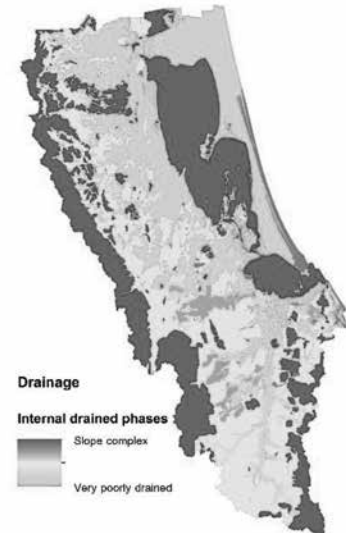


Figure 4 Surface Drainage

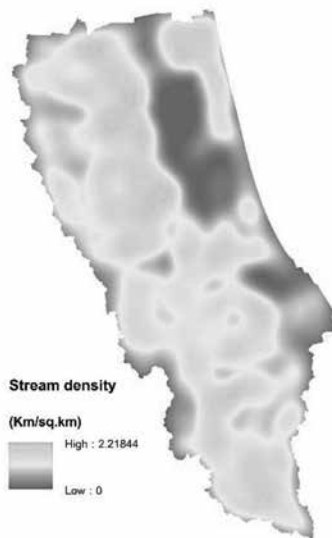


Figure 5 Stream Density

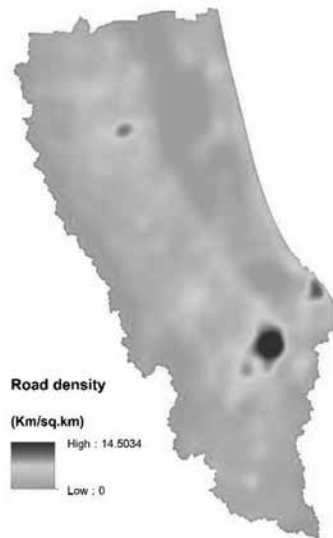


Figure 6 Road Density

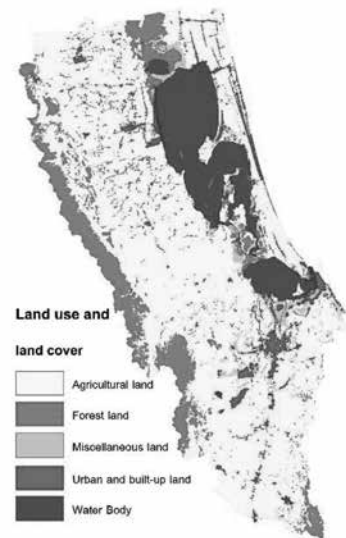


Figure 7 Land Use and Land Cover

วิธีการศึกษา

นำข้อมูลการเกิดน้ำท่วมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 – 2557 เป็นระยะเวลา 8 ปี (Figure 8) จากระบบติดตามน้ำท่วมของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)¹³ และปัจจัยทางกายภาพทั้ง 6 ปัจจัย (Table 1 และ 2) ไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ ซึ่งขั้นตอนการสร้างต้นไม้การตัดสินใจ มี 6 ขั้นตอนคือ 1) เริ่มจากรากที่ประกอบด้วยโหนดเพียงโหนดเดียว แสดงถึงชุดข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน 2) ถ้าข้อมูลทั้งหมดอยู่ในกลุ่มเดียวกันแล้วให้โหนดนั้นเป็นใบและตั้งชื่อแยกตามประเภทหรือกลุ่มของข้อมูลนั้น 3) ถ้าในโหนดมีข้อมูลหลายกลุ่มปะปนอยู่จะต้องวัดค่าสัดส่วนเกน (Gain Ratio) ของแต่ละแอตทริบิวต์เพื่อที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกแอตทริบิวต์ที่มีความสามารถในการแบ่งแยกข้อมูลออกเป็นกลุ่มต่างๆ ได้ดีที่สุด โดยแอตทริบิวต์ที่มีค่าสัดส่วนเกนมากที่สุด จะถูกเลือกให้เป็นตัวทดสอบหรือแอตทริบิวต์ที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยแสดงในรูปของโหนดบนต้นไม้ 4) กิ่งของต้นไม้ถูกสร้างขึ้นจากค่าต่างๆ ที่เป็นไปได้ของโหนดทดสอบ และข้อมูลจะถูกแบ่งออกตามกิ่งต่างๆ ที่สร้างขึ้น 5) ทำการวนซ้ำเพื่อหาแอตทริบิวต์ที่มีค่าสัดส่วนเกนมากที่สุดสำหรับข้อมูลที่ถูกแบ่งแยกออกมาใน

แต่ละกิ่ง เพื่อนำแอตทริบิวต์นี้มาสร้างเป็นโหนดตัดสินใจต่อไป โดยที่แอตทริบิวต์ที่ถูกเลือกมาเป็นโหนดแล้วจะไม่ถูกเลือกมาอีกสำหรับโหนดในระดับต่อไป และ 6) ทำการวนซ้ำ เพื่อแบ่งข้อมูลและแตกกิ่งของต้นไม้ไปเรื่อยๆ โดยการวนซ้ำจะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อเงื่อนไขข้อใดข้อหนึ่งเป็นจริง คือ ข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ทุกตัวมีค่ากลุ่มเหมือนกันหมด หรือ ไม่มีแอตทริบิวต์เหลือในการแบ่ง หรือไม่มีข้อมูลที่ใช้ในการฝึกสอนเหลืออยู่¹⁴

สำหรับวิธีการแยกประเภทหรือกลุ่มข้อมูล ใช้วิธีการ J48 ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ใช้หลักการของการใช้ทฤษฎีข่าวสาร (Information Theory) และค่าที่วัดได้จะนำมาใช้ตัดสินใจว่าจะใช้ตัวแปรใดในการทำนาย หรือแบ่งประเภทของข้อมูล โดยชุดตัวอย่าง (Sample) คือ ชุดของข้อมูลที่ใช้ฝึกสอน (Training Sample) เพื่อให้ข้อมูลเรียนรู้ และสร้างแบบจำลอง (Model Construction) และทดสอบโดยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Sample) เพื่อประเมินความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Evaluation)¹⁵ ตัวแปรเป้าหมาย (Target Attribute) คือ ตัวแปรที่นำค่าไปใช้ในการทำนายผลในโครงสร้างต้นไม้ ในที่นี้คือ การทำนายผลน้ำท่วมหรือน้ำไม่ท่วม และแอตทริบิวต์คือ ตัวแปร (ปัจจัย) อื่นๆ ที่ใช้ในการสร้างโหนดในต้นไม้และไม่ใช้ตัวแปรเป้าหมาย

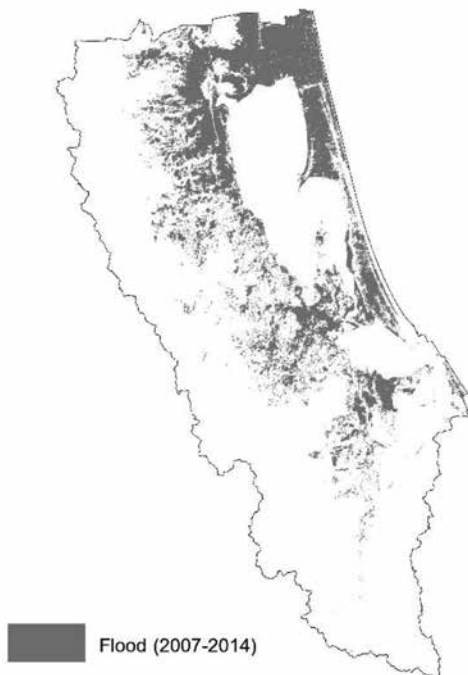


Figure 8 Flood Plan in the past (2007-2014)

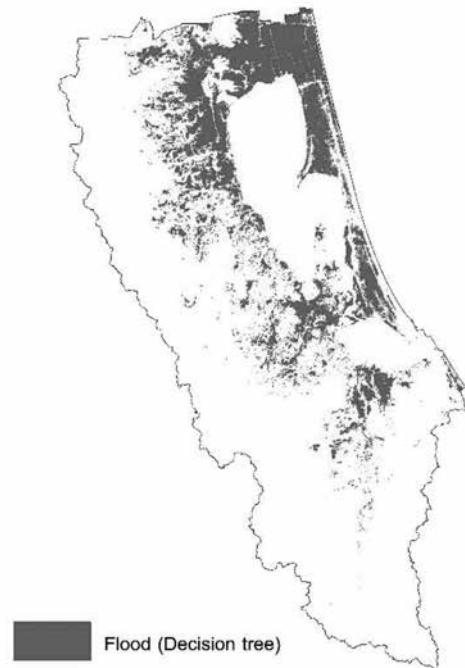


Figure 9 Flood Susceptibility Map

Table 1 Determine the data Types of each factor

แอตทริบิวต์	ความหมาย	ค่าที่เป็นไปได้ของแอตทริบิวต์
Flood	น้ำท่วม	0 = ไม่เกิดน้ำท่วม , 1 = เกิดน้ำท่วม
Altitude	ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง	1 – 1,348 เมตร
Slope	ความลาดชัน	0 – 85 องศา
Surface Drainage	การระบายน้ำของพื้นผิวดิน	การระบายน้ำเลวมาก (1), การระบายน้ำเลว (2), การระบายน้ำค่อนข้างเลว (3), การระบายน้ำดี (4), การระบายน้ำดีปานกลาง (5), การระบายน้ำค่อนข้างมาก (6), การระบายน้ำมากเกินไป (7) และพื้นที่ไม่มีการสำรวจ (8)
Stream Density	ความหนาแน่นทางน้ำ	0 – 2.22 กิโลเมตร/ตารางกิโลเมตร
Road Density	ความหนาแน่นของเส้นทางคมนาคม	0 – 14.50 กิโลเมตร/ตารางกิโลเมตร
LULC	การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน	พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่น ๆ (พื้นที่ลุ่ม, ไม้พุ่มหรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม, เหมืองแร่ เหมืองเก่า บ่อขุด) (1), พื้นที่อยู่อาศัย (2), แหล่งน้ำ (3), พื้นที่เกษตรกรรม (4) และพื้นที่ป่าไม้ (5)

หมายเหตุ ค่าที่เป็นไปได้ของแอตทริบิวต์ ที่มี (1), (2),..., และ (8) ใช้เป็นตัวแทนในการนำเข้าข้อมูลประเภทข้อความ

Table 2 Example shows how to set data inputs for each factor

Flood	Altitude	Stream Density	Road Density	Slope	LULC	Surface Drainage
1	11.672	0.497	0.170	0.010	4	1
1	14.327	0.553	0.928	0.004	1	2
1	17.635	0.393	1.240	0.009	4	2
0	11.091	0.744	0.660	0.138	4	2
0	13.323	1.413	1.214	0.000	2	2
0	40.127	1.064	1.037	0.428	4	2

ในการสร้างโหนดในต้นไม้และไม่ใช้ตัวแปรเป้าหมาย (Target Attribute) J48 สามารถหลีกเลี่ยงการสร้างโครงสร้างต้นไม้ที่ใหญ่เกินไป เนื่องจากมีข้อมูลจำนวนมาก อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับข้อกำหนดความลึกเมื่อมีการเติบโตของต้นไม้การตัดสินใจ นอกจากนี้ยังมีการรวมและกำจัดกิ่งที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องที่น้อยออก มีการตัดทอนความผิดพลาดออกไป (Pruning Node) มีการสร้างกฎหลังการตัดทอนข้อมูลที่ผิดพลาดออก การเลือกแอตทริบิวต์ที่วัดการเลือกให้เหมาะสมสามารถใช้กับข้อมูลที่มีความต่อเนื่องที่เป็นตัวเลข และสามารถใช้กับชุดข้อมูลที่มีค่าผิดพลาด (Missing Attribute)¹⁶

วิธีการหาค่าสัดส่วนเกณฑ์นั้น จะต้องทำการหาค่า Entropy, Information Gain และ Split Information¹⁷ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การหาค่า Entropy เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าสารสนเทศของข้อมูล (Entropy Measure) รายละเอียดตั้งสมการที่ 1

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

โดย s คือ แอตทริบิวต์ หรือคุณลักษณะที่นำมาวัดค่า Entropy P_i คือ สัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม i เทียบกับจำนวนสมาชิกทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

การหาค่า Information Gain เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าสารสนเทศก่อนนำไปใช้ในการหาค่ามาตรฐานอัตราส่วนเกณฑ์ (Gain Ratio) รายละเอียดตั้งสมการที่ 2

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

โดย A คือ แอตทริบิวต์ A
 $|S_v|$ คือ จำนวนสมาชิกของแอตทริบิวต์ A ที่มีค่า V
 $|S|$ คือ จำนวนสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง

การหาค่า Split Information เป็นสมการที่ใช้ในการหาค่าสารสนเทศของการแบ่งแยก รายละเอียดดังสมการที่ 3

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

โดย S_i คือ จำนวนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม i การหาค่า Gain Ratio เพื่อลดความลำเอียงของข้อมูล รายละเอียดดังสมการที่ 4

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

สำหรับการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนก ได้ใช้ 1) ค่าการจัดกลุ่มความถูกต้อง (Correctly Classification Instances) ในการยืนยันผลการทำนายข้อมูลว่ามีความถูกต้องร้อยละเท่าไรเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด 2) ค่าการจัดกลุ่มความไม่ถูกต้อง (Incorrectly Classification Instances) โดยจะอธิบายเกี่ยวกับผลการทำนายข้อมูลที่ผิดพลาดเป็นร้อยละเทียบกับข้อมูลทั้งหมด 3) ค่าความแม่นยำของแบบจำลอง (Precision) 4) ค่าความระลึกของแบบจำลอง (Recall) 5) ค่าความเหวี่ยงของแบบจำลอง (F-Measure) 6) ผลการทดสอบความสามารถในการทำนายค่าคะแนนความเสี่ยง (Relative Operating Characteristic-ROC Curve) เป็นค่าที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ทำนายถูก (TP Rate) และค่าที่ทำนายผิด (FP Rate) ของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งในการคำนวณค่าต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

$$Correctly\ Classified\ Instances = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (5)$$

$$Incorrectly\ Classified\ Instances = \frac{FP + FN}{TP + FP + FN + TN} \quad (6)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (7)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

$$F - Measure = \frac{2 * Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (9)$$

$$TP\ Rate = \frac{TP}{TP + FN} \quad (10)$$

$$FP\ Rate = \frac{FP}{FP + TN} \quad (11)$$

โดย
 TP คือ True Positive ค่ากลุ่มเป้าหมายคือ Yes และตัวแบบทำนายว่า Yes
 TN คือ True Negative ค่ากลุ่มเป้าหมายคือ No และตัวแบบทำนายว่า No
 FP คือ False Positive ค่ากลุ่มเป้าหมายคือ No และตัวแบบทำนายว่า Yes
 FN คือ False Negative ค่ากลุ่มเป้าหมายคือ Yes และตัวแบบทำนายว่า No

ผลการศึกษา

การวิเคราะห์ต้นไม้การตัดสินใจโดยใช้ซอฟต์แวร์ Weka ซึ่งใช้เทคนิควิธีการแบ่งประเภทข้อมูล (Classification) ด้วยวิธี J48 สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ดัง Figure 10 ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วม มี 4 ปัจจัยเท่านั้น (จาก 6 ปัจจัย) คือ 1) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 2) การระบายน้ำของพื้นผิวดิน 3) ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง และ 4) ความหนาแน่นของทางน้ำ โดยการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่ได้จัดลำดับไว้เป็น 5 ระดับ คือ พื้นที่การใช้ประโยชน์อื่นๆ (พื้นที่ลุ่ม, ไม้พุ่มหรือทุ่งหญ้าสลับไม้พุ่ม, เหมือนแระ เหมือนเก่า บ่อขุด), พื้นที่อยู่อาศัย, แหล่งน้ำ, พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมอย่างมาก ถัดไปคือการระบายน้ำของพื้นผิวดิน ซึ่งการระบายน้ำเร็วและการระบายน้ำช้า และพื้นที่ที่มีความลาดชันเชิงชัน มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมในลำดับถัดมา ในขณะที่ความสูงจากระดับทะเลปานกลางที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 40.339 เมตร และ ความหนาแน่นของทางน้ำที่มากกว่า 1.595 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมเช่นเดียวกัน

ผลการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำแนกพื้นที่น้ำท่วมที่สร้างขึ้น มีรายละเอียดดังนี้ (1) Correctly Classification Instances ค่าที่ทำนายถูกต้องในการจำแนกกลุ่ม (2) Incorrectly Classification Instances ค่าที่ทำนายผิดพลาดในการจำแนกกลุ่ม ผลลัพธ์ที่ได้คือ 95.21% และ 4.79% ตามลำดับ (3) Precision ค่าของตัวแบบที่ทำนายได้ถูกต้อง ผลลัพธ์คือ 0.896 (4) Recall ค่าจากการทำนายตัวแบบที่ตรงกับความเป็นจริง ผลลัพธ์คือ 0.813 (5) F-Measure ค่าที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างค่าความแม่นยำ (Precision) และค่า Recall ของกลุ่มเป้าหมาย ผลลัพธ์คือ 0.853 และ (6) ROC Curve ค่าที่เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างค่า TP rate (ค่าที่

ทำนายถูก) และค่า FP rate (ค่าที่ทำนายผิด) ของแต่ละกลุ่มเป้าหมาย ผลลัพธ์คือ 0.895 (ค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่ามีความน่าเชื่อถือในการพยากรณ์¹⁸⁾ หรืออยู่ในเกณฑ์ระดับดี¹⁹ หลังจากพิจารณาเห็นว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ จึงนำ

แบบจำลองต้นไม้อัตโนมัติการตัดสินใจมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อแสดงว่าบริเวณส่วนไหนมีความน่าจะเป็นในการเกิดน้ำท่วมหรือน้ำไม่ท่วม ซึ่งได้แสดงในแผนที่ความอ่อนไหวต่อการเกิดน้ำท่วมดัง Figure 9

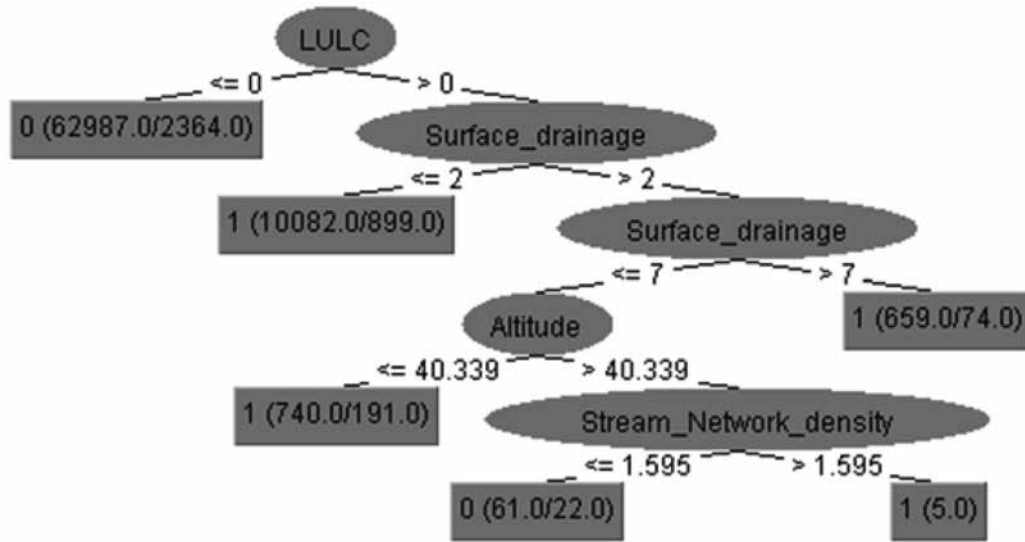


Figure 10 A Decision Tree Model Generated by: J48

วิจารณ์และสรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาการวิเคราะห์ความเสี่ยงพื้นที่น้ำท่วม บริเวณลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาในภาคใต้ของประเทศไทย ได้นำปัจจัยที่เกี่ยวข้องนำมาวิเคราะห์ รวม 6 ปัจจัยจากการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) การใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 2) การระบายน้ำของพื้นผิวดิน 3) ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง และ 4) ความหนาแน่นของทางน้ำ 5) ความหนาแน่นของเส้นทางคมนาคม 6) ความลาดเทของพื้นที่ ภายหลังใช้แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจพบว่า มี 4 ปัจจัยที่สัมพันธ์กับความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วม โดยปัจจัยที่ถูกตัดออก 2 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาแน่นของเส้นทางคมนาคมและความลาดเทของพื้นที่ เมื่อทดสอบด้วยวิธีการทางสถิติคือการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกแบบทวิ (Binary Logistic Regression Analysis: BLRA) พบว่า ค่าที่ได้จากการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน กล่าวคือ เมื่อนำปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยมาวิเคราะห์ พบว่า ในรอบที่ 4 (Step) ของการทดสอบ คงเหลือ 4 ปัจจัยเช่นเดียวกับที่ได้จากแบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ

แบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจช่วยลดตัวแปรที่ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำท่วมโดยมีค่าสถิติอ้างอิง และสามารถเข้ากับข้อมูลที่มีลักษณะเป็นมาตรการวัดแบบนามบัญญัติ (Nominal Data) ได้ และเมื่อทำการทวนสอบ (Validation) กับข้อมูล

น้ำท่วมจริงที่เกิดขึ้น (Figure 8,9) พบว่ามีค่าที่ทำนายถูกต้องสูงถึงร้อยละ 95 และมีค่าสถิติแคปป่า(Kappa Statistic) ถึง 82.41% ที่ได้จากการทดสอบด้วยซอฟต์แวร์ Weka นอกจากนี้ยังทำให้ทราบค่าที่ชัดเจนในการกำหนดพื้นที่เฉพาะ (Hot Spot) ที่มีความเสี่ยงจากข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจในการนำไปสู่การวางแผนเฝ้าระวัง เช่น พื้นที่มีการระบายน้ำเลวถึงระบายน้ำมากเกินไป และความสูงที่น้อยกว่า 40.339 เมตร และมีความหนาแน่นของลำน้ำต่อพื้นที่มากกว่า 1.595 กิโลเมตรต่อตารางกิโลเมตร (ความยาวลำน้ำต่อพื้นที่) เป็นพื้นที่ที่เสี่ยงเกิดน้ำท่วมมากกว่าบริเวณอื่นในพื้นที่ ในขณะที่ปัญหาที่พบจากการใช้ซอฟต์แวร์คือ จากแบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจ จะเรียงลำดับต้นไม้มาเรียงกัน แยกย่อยออกไปตามลำดับของค่าสัดส่วนเกณฑ์ที่มีค่าสูงสุดก่อนแล้วลดหลั่นตามค่าที่น้อยกว่าตามลำดับ ซึ่งไม่ได้ระบุค่าให้ทราบ

ในการวิจัยครั้งต่อไป หากมีการปรับข้อมูลให้มีความละเอียดมากขึ้น (ในการศึกษานี้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์อ้างอิงบนพื้นที่มาตราส่วนข้อมูลที่ 1:50,000) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้กับการเกิดน้ำท่วมที่ส่งผลต่อความเสียหายทั้งชีวิตและทรัพย์สินจากอุทกภัยนั้นมากมาย มีความต้องการข้อมูลที่มีความถูกต้องและแม่นยำในระดับสูงโดยเฉพาะในเขตชุมชนเมือง ข้อมูลที่มีความละเอียดมากขึ้นจะทำให้การวิเคราะห์มี

ความแม่นยำเชิงตำแหน่งและมีความถูกต้องสูงขึ้นไปด้วย ช่วยให้การวางแผนป้องกันอุทกภัยอย่างเป็นตรงเป้าและลดค่าใช้จ่ายได้ดีมากยิ่งขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเสนอวิธีการต้นไม้การตัดสินใจที่นิยมใช้ในงานทางวิทยาการเทคโนโลยีสารสนเทศมาผนวกกับงานทางภูมิสารสนเทศเพื่อให้เป็นแนวทางเลือกทางหนึ่งในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพื่อการหามาตรการรองรับพื้นที่วิกฤตเฉพาะที่มองเห็นภาพได้อย่างชัดเจนช่วยให้ดำเนินงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการวางแผนบริหารและจัดการภัยพิบัติอีกแนวทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ศูนย์ภูมิภาคเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (ภาคใต้) คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ฐานข้อมูลชุดลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

เอกสารอ้างอิง

1. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (ม.ป.ป.). ลักษณะทางชีวภาพ-กายภาพลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา. [Online], 2 ธันวาคม 2559. http://www.songkhulake.com/content/bio_physic
2. สำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดสงขลา. (ม.ป.ป.). สถิติการเกิดภัยพิบัติ ประจำปี 2555 – 2557. [Online], 18 ธันวาคม 2559. http://122.155.1.145/inner.dpmsk-1.146/cms/inner_758/2927.1/
3. นาถนเรศ อาภาสุวรรณ, ประมาณ เทพสงเคราะห์ และ วรุฒม์ นาทิ. การศึกษาปัจจัยการเกิดน้ำท่วมเพื่อกำหนดพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และแนวทางป้องกันบรรเทาในบริเวณลุ่มน้ำย่อย ทะเลสาบสงขลาฝั่งตะวันตก จังหวัดพัทลุง. วารสารมนุษยศาสตร์สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ. 2551; 3(2): 176-199.
4. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย. (8 ธันวาคม 2559). ปภ.รายงานสถานการณ์อุทกภัยในพื้นที่ภาคใต้คลี่คลายแล้ว 4 จังหวัด ยังคงมีสถานการณ์ใน 8 จังหวัด. [Online], 10 มกราคม 2560. http://www.disaster.go.th/th/cdetail-7927-mission_managers-119-1/
5. สุพิชฌาย์ ธนารุณ. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยจังหวัดอ่างทอง, คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. 2553.
6. สุนันฐพงศ์ สูงสุมาลย์. การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาสภาพ และสาเหตุผลกระทบจากอุทกภัยในพื้นที่อำเภอประจันตคาม, บัณฑิตศึกษา เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2549.
7. พีระพิทย์ พีชมงคล และคณะ. การกำหนดเขตพื้นที่น้ำท่วมในภาคใต้ฝั่งตะวันออกตอนล่างของประเทศไทยโดยใช้ระบบภูมิสารสนเทศ, วารสารสมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. 2550; 8(3): 47-57.
8. ศูนย์ภูมิภาค สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา. (ม.ป.ป.). ภูมิภาคของประเทศไทย. [Online], 27 สิงหาคม 2558. https://www.tmd.go.th/info/climate_of_thailand-2524-2553.pdf
9. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. คู่มือการเขียนหน่วยแผนที่ดิน ส่วนมาตรฐานการสำรวจจำแนกดินและที่ดิน สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน. เอกสารวิชาการฉบับที่ 519 กรกฎาคม 2547.
10. ส่วนวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน. การจำแนกใช้การประโยชน์ที่ดิน (Land Use Classification). กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาที่ดิน 2552.
11. จิตตฤ พูลวัน. ระบบวิเคราะห์โรคทั่วไปโดยใช้การจำแนกข้อมูลบนอินเทอร์เนต ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2550.
12. ขจรศักดิ์ ศรีอ่อน. การทำนายสาเหตุของเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง โดยใช้เทคนิคการทำเหมืองข้อมูลในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 ภาคกลาง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552.
13. Geo-Informatics and Space Technology Development Agency (Public Organization). Thailand Flood Monitoring System. [Online]. Available from: <http://flood.gistda.or.th/>. Accessed January 16, 2016.
14. Han, J. and M. Kamber. Data Mining: Concepts and Techniques. CA: Morgan Kaufmann, San Francisco. 2001.
15. พยูน พาณิชย์กุล. การพัฒนาระบบดัดจำไม้หนึ่งโดยใช้ Decision Tree. โครงการพัฒนาระบบงานปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนง

- วิทยาการสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณ
ทหารลาดกระบัง. 2548.
16. Quinlan, J. R. C4.5: program for machine learning.
Morgan Kaufmann. 1992.
 17. อนันต์ ปิ่นเต. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจใน
การเลือกสมัครในสาขาวิชา โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ.
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
2559; 35(4): 413-421.
 18. Pontius, R. G. & Schneider, L. C. Land-use change
model validation by an ROC method for the Ipswich
watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Eco-
systems and Environment. 2001; 85: 239-248.
 19. Thomas, G. & Tape, M.D. The Area Under an ROC
Curve. University of Nebraska Medical Center. [On-
line]. Available from: [http://gim.unmc.edu/dxtests/
roc3.htm](http://gim.unmc.edu/dxtests/roc3.htm) Accessed September 26, 2016.

วิธีการทำนายการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองของชายฝั่งทะเล

Predictive approach for corrosion study of low alloy steel in a simulated coastal atmosphere

ธีร์ ชาวนนทปัญญา¹, ชัยวัฒน์ พีรทัตสุวรรณ²

Thee Chowwanonthapunya¹, Chaiyawat Peeratatsuwan²

Received: 7 April 2017 ; Accepted: 20 June 2017

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอแนวทางในการทำนายพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองของชายฝั่งทะเลโดยใช้ Linear bi-logarithmic law ในการทดลองนี้ใช้วิธีการศึกษาน้ำหนักของเหล็กกล้าผสมต่ำที่หายไปในช่วงการทดลอง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงจลนศาสตร์ และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชั้นสนิมของเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยผลการศึกษาพบว่า จลนศาสตร์ของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำแบ่งเป็นสองช่วง คือ ช่วงที่ 1 อัตราการกัดกร่อนสูง และ ช่วงที่ 2 อัตราการกัดกร่อนลดลง โดยโครงสร้างสนิมทั้งสองช่วงนั้นต่างกัน โดยช่วงที่ 1 ชั้นสนิมบางและช่วงที่ 2 สนิมนั้นหนาและยึดเกาะกับผิวเหล็กได้ดี ซึ่งแสดงถึงความถูกต้องของการเปลี่ยนแปลงจลนศาสตร์ของการกัดกร่อน ดังนั้นค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ของการกัดกร่อนในแต่ละช่วงเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับ Linear bi-logarithmic law สามารถใช้แสดงข้อมูลเชิงทำนายของพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำได้

คำสำคัญ : การทำนายการกัดกร่อน เหล็กกล้าผสมต่ำ จลนศาสตร์ของการกัดกร่อน สนิม

Abstract

This article presents a predictive approach to study the corrosion behaviors of low alloy steel in a simulated coastal environment using linear bi-logarithmic law. The corrosion mass loss was monitored to gain the transition of the corrosion kinetics and Scanning Electron Microscopy (SEM) was used to observe rust morphologies. The results showed that the kinetics of corrosion process of steel can be divided into two stages i.e. a higher rate in the first stage and a lower rate in the second stage. Observations on rust morphologies revealed that the rust layer was thin and porous in the first corrosion stage, but it became thicker and more adherent on the surface in the second stage. This finding indicated the accuracy of kinetics transition of corrosion processes. Thus, the kinetics constant value from each corrosion stage can be used with the modified linear bi-logarithmic law to provide the predictive information of low alloy steel exposed to a simulated coastal environment.

Keywords: Predictive Approach, Low Alloy Steel, Corrosion Kinetics, Rust

¹ อาจารย์, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดชลบุรี 20230

E-mail: thee.c@ku.th, (+66)38352606-7 ต่อ 2684

² อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000,

E-mail: chaiyavat66@gmail.com, (+66)4423-3000 ต่อ 3350

¹ Instructor, Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University, Chonburi, 20230

E-mail: thee.c@ku.th, (+66)38352606-7 Ext. 2675

² Instructor, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000,

E-mail:chaiyavat66@gmail.com, (+66) 4423-3000 Ext. 3350

บทนำ

การกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำโดยบรรยากาศเป็นปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กกล้ากับสิ่งแวดล้อม ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียของเนื้อเหล็กและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการรับแรงของโครงสร้างเหล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การกัดกร่อนภายใต้บรรยากาศชายฝั่ง¹ ดังนั้นการศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำเพื่อทำนายพฤติกรรมของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่ใช้ในบรรยากาศชายฝั่งจึงเป็นเรื่องที่สำคัญและได้รับการวิจัยอย่างแพร่หลายจากนักวิทยาศาสตร์การกัดกร่อนทั่วโลก โดยวิธีการทำนายการกัดกร่อนที่ใช้กันมากคือวิธีการในมาตรฐาน ISO 9223 และ ISO 9224 ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้กำหนดให้ตัวแปรที่สำคัญต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำโดยบรรยากาศ คือปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไฮโดรเจนคลอไรด์ นอกจากนี้เวลาที่ผิวหน้าของเหล็กกล้าที่เปียก (Time of Wetness, TOW) ยังมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของ

เหล็กกล้าผสมต่ำ² ถึงแม้วิธีการทำนายการกัดกร่อนโดย ISO นั้นได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่วิธีการดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายที่สูงและใช้คนเป็นจำนวนมากเพื่อเก็บข้อมูล และได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในวิธีการประเมินสูง เช่น ค่า TOW ของ มาตรฐาน ISO นั้นจะเริ่มต้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) 80% แต่ในความเป็นจริงผิวหน้าของเหล็กกล้าโดยเฉพาะเมื่อมีสนิมเคลือบจะเริ่มที่ 60 % RH³ ซึ่งข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้การประเมินพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าโดยวิธีนี้คลาดเคลื่อนและเป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาเหล็กกล้าผสมต่ำ⁴ อย่างไรก็ตาม ยังมีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า Linear Bi-logarithmic law เข้ามาใช้ในการทำนายการกัดกร่อนของเหล็กกล้า เช่น Q. C. Zhang และคณะ⁵ ได้นำวิธีการดังกล่าวไปศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศชายฝั่งทะเล

โดยผลการทดลองที่ได้แสดงถึงความถูกต้องของการทำนาย ซึ่งทำให้ Linear Bi-logarithmic law ได้ถูกนำมาใช้มากขึ้นโดยนักวิทยาศาสตร์ท่านอื่น เช่น ในงานวิจัยของ Long Hao และคณะ⁶ และ Ch.Thee และคณะ⁷ โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวนี้ได้ทำการทำนายพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศโดยรวมผลของการเกิดขึ้นสนิมของเหล็กกล้าเข้าไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกับการเกิดการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศซึ่งโดยทั่วไปผิวหน้าของเหล็กกล้าจะถูกเคลือบด้วยชั้นสนิม⁸

จากจุดเด่นของวิธีทำนายดังกล่าว ในการศึกษาครั้งนี้จึงนำ Linear Bi-logarithmic law เข้ามาประยุกต์ใช้กับการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลองของเหล็กกล้าผสม

ต่ำในบรรยากาศชายฝั่งทะเล โดยมีการจำลองสภาวะการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่เกิดขึ้นจริงในบรรยากาศชายฝั่ง เช่น การกัดกร่อนภายใต้สารละลายคลอไรด์ชั้นบางแบบเปียกสลับแห้ง และมีการควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C และ 60 ± 3 % RH เพื่อศึกษาจลนศาสตร์จากค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการกัดกร่อนและใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชั้นสนิมบนพื้นผิวของเหล็กกล้าผสมต่ำและยืนยันความถูกต้องของการวิเคราะห์จลนศาสตร์และประยุกต์ Linear bi-logarithmic law เพื่อใช้ทำนายพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองเพื่อจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประเมินประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ ซึ่งจะเป็นแนวทางต่อการพัฒนาการทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กในบรรยากาศจำลองต่อไป

วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ เหล็กกล้าผสมต่ำ โดยมีส่วนผสมเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังนี้ : 0.15 C, 0.21 Cu, 0.14 Cr, 0.61 Mn, 0.25 Si, 0.02 P, 0.041 S และส่วนที่เหลือเป็น Fe โดยชิ้นงานมีขนาด 3 X 3 X 0.5 เซนติเมตร ทำการเตรียมผิวโดยการขัดจนถึงกระดาษทรายเบอร์ 800 ก่อนทำการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะจำลองชายฝั่ง

การทดสอบในบรรยากาศจำลอง

สำหรับการทดสอบการกัดกร่อนในสภาวะบรรยากาศจำลองของการทดลองนี้จะทำในตู้อบซึ่งจำลองสภาวะอากาศ อุณหภูมิที่ 30 ± 2 °C และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 60 ± 3 % โดยสารละลายที่ใช้คือ สารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.05 % โมล ทำการทดสอบต่อหนึ่งรอบการกัดกร่อนดังนี้ (1) ชั่งและบันทึกน้ำหนักชิ้นงานก่อนทำการทดสอบโดยเครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (2) จำลองการกัดกร่อนโดยฉีดสารละลายชั้นบางลงบนผิวหน้าชิ้นงาน (0.05 มิลลิลิตรต่อตารางเซนติเมตร) (3) นำชิ้นงานทั้งหมดเข้าตู้อบและปล่อยให้แห้งเป็นเวลา 1 วัน ก่อนนำมาล้างผิวหน้าชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น ทิ้งไว้ให้ชิ้นงานแห้ง จึงชั่งและบันทึกน้ำหนักของชิ้นงานหลังการทดสอบแล้วจึงทำการฉีดสารละลายชั้นบางลงบนผิวชิ้นงานอีกครั้งหนึ่ง (4) สำหรับชิ้นงานในรอบการกัดกร่อนอื่นๆ นั้นจะทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอน (2)-(4) โดยชิ้นงานในรอบที่ 10 , 20, 40 และ 60 จะถูกนำมาวิเคราะห์รูปร่างและโครงสร้างของสนิมโดยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (FEI Quanta 250)

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลองของชายฝั่งทะเล

จาก Figure 1 แสดงถึงการสูญเสียมวลของชิ้นงานเหล็กกล้าผสมต่ำในแต่ละรอบการทดสอบแบบเปียกแห้ง (Wet and dry Cycles) โดยพบว่า การสูญเสียมวลเพิ่มขึ้นเมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้น

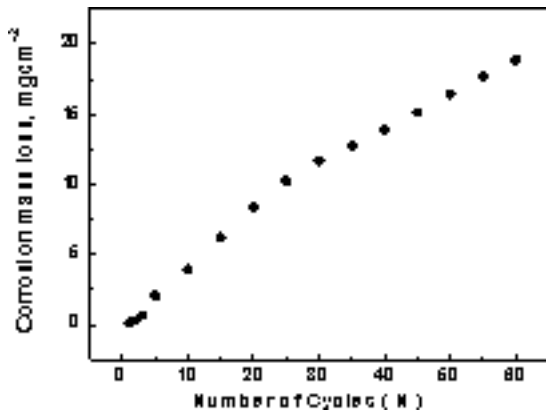


Figure 1 Corrosion Mass loss as a function of the number of wet and dry cycle

เราจะใช้กฎ Bi-logarithmic เพื่ออธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับจลนศาสตร์ของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำ ดังสมการที่ 1⁸

$$W = AN^n \quad (1)$$

โดย W คือ มวลที่สูญเสียบนเหล็กกล้าผสมต่ำ A คือ ค่าคงที่ และ N คือ รอบของการเปียกแห้งที่ทดลอง ในการวิเคราะห์จลนศาสตร์ สมการที่ 1 จะถูกตัดแปลงโดยใช้ Logarithm ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\log(W) = \log A + n \log(N) \quad (2)$$

โดย ค่า n ในสมการที่ 1 และ 2 นั้นแสดงถึงจลนศาสตร์ของกระบวนการกัดกร่อน กล่าวคือ เมื่อ n มากกว่า 1 แสดงถึงการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ n น้อยกว่า 1 แสดงถึงการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่มีอัตราการกัดกร่อนน้อยลง [9] เมื่อนำข้อมูลของมวลที่หายไปมาพล็อตในสเกล Log ตามสมการที่ 2 เราจะได้ข้อมูลที่แสดงใน Figure 2

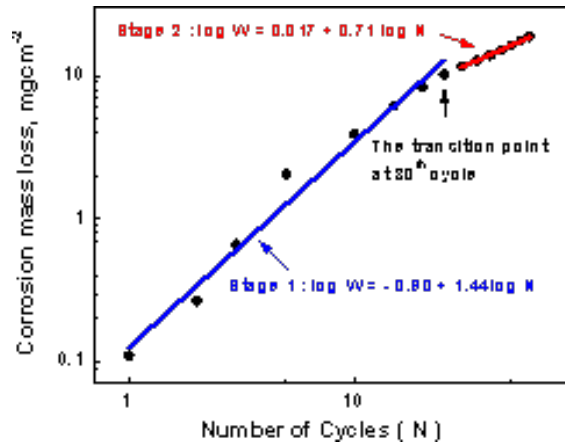


Figure 2 Corrosion kinetic estimation using Bi-logarithmic Law

จาก Figure 2 พบว่ากระบวนการกัดกร่อนจะแบ่งเป็น 2 กระบวนการ ดังนี้

กระบวนการที่ 1 เมื่อรอบการทดลองน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 ($N \leq 30$)

$$\log(W) = -0.9 + 1.44 \log(N) \quad (3)$$

กระบวนการที่ 2 เมื่อรอบการทดลองนั้นมากกว่า 30 ($N > 30$)

$$\log(W) = 0.017 + 0.71 \log(N) \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 3 และ 4 พบว่า กระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในช่วงแรกเกิดขึ้นที่จำนวนรอบการทดลองที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 โดยมีค่า n เท่ากับ 1.44 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 ดังนั้น การกัดกร่อนในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้น และกระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในช่วงที่ 2 เกิดที่จำนวนรอบที่มากกว่า 30 โดยค่า n มีค่าเท่ากับ 0.71 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ดังนั้นการกัดกร่อนลดลง

ลักษณะรูปร่างของชั้นสนิมจาก SEM

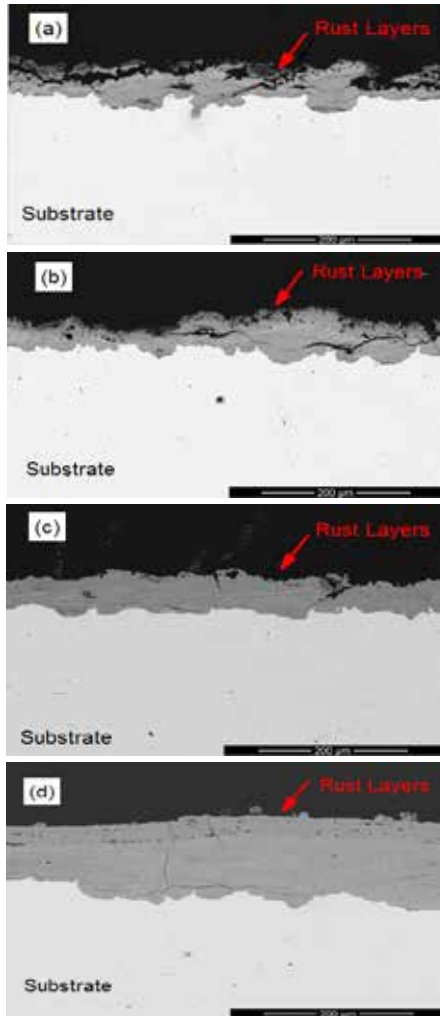


Figure 3 Cross sectional analysis of the rust layer on low alloy steel at (a) 10 Cycle (b) 20 Cycle (c) 40 cycle and (d) 60 cycle

Figure 3 แสดงภาพตัดขวางของชั้นสนิมที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าผสมต่ำ โดยเมื่อพิจารณาโครงสร้างของสนิมจากภาพตัดขวางพบว่า โครงสร้างชั้นสนิมของเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการกัดกร่อนในช่วงแรก เช่นในรอบที่ 10 และ 20 ซึ่งแสดงในรูป 2 (a) และ (b) ตามลำดับ นั้นจะเป็นชั้นสนิมที่บาง โครงสร้างยังไม่มีความหนาแน่น และ มีการกระจายตัวของรอยแยกในชั้นสนิม โดยโครงสร้างชั้นสนิมดังกล่าว ไม่สามารถต้านทานการแพร่ของ ออกซิเจน และ คลอไรด์ไอออนที่เข้าไปกัดกร่อนผิวได้¹⁰ ดังนั้นการกัดกร่อนจึงมีอัตราสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาโครงสร้างชั้นสนิมของเหล็กกล้าที่ผ่านกระบวนการกัดกร่อนที่สอง เช่น ในรอบที่ 40 และ 60 ซึ่งแสดงในรูป 2 (c) และ 2(d) ตามลำดับ พบว่าชั้นสนิมมีโครงสร้างที่

หนาแน่นขึ้น จำนวนรอยแยกลดลง และชั้นสนิมยึดกับผิวเหล็กได้มากขึ้น แสดงถึงการพัฒนาประสิทธิภาพในการต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำจากบรรยากาศชายฝั่ง ซึ่งส่งผลให้การกัดกร่อนในช่วงที่ 2 ลดลง

การทำนายการกัดกร่อน

ผลการทดลองใน Figure 1 และ 2 แสดงถึงกระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในสภาวะจำลองนั้นประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ ช่วงแรก อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น และช่วงที่สอง อัตราการกัดกร่อนลดลง โดยผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสนิมที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงจลนศาสตร์ของการกัดกร่อน ซึ่งเป็นการยืนยันความถูกต้องของจลนศาสตร์ที่ได้วิเคราะห์ไว้ในผลการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลอง ดังนั้น เราจะสามารถหาอัตราการกัดกร่อนต่อรอบการทดลองดังต่อไปนี้

จากกฎ Bi-logarithmic¹¹

$$W = AN^n \tag{5}$$

$$dW / dN = AnN^{n-1} \tag{6}$$

โดย dW / dN คือ อัตราการกัดกร่อน (C) ดังนั้น

$$C = AnN^{n-1} \tag{7}$$

จากผลการทดลองใน Figure 1 และ 2 กระบวนการกัดกร่อนประกอบไปด้วย 2 ช่วง ดังนั้น สมการในการทำนายการกัดกร่อน คือ

1. อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (N น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30) ค่า $\log A = -0.9$ และ $n = 1.44$ ดังนั้น

$$C_1 = 10^{(-0.90)} \times 1.44 N^{0.44} \tag{8}$$

2. อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (N มากกว่า 30) ค่า $\log A = 0.017$ และ $n = 0.71$ ดังนั้น

$$C_2 = 10^{(0.017)} \times 0.71 N^{-0.29} \tag{9}$$

เมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนกับจำนวนรอบการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยกราฟดังกล่าวนี้ได้อามาจากค่า A และ n จากผลการ

วิเคราะห์จลนศาสตร์ซึ่งได้จากการทดสอบการกัดกร่อนในบรรยากาศจำลอง ดังนั้นกราฟดังกล่าวจึงแสดงถึงข้อมูลของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลอง ได้จากรอบที่ 1 จนถึง 65 ซึ่งสอดคล้องกับจลนศาสตร์และชั้นสนิมในแต่ละช่วงของกระบวนการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบนเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองชายฝั่งทะเล

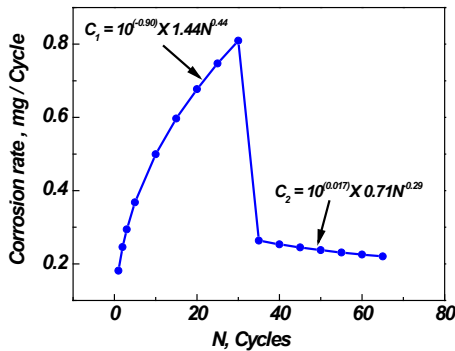


Figure 4 Estimated corrosion rate from the predictive approach

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในบรรยากาศจำลองชายฝั่ง ข้อสรุปที่สำคัญแสดงดังต่อไปนี้

1. กระบวนการกัดกร่อนของเหล็กกล้าผสมต่ำในบรรยากาศจำลองแบ่งเป็น สองช่วง คือ ช่วงที่ 1 การกัดกร่อนสูงขึ้นและช่วงที่ 2 การกัดกร่อนลดลง
2. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชั้นสนิมสอดคล้องกับการวิเคราะห์ทางจลนศาสตร์ กล่าวคือ ในช่วงแรก ชั้นสนิมบาง และไม่ยึดเกาะผิวเหล็ก ลักษณะสนิมดังกล่าว ไม่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นและในช่วงที่สองชั้นสนิมหนาและยึดติดพื้นผิวได้ดี ลักษณะสนิมชนิดนี้ต้านทานการแพร่ของคลอไรด์ไอออนได้ดี ดังนั้น การกัดกร่อนจึงลดลง
3. กฎ Bi-logarithmic สามารถนำมาใช้วิเคราะห์จลนศาสตร์ของการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในสภาวะจำลองได้ และสามารถนำไปประยุกต์เพื่อสร้างสมการการทำนายการกัดกร่อนที่ครอบคลุมช่วงที่ทดสอบได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ Prof.Dr. Dawei Zhang, University of Science and Technology Beijing, สำหรับความอนุเคราะห์ในการวิเคราะห์ชิ้นทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

1. C. Leygraf, T.E. Graedel. Atmospheric corrosion. New York : John Wiley& Sons. Inc.; 2000.
2. T. Chowwanonthapunya (2016). Study on Anti-Atmospheric corrosion Performance of Steel in Coastal and Urban Atmosphere in Thailand, Journal of Materials Science and Applied Energy 2016 ; 5(3): 61- 65.
3. F. Corvo, T. Perez, L. R. Dzib, Y. Martin, A. Castañeda, E. Gonzalez, and J. Perez. Outdoor–indoor corrosion of metals in tropical coastal atmospheres, Corrosion Science 2008 ; 50 (1) : 220–230.
4. J.H. Dong, E.H. Han, K. Wei. Introduction to atmospheric corrosion research in China, Science and Technology of Advanced Materials 2007; 8(78): 559-565.
5. Q.C. Zhang, J.S. Wu, J.J. Wang, W.L.Zheng, A.B. Li. Corrosion behavior of weathering steel in marine atmosphere, Materials Chemistry and Physics 2002; 77(2): 603–608.
6. Long Hao, S.X. Zhang, J.H. Dong, W. Ke (2012). Evolution of atmospheric corrosion of MnCuP weathering steel in a simulated coastal-industrial atmosphere. Corrosion Science 2012; 59: 270–276.
7. Ch.Thee, L. Hao, J.H. Dong, X. Wie, X.F. Li, W. Ke. Atmospheric corrosion monitoring of a weathering under an electrolyte film in cyclic wet-dry condition, Corrosion Science 2014; 78:130-137.
8. M. Pourbaix.The Linear Bilogarithmic Law for Atmospheric Corrosion., in Atmospheric Corrosion. W.H. Ailor, Ed., New York: John Wiley& Sons. Inc.; 1982: 107-121.
9. Long Hao, S.X. Zhang, J.H. Dong, W. Ke. Atmospheric corrosion resistance of MnCuP weathering steel in simulated environments, Corrosion Science 2011; 53 : 4187-4192
10. Ch. Thee, Long Hao, Junhua Dong, Mu Xin, Wei Ke (2014). One numerical approach for atmospheric corrosion monitoring based on EIS of a weathering steel. Acta Metallurgica Sinica (English Letter), 2015, 28(2): 261-271.
11. W.J. Chen, Long Hao, Junhua Dong, Wei Ke. Effect of sulphur dioxide on the corrosion of a low alloy steel in simulated coastal industrial atmosphere, Corrosion Science 2014; 83: 155–163.

ผลความเข้มข้นที่มีต่อสเปกตรัมการวาวแสงของสีย้อมในสารละลายน้ำ Concentration effects on the spectra of fluorescence dyes in aqueous solution

ธนกฤต โครงเซ็น,¹ อธิพงศ์ งามजारุโรจน์,² อภิชาติ ลิ้มพิชัยพานิช,² ศักดิ์สิทธิ์ สุขประสงค์³

Thanakit Krongsen,¹ Athipong Ngamjarrojana,² Apichart Limpichaipanit,² Saksit Sukprasong³

Received: 17 July 2017 ; Accepted: 28 August 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือ เพื่อแสดงให้เห็นว่าผลของความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมนั้นมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของแถบสเปกตรัมการวาวแสงของสารละลาย โดยอาศัยเทคนิคเลเซอร์อินดิฟลูออเรสเซนส์ในการศึกษา ทำการเตรียมสารละลายตัวอย่างที่ประกอบด้วยสีย้อมวาวแสงชนิด ฟลูออเรสซิน โบโมฟลูออเรสซิน โรดามีนซีกจี และ โรดามีนบี โดยการเจือจางด้วยน้ำให้มีช่วงความเข้มข้น 10^{-5} ถึง 10^{-3} โมลาร์ จากนั้นทำการกระตุ้นสารละลายตัวอย่างด้วยเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 395 นาโนเมตร และวัดสเปกตรัมของการวาวแสงที่เปล่งออกมาด้วยระบบวัดแสง ซีซีดี ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมวาวแสงเพิ่มขึ้น แถบสเปกตรัมของการวาวแสงจะเลื่อนไป ยังระดับพลังงานที่ต่ำลง (ความยาวคลื่นสูงมากขึ้น) ซึ่งพฤติกรรมของสเปกตรัมการวาวแสงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมเพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากผลของปรากฏการณ์ "อินเนอร์ฟิลเตอร์" ภายในสารละลายสีย้อมวาวแสง

คำสำคัญ: ผลของความเข้มข้น อินเนอร์ฟิลเตอร์เอฟเฟค ไตเมอร์ รีแอบซอร์ปชัน

Abstract

In this study, the objective was to show that the concentration of a fluorescent dye solutions plays an important role in changing line spectra of aqueous solutions by using the technique called laser induced fluorescence (LIF). The fluorescent dyes used were Fluorescein, Bromofluorescein, Rhodamine 6G and Rhodamine B and were prepared in solution by diluting with water to obtain concentrations from 10^{-5} to 10^{-3} molar. The sample solutions were stimulated by a laser diode (395 nm), and the fluorescence emission spectra from sample solutions were measured and recorded with a CCD spectrometer system. The results showed that when the concentration of the fluorescent dye solutions increased, the fluorescence spectra shifted to a lower energy (longer wavelength). The behavior of fluorescence spectra changed when the concentration of the fluorescent dye solutions was increased, which may have been caused by an inner-filter effect inside the fluorescent dye solutions.

Keywords: concentration effect, inner-filter effect, dimer, reabsorption

¹ นิสิตปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50200

³ อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

¹ Bachelor degree student Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University Si Racha Campus, Chon Buri 20230, Thailand.

² Assist. Prof., Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200, Thailand.

³ Lecture, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University Si Racha Campus, Chon Buri 20230, Thailand.

* Corresponding author; Saksit sukprasong, Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University Si Racha Campus, Chon Buri 20230, Thailand. saksitsukprasong@yahoo.com

Introduction

Concentration effect is one of the environmental factors that affects to fluorescence spectra. Changing of concentration will result in changing of fluorescence spectra. There are two forms of change which include the intensity shift and wavelength shift, when the concentration was changed. Fluorescence intensity will shift, which is based on Beer's law. According to the theory, fluorescence intensity that emitted out will depend on number of particle or molecule being able to absorb energy in order to stimulate atoms, which can be expressed as the Equation 1^{1,2}.

$$F = K'P_o \left\{ 2.3\epsilon bc - \frac{(-2.3\epsilon bc)^2}{2!} - \frac{(-2.3\epsilon bc)^3}{3!} - \dots \right\} \quad (1)$$

Where F is the fluorescence intensity emitted, K' is constant dependent on quantum efficiency, P_o are intensities of incident, ε is the molar absorptivity coefficient, b is the optical path length and C is the concentration of the dye solution. The equation above shows that the fluorescence intensity is directly proportion to the concentration of the dye solution. When we plotted both parameters, we will get a straight line but when increasing the

concentration of the dye solution the intensity of the fluorescence emitted is reduced³ as shown in Figure 1.

The wavelength shift occurs at the increasing concentration of the dye solution due to inner-filter effect which is phenomenon that will change fluorescence spectra. It can be explained by two mainly models including incorporation of dimer formation and re-absorption model^{4,5}. Dimer occurs when the concentration of the dye solution is increased the molecules that are monomers form together⁶. The molecular structure of the monomer and dimer is different and it results in the absorption spectra and emission spectra changes too.

Re-absorption occurs because molecules of the dye solution can absorb fluorescence emitted. Intensity of fluorescence emitted is reduced by using a graph of Stoke to explain this phenomenon⁷. Figure 2, shows that the overlapping between absorption and fluorescence spectra of some fluorophore species⁸. If overlapping zone between absorption spectra with fluorescence spectra of fluorescent dye sample increases, the re-absorption effect on fluorescent dye solution increases and it damages the shape of fluorescence spectra over another fluorescent dye solution species that has smaller overlapping zone⁹.

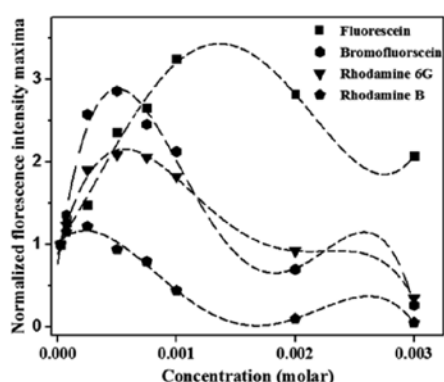


Figure 1 The concentration effect on fluorescence intensity maxima in various dye sample solutions³.

In this research we will study the concentration effect on fluorescence spectra of each fluorescent dye such as Fluorescein, Bromofluorescein, Rhodamine B and Rhodamine 6G in water solution by using laser induced

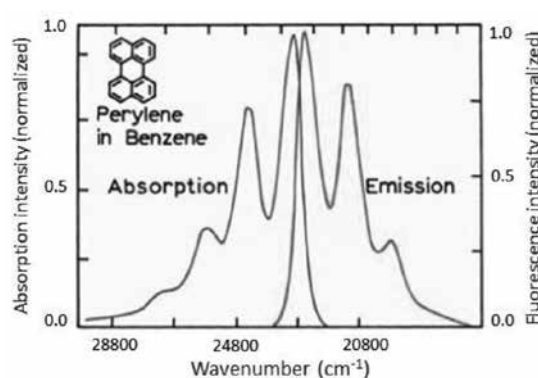


Figure 2 Absorption and fluorescence emission spectra of perylene⁸.

fluorescence (LIF) technique. It is also included with the discussion in relation to fluorescence spectra changes as the result of inner-filter effect on fluorescent dye solutions.

Materials and Methods

The experiment was conducted using solute including four types of fluorescent dyes namely Fluorescein, Bromofluorescein, Rhodamine 6G and Rhodamine B. The solutions were prepared with water to obtain the concentrations from 10^{-5} to 10^{-3} molar. The sample solutions were put into the cuvette which is made from quartz cuvette standard size in order to let light pass through almost 100%. The fluorescence dye sample solutions were illuminated with a laser diode (395 nm, 500 μ W) as an excitation source. Fluorescence spectra of dye solutions were measured and recorded with the CCD spectrometer system which was set up perpendicularly to the excitation radiation in order to reduce the scattering of light, and the fluorescence spectra data was averaged 10 times so that the data was more accurate. Finally, the fluorescence spectra of each dye solution species were analyzed by peak fit analysis method in order to understand the

behavior of fluorescence spectra dependent inner-filter effect in various concentrations.

Results and Discussion

When the molecules of fluorescent dye solutions was excited by 395 nm purple laser, the molecules will change level energy up to excited state. At this state, the molecules are unstable and released energy in the form of fluorescence emission at 500-650 nm. In Figure 3 shows the fluorescence spectra of fluorescent dye solutions including Fluorescein, Bromofluorescein, Rhodamine 6G and Rhodamine B respectively. From it shows that the fluorescence spectra were changed when the concentration was change. The result is similar in all fluorescent dye solution species. The fluorescence spectra changes in two terms including fluorescence intensity maxima shift and wavelength position at fluorescence intensity maxima shift.

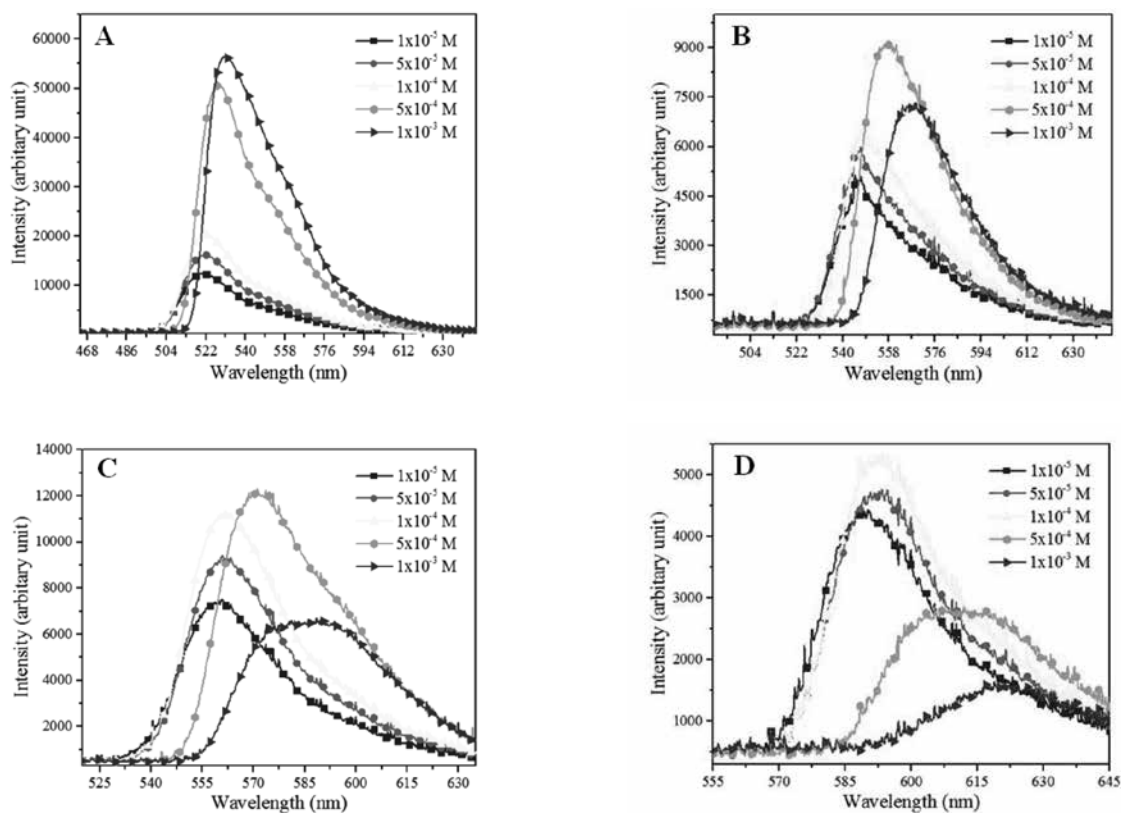


Figure 3 The relationship between the wavelength and fluorescence intensity of each dye solution species including of Fluorescein (A), Bromofluorescein (B), Rhodamine 6G (C) and Rhodamine B (D) at temperature of 25 °C at various concentrations.

The Fluorescence spectra were analyzed by fitting program (Peak functions, $R^2 = 0.996-0.999$) in order to find the value of fluorescence intensity maxima and wavelength position at fluorescence intensity maxima. The relationship between normalized fluorescence intensity maxima with various concentrations is shown in Figure 4.

From Figure 4, the results have a trend to changes in the same way in all fluorescent dye solution species. The value of fluorescence intensity maxima increases linearly in low concentration range ($<10^{-4}$ Molar). However, at high concentration the value of fluorescence intensity maxima decreases which can be explained by Equation 1.

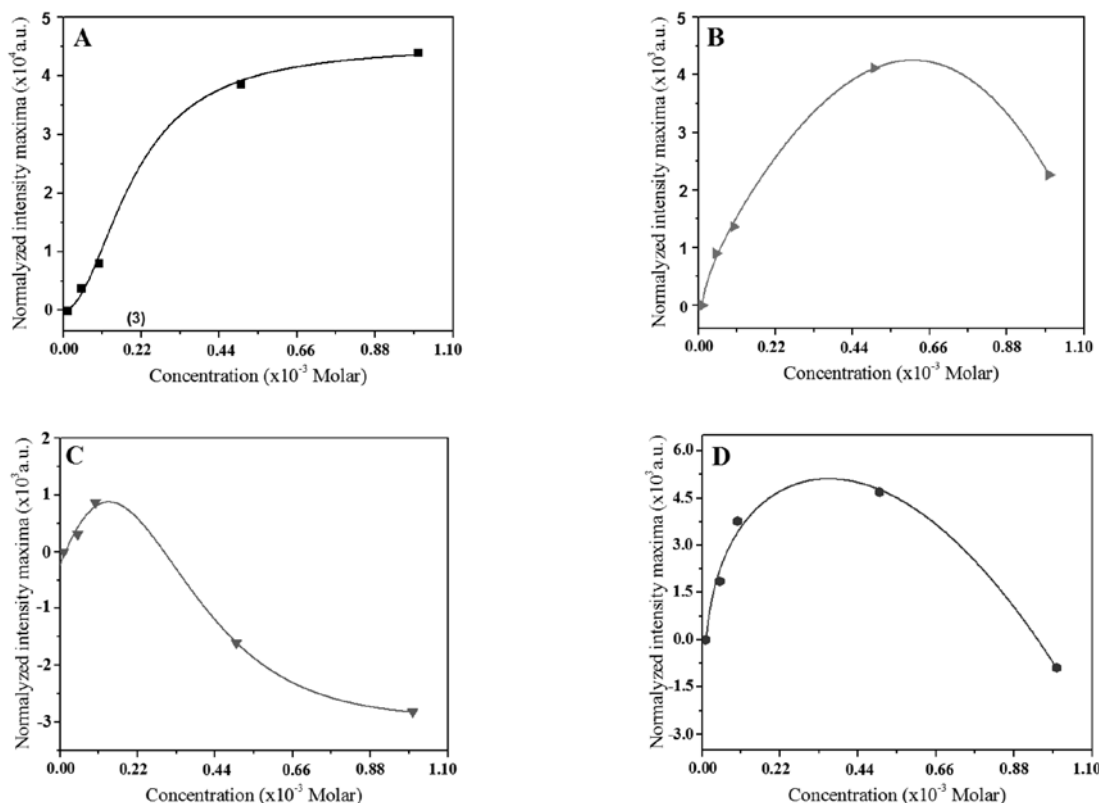


Figure 4 Concentration effect on fluorescence intensity maxima at various fluorescent dye species such as Fluorescein (A), Bromofluorescein (B), Rhodamine B (C) and Rhodamine 6G (D) in water solution.

However, the concentration of fluorescent dye solutions did not only affect the change of fluorescence intensity maxima but still affect the wavelength position at fluorescence intensity maxima. So that the fluorescence spectra data was normalized in order to find the wavelength position of fluorescent dye solution species at different concentrations. Figure 5 shows fluorescence spectra that are normalized of Fluorescein solution which

we can see that the wavelength position at fluorescence intensity maxima was shifted into higher wavelength when concentration increases in the same way when the spectra of Bromofluorescein, Rhodamine B and Rhodamine 6G are normalized and the relationship between the wavelength position shift with concentration of each dye solution species is shown in Figure 6.

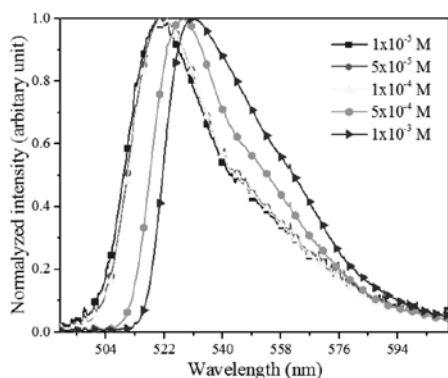


Figure 5 Normalized intensity relationship of Fluorescein solutions at various concentrations.

From Figure 6, it can be seen that the value of wavelength position at fluorescence intensity maxima shifted to higher wavelength when concentration was increased. This behavior can be explained by inner filter effect that occurred in solution that has hypothesis in appearance in two factors. The first one is during low concentration we rarely find dimer in other word dimer have no effect on a change of overall spectra but when concentration is higher the amount is higher as well until it has enough effect that it obviously changes fluorescence spectra into higher wavelength. However, we cannot abandon the effect of reabsorption because it is possible that a shift of wavelength position is caused by reabsorption. At low concentration, overlapping of absorption and fluorescence spectra is low so the reabsorption rarely occurred. So fluorescence spectra hardly changed when concentration is higher overlapping increase. The reabsorption of molecules increases as well so the fluorescence spectra shifted clearly.

Conclusion

Effect of concentration has a significant influence on behavior of fluorescence spectra of fluorescent dye solution including Fluorescein, Bromofluorescein, Rhodamine B and Rhodamine 6G. Apparently, the influence of concentration effect on fluorescence spectra changes was classified in two terms. The first is fluorescence intensity maxima was shifted and the second was wavelength position at fluorescence intensity maxima shift. In the case

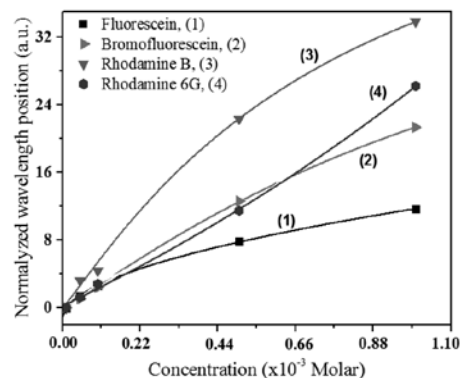


Figure 6 Wavelength-shift behavior in each dye solution species at various concentrations.

of the wavelength position at fluorescence intensity maxima shift, it can be expanded by the dimer formation effect or reabsorption effect on fluorescent dye molecules, which is possible in both events equally.

Acknowledgment

The authors are thankful to Faculty of Science at Si Racha, Kasetsart University Si Racha Campus for financial support. This work was supported by Laser and Applied Optics Research Laboratory, Department of Physics and Materials Science, Faculty of Science, CMU.

References

1. Kao S, Asanov NA, Oldham BP. A comparison of fluorescence inner-filter effect for different cell configuration. *Instrumentation Science & Technology* 1998;26(4):375-387.
2. Guilbault, GG. *Practical Fluorescence*. 2th ed. New York: Marcel Dekker; 1990.
3. Sukprasong S, Manjit Y, Limpichaipanit A, Ngamjarurojana A. Inner filter effect on fluorescence dyes spectra in methanol solution. *Key Engineering Materials*, 2016;675-676:704-707.
4. Pompa PP, Ciccarella G, padavecchia J, Cingolani R, Vasapollo G, Rinaldi, R. Spectroscopic investigation of inner filter effects by phthalocyanine solutions. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2004;163:113-120.

5. Debanjana G, Deboleena S, Nitin C. Intramolecular charge transfer promoted fluorescence transfer: A demonstration of re-absorption of the donor fluorescence by the acceptor. *Journal of Molecular Liquids* 2010; 156:131-136.
6. Dandan Y, Xu Z, Seifallah A, Christine OP. New luminescent extended linear dimer based on meso-tetrafluorenylporphyrins. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 2017;338:96-103.
7. Gitelson AA, Buschmann C, Lichtenthaler KH. Leaf Chlorophyll Fluorescence Corrected for Re-absorption. *Journal of Plant Physiology* 1998; 152:283-296.
8. Lakowicz JR. *Principles of Fluorescence Spectroscopy*. 3th ed. New York: Springer Science+ Business; 2006.
9. Stephen GS. *Fluorescence and phosphorescence spectroscopy*. Great Britain: A. Wheaton & Co.Ltd; 1979.

การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการคาดการณ์น้ำท่วม ณ สถานี Y.16 บางระกำ

Development of an Artificial Neural Network Model for Flood Prediction at Y.16 Bang Rakam Station

สุภาวดี ช้องกำ, ทวี ชัยพิมลพลิน²

Supawadee Songka, Tawe Chaipimonplin²

Received: 26 January 2017 ; Accepted: 17 May 2017

บทคัดย่อ

อำเภอบางระกำจังหวัดพิษณุโลกอยู่บริเวณลุ่มน้ำยมตอนล่างซึ่งได้รับอิทธิพลจากน้ำทางตอนบนของลุ่มน้ำ ด้วยลักษณะทางกายภาพเป็นที่ราบลุ่มเมื่อเกิดฝนตกหนักหรือได้รับอิทธิพลจากน้ำเหนือทำให้พื้นที่นี้เกิดน้ำท่วมซึ่งเป็นประจำทุกปีงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันกริดจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 ปีพ.ศ. 2532-2552 เป็นข้อมูลนำเข้าและสำหรับคาดการณ์ระดับน้ำรายวันสถานี Y.16 บางระกำ เป็นข้อมูลนำออกโดยมีวัตถุประสงค์คือ 1) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมระหว่างวิธี Cross correlation กับวิธี Stepwise regression 2) เพื่อหาโครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับสถานี Y.16 โดยทดสอบเปรียบเทียบชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นและ 2 ชั้นและโหนดในชั้นซ่อนเร้นและ n โหนดและ 3) เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสมจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 โดยใช้วิธี Moving Window Averaging (MWA) มี 16 ตัวแปร, วิธี Moving window Averaging Time step back (MAT) มี 21 ตัวแปร, Moving Window Time step back (MWT) มี 24 ตัวแปรและทุกตัวแปรรวมกันมี 53 ตัวแปร กระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองเลือกใช้ Levenberg-Marquardt (LM) และประมวลผลจำนวน 30 รอบหลังจากนั้นจะทำการคัดเลือกแบบจำลองที่มีการเรียนรู้ที่ดีที่สุด 5 อันดับแรกจากค่า r^2 และนำผลการพยากรณ์มาจากรูปแบบจำลองดังกล่าวมาหาค่าความถูกต้องจากค่า PDIFF จากผลการทดสอบพบว่าวิธี Cross correlation และ วิธี Stepwise regression เลือกข้อมูลนำเข้าในแต่ละกลุ่มตัวแปรดังนี้ MWA (16:2) MAT (21:1) MWT (24:1) และทุกตัวแปร (53:1) และสรุปได้ว่า วิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าวิธี Cross correlation เลือกข้อมูลนำเข้าดีกว่าวิธี Stepwise regression เนื่องจากการคัดเลือกด้วยวิธี Stepwise regression เลือกข้อมูลนำเข้าน้อยเกินไปส่วนชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสมควรมีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้นและโหนดในชั้นซ่อนเร้นควรมี n โหนดโดยที่ n คือจำนวนตัวแปรของจำนวนข้อมูลนำเข้าและสุดท้ายวิธีการเพิ่มตัวแปรที่เหมาะสมควรรู้วิธี MWT ซึ่งเป็นวิธีที่ผสมกันระหว่างวิธี MWA (มิติเชิงพื้นที่) และวิธี MAT (มิติเชิงเวลา) เข้าด้วยกันเป็นวิธีการเพิ่มตัวแปรที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม แบบจำลอง WRF-ECHAM5 การคาดการณ์น้ำท่วม บางระกำ

Abstract

Bang Rakam District, Phitsanulok Province is located in Lower Yom River Basin that is influenced by the physical characteristics of water in the upper basin during heavy rainfall or when the volume of water from the northern part causes annual flooding of this area. This study used daily rainfall grid data from the WRF-ECHAM5 model between the years 1989 and 2009 as input variables for predict water levels at Y. 16 station. The objectives of this study were

¹ นักศึกษาปริญญาโท, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 50200

¹ Master degree Student, Department of Geography, Faculty of Social Science, Chai Mai University, 50200, Thailand

² Assistant Professor, Student, Department of Geography, Faculty of Social Science, Chai Mai University, 50200, Thailand

* Corresponding author: supawadeesongka@gmail.com, Tel: 082-4804628

1) to compare cross correlation and a stepwise regression method as methods for selecting appropriate input variables, 2) to determine the architecture of artificial neural networks models for the Y.16station by comparing between 1 and 2 hidden layers, also hidden nodes at and n nodes, and 3) to study the techniques of how to increase the input variables from the WRF-ECHAM5mode with Moving Window Averaging (MWA), Moving window Averaging Time step back (MAT), Moving Window Time step back (MWT) and all the input variables. The learning algorithm for this study was Levenberg-Marquardt (LM) with numbers of run 30 times, then selected top 5 models with the best learning process by R^2 values, after that the results of the top 5 models were evaluated with PDIFF value. The results found that Cross correlation and Stepwise regression methods selected input variables in each group as MWA (16:2), MAT (21:1), MWT (24:1) and all input variables (53:1). In conclusion, Cross correlation is better than the Stepwise regression method because the Stepwise regression selected few input variables. The appropriate hidden layers should be 1 layer and hidden node should be n node, where n is the number of input variables. Finally, MWT is the best technique, which is a mixed technique between MWA (spatial dimension) and MAT (time dimension).

Keywords: Artificial Neural Network Model, WRF-ECHAM5 Model, Flood Prediction, Bang Rakam

บทนำ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาสภาพภูมิอากาศของโลกได้เปลี่ยนแปลงไปทวีความรุนแรงมากขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและไม่มีชีวิตในหลากหลายด้าน ประเทศไทยได้เผชิญกับภัยพิบัติทางธรรมชาติเช่นเดียวกัน หนึ่งในภัยที่สำคัญนั้นคือ น้ำท่วมหรืออุทกภัยจากข้อมูลกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย¹ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2532 – 2554 ภัยพิบัติที่เกิดจากอุทกภัยในประเทศไทยมีมากกว่า 40,000 ครั้ง มูลค่าความเสียหายประมาณ 12.59 ล้านบาท ประชาชนได้รับบาดเจ็บมากกว่า 2,000 คน และเสียชีวิตมากกว่า 2,000 คน โดยในปี พ.ศ.2554 ประเทศไทยได้รับความเสียหายจากอุทกภัยมากที่สุด ซึ่งธนาคารโลกประเมินความเสียหายไว้ประมาณ 1.42 ล้านล้านบาท ในพื้นที่ลุ่มน้ำยมได้ประสบภัยน้ำท่วมในรูปแบบต่างๆ อาทิ น้ำท่วมขัง น้ำไหลล้นตลิ่ง น้ำป่าไหลหลาก เป็นต้นซึ่งส่งผลกระทบต่อประชาชน โดยเฉพาะประชาชนที่อยู่ในตอนล่างของแม่น้ำยม อีกทั้งปัจจัยที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดปัญหาอุทกภัยในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำยม ได้แก่ ปริมาณฝน ซึ่งเป็นสภาพที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ น้ำฝนในช่วงที่ฝนตกหนัก ๆ โดยเฉพาะบริเวณลุ่มน้ำยมตอนบนก่อให้เกิดปริมาณน้ำจำนวนมากไหลหลากมาตามลำน้ำทำให้น้ำเข้าท่วมพื้นที่อยู่อาศัยและพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งอำเภอบางระกำเป็นพื้นที่หนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมขังทุกปี จากรายงานสำนักงานป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย เขต 9 พิษณุโลก² พบว่า ระหว่างปี พ.ศ.2545 - 2554 ประสบปัญหาน้ำท่วมขังทุกปี โดยในแต่ละปีครอบคลุมระยะเวลา 1 - 3 เดือนมีนักวิชาการหลายท่านพยายามใช้เทคนิควิธีการต่างๆ ที่จะลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ซึ่งหนึ่งในวิธีการลดผลกระทบ คือ การพยากรณ์หรือการคาดการณ์

ในปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่นำเอาเทคโนโลยีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแบบจำลองเพื่อคาดการณ์อุทกภัย เช่น แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Black box model³ โครงข่ายประสาทเทียมคือ ระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ โดยแต่ละโหนดในแต่ละชั้นจะมีการส่งคลื่นกระแสไฟฟ้าเชื่อมระหว่างโหนด⁴ โดยคุณสมบัติที่ดีของแบบจำลองนี้ คือ ใช้ความสัมพันธ์เชิงตัวเลข ซึ่งง่ายต่อการแก้ไขและปรับปรุงทำให้ประหยัดเวลาและงบประมาณในการออกภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูล โครงสร้างสถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้นเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิภาพในการประมวลผล โดยส่วนมากประกอบด้วย 3 ชั้น คือ ชั้นข้อมูลนำเข้า ชั้นซ่อนเร้น และชั้นข้อมูลนำออก ซึ่งชั้นซ่อนเร้นอาจจะมีจำนวนชั้นได้มากกว่า 1 ชั้น โดยจะขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของงานวิจัย โดยทั่วไปจำนวนชั้นซ่อนเร้นและจำนวนโหนดควรจะมีจำนวนเท่าใด ยังไม่มีข้อจำกัดที่ชัดเจนแต่ถ้ามีจำนวนชั้นหรือจำนวนโหนดที่มากเกินไปจะทำให้การคำนวณใช้เวลานาน⁵ และอาจจะเกิดการเรียนรู้ที่ดีเกินไปหรือถ้าน้อยเกินไปการเรียนรู้จะไม่ประสบผลสำเร็จซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการพยากรณ์ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม⁵⁻⁷

วิธีการในการหาจำนวนชั้นหรือจำนวนโหนดที่เหมาะสมมีหลายวิธี ผู้วิจัยได้ศึกษา 29 งานวิจัยและสามารถแบ่งกลุ่มวิธีการได้ดังนี้ 1. วิธีการสุ่ม (Random) 2. วิธีการลองผิดลองถูก (Trail and Error) 3. วิธีการกำหนด (Fix) และ 4. วิธีการนำทฤษฎีหาค่าความเหมาะสม (Optimization) ซึ่งงานวิจัยบางงานอาจใช้วิธีการหาจำนวนชั้นซ่อนเร้นหรือจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่แตกต่างกัน โดยบางงานวิจัยสรุปว่า จำนวนชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสมควรมีมากกว่า 2 ชั้น^{8,9} แต่บางงานวิจัยสรุป

ว่าจำนวนชั้นซ่อนเร้นที่ดีที่สุดควรมี 1 ชั้น^{5,10} ส่วนจำนวนโหนดที่เหมาะสมนั้น ควรมีจำนวนเท่ากับหรือน้อยกว่าจำนวนข้อมูลนำเข้า^{11, 12} หรือจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นควรมี 50% ของจำนวนข้อมูลนำเข้า^{13,14}

กระบวนการเรียนรู้ของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม มีการบวนการเรียนรู้หลายประเภท ซึ่งแต่ละกระบวนการเรียนรู้จะมีความแตกต่างกันไป เช่น การเรียนรู้แบบ Levenberg-Marquardt (LM) เป็นกระบวนการเรียนรู้ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด หรือ การเรียนรู้แบบ Resilient Back-propagation (RP) และ BFGS QUASI-Newton (BFG) เหมาะสำหรับโครงข่ายที่มีความซับซ้อน¹⁵ มีงานวิจัยที่ทำการเปรียบเทียบกระบวนการเรียนรู้ และสรุปว่ากระบวนการเรียนรู้ LM ดีกว่ากระบวนการเรียนรู้อื่นๆ อาทิ ทวีชัยพิมลผลิน¹³ หรือยุพิน ไชยสมภารและทวี ชัยพิมลผลิน¹⁶ เปรียบเทียบวิธี BR กับวิธี LM ในการพยากรณ์น้ำท่วม ผลการทดลองพบว่า วิธี LM ให้ผลการพยากรณ์แม่นยำกว่าวิธี BR นอกจากนี้สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล¹⁴ ทำการศึกษาคาดการณ์ระดับน้ำในแม่น้ำปิง ซึ่งได้เปรียบเทียบกระบวนการเรียนรู้ LM และ GD พบว่ากระบวนการเรียนรู้ LM ให้ผลที่ดีกว่ากระบวนการเรียนรู้ GD การคัดเลือกข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมจะช่วยให้ประหยัดเวลาในการวิเคราะห์ โดย Bowden et al.⁶ ได้ทำการจัดกลุ่มการคัดเลือกข้อมูลนำเข้า ซึ่งอ้างอิงงานของ Maier and Dandy (2000) ที่ได้ทบทวนงานไว้ 43 ฉบับ แบ่งการคัดเลือกออกเป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ 1) ใช้ความรู้ของผู้วิจัยเป็นตัวคัดเลือก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญของผู้คัดเลือกเอง 2) วิธีที่อยู่บนพื้นฐานของสหสัมพันธ์แบบไขว้ (Cross correlation) ที่เป็นสมการเชิงเส้นในการคัดเลือกข้อมูลนำเข้า 3) วิธีการสกัดข้อมูลที่มีอยู่ภายในกระบวนการเรียนรู้ในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เช่น วิธี Stepwise regression 4) วิธีการที่นำไปใช้เข้าถึงการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการนี้อยู่บนพื้นฐานของวิธีการลองผิดลองถูก 5) วิธีการผสม ที่นำเอาวิธีต่างๆ จากข้อ 1-4 รวมกัน

สำหรับงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบวิธี Cross correlation และวิธี Stepwise regression เนื่องจากงานวิจัยของ ทวีชัยพิมลผลิน และทวีศักดิ์ วั่งไพศาล¹⁷ ได้ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำมูลตอนล่างที่มีลักษณะทางกายภาพเป็นพื้นที่ราบลุ่มเช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ และได้ทดสอบเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้า 4 วิธี ได้แก่ วิธี Cross correlation วิธี Stepwise regression วิธีการผสมระหว่างวิธี Cross correlation กับวิธี Stepwise regression และ วิธี Genetic algorithm โดยวิธีที่ให้ผลดีที่สุด 2 อันดับแรกคือ 1. วิธี Cross correlation 2. วิธี Stepwise regression แม้ว่าลุ่มน้ำมูลตอนล่างและลุ่มน้ำยมตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มต่ำเช่นเดียวกันแต่ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำแตก

ต่างกัน

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาการคาดการณ์ระดับน้ำข้อมูลนำเข้าส่วนมากจะใช้ข้อมูลในอดีต-ปัจจุบันเท่านั้น แต่เนื่องด้วยเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้ามากขึ้นในปัจจุบัน ทำให้มีการจัดทำแบบจำลองชนิดต่างๆ เพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนในอนาคต เช่น แบบจำลองสภาพอากาศและพยากรณ์อากาศ WRF ได้ถูกใช้เป็นแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคอย่างกว้างขวาง เพื่อทำการย่อส่วนภูมิอากาศในหลายภูมิภาคทั่วโลก แบบจำลอง WRF-ECHAM5 (The Weather Research and Forecasting-ECHAM5) เป็นแบบจำลองสภาพอากาศและพยากรณ์อากาศ ที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณสูง ใช้ในบทบาทสำคัญในการพยากรณ์สภาพของอุตุนิยมวิทยาต้านน้ำ^{18,19} ซึ่งในงานของ Chotamonsak²⁰ ได้ศึกษาไว้ซึ่งเป็นแบบจำลองภูมิอากาศภูมิภาคที่ถูกพัฒนามาจากแบบจำลอง ECHAM5 เพื่อใช้ในการจำลองภูมิอากาศภูมิภาคปัจจุบันและอนาคตของประเทศไทยที่ระดับความละเอียดกริด 20*20 กิโลเมตร¹⁸ ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้น เป็นต้น มีงานวิจัยของยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลผลิน²¹ ที่นำเอาข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF- ECHAM5 เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อใช้ในการคาดการณ์ระดับน้ำของสถานี P.1 ในอนาคตอีกทั้งยังมีการเปรียบเทียบกระบวนการเรียนรู้และวิเคราะห์สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียม

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง WRF- ECHAM5 เป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อคาดการณ์ระดับน้ำของสถานี Y.16 อ.บางระกำ โดยมีประเด็นศึกษา ดังนี้ (1) เพื่อเปรียบเทียบเทคนิคการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมระหว่าง เทคนิค Cross correlation (C) กับเทคนิค Stepwise regression (S) (2) เพื่อศึกษาโครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมสำหรับสถานี Y.16 และ (3) เพื่อศึกษาเทคนิคการเพิ่มตัวแปรข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5

พื้นที่ศึกษาและข้อมูล

สถานี Y.16 ตั้งอยู่ลุ่มน้ำยมตอนล่าง ณ บ้านบางระกำ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก มีความจุลำนน้ำ 342 ลบ.ม./วินาที ที่ระดับตลิ่ง 7 เมตร²¹ สภาพทางกายภาพของพื้นที่เมื่อเกิดฝนตกหนักจะทำให้เกิดการสะสมของน้ำและไหลบ่าอย่างรุนแรง ตั้งแต่ตอนบนลงมาทางตอนล่างของลุ่มแม่น้ำ โดยสภาพพื้นที่เป็นพื้นที่รองรับน้ำที่ไหลผ่านมาจากจังหวัดทางด้านเหนือ ได้แก่ เพชรบูรณ์ สุโขทัย น่าน อุตรดิตถ์ และเพชรบูรณ์ ดัง

นั้นเมื่อจังหวัดดังกล่าวประสบอุทกภัย จังหวัดพิษณุโลกก็จะได้รับผลกระทบด้วย ซึ่งทำให้อ. บางระกำซึ่งมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มต่ำ เกิดน้ำท่วมครอบคลุมบริเวณกว้างอยู่เป็นประจำ เนื่องจากแม่น้ำยมไหลผ่านจังหวัดพิษณุโลกไปบรรจบแม่น้ำน่านที่ อ. ชุมแสงจ. นครสวรรค์ หากแม่น้ำน่านมีปริมาณมากก็จะทำให้แม่น้ำยมไม่สามารถไหลลงได้ เป็นเหตุให้แม่น้ำยมเพิ่มระดับสูงขึ้นและเกิดน้ำท่วมขังเป็นเวลานาน

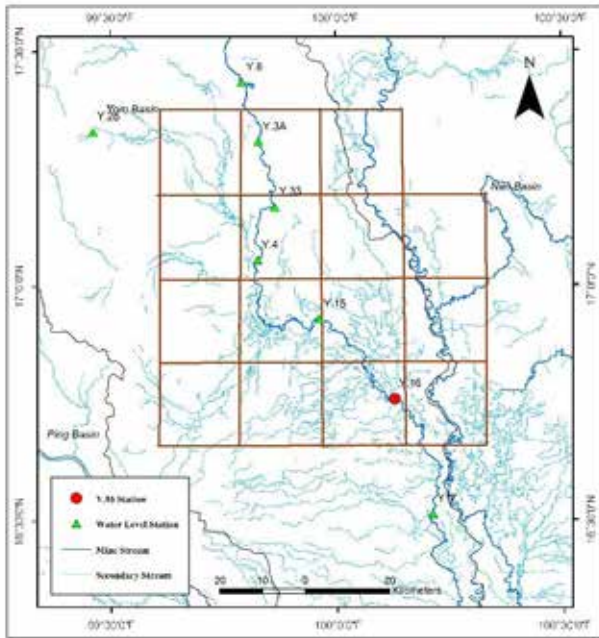


Figure 1 Study Area

Source: Adapted from Geo-Informatics and Space Technology Centre (Northern Region) (2558)

จาก Figure 1 มีสี่เหลี่ยมกริด (20*20 กิโลเมตร) ทั้งหมด 15 กริด ซึ่งแต่ละกริดแทนข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันที่ได้จากแบบจำลอง WRF- ECHAM5 โดยแบบจำลองนี้ใช้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพภูมิอากาศมาใช้ในการวิเคราะห์ มีพื้นฐาน 30 ปี (พ.ศ.2523 - 2552) เพื่อคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคต 30 ปี (พ.ศ.2578-2607) ทั้งนี้มีช่วงเวลาที่เว้นช่วงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวสภาพภูมิอากาศไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน²⁰

งานวิจัยนี้ใช้เวลาช่วงปี พ.ศ.2532 – 2552 (21ปี) ของเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูลทางสถิติของระดับน้ำสถานี Y.16 และช่วงเดือนที่คัดเลือกนี้เป็นช่วงที่มีเหตุการณ์น้ำท่วม

การออกแบบข้อมูล

สำหรับการศึกษาวิธีการเพิ่มตัวแปรจะทำการศึกษา 3 วิธี คือ วิธี Moving window averaging (MWA) วิธี Moving

average time step back (MAT) และวิธี Moving window average time step back (MWT)

เทคนิค MWA แสดงถึงมิติเชิงพื้นที่ เป็นเทคนิคการเคลื่อนที่การหาค่าเฉลี่ยของจำนวนกริดหนึ่งๆ ซึ่งเคลื่อนที่ไปแนวเดียวกัน เป็นการประมาณค่าของช่องสำหรับผลลัพธ์ที่แทนค่าพื้นที่ในแต่ละจุด ซึ่งจะถูกกำหนดโดยตารางกริดที่ถูกวางไว้ตรงมุมบนซ้ายของช่องกริด ภายในตารางกริดนั้นทำให้เกิดการคำนวณค่าเฉลี่ย กริดที่อยู่นอกกลุ่มกริดจะไม่ถูกนำมาคำนวณ หลังจากที่ค่าของกริดถูกคำนวณและถูกกำหนดแล้ว ในยังกริดนั้นจะขยับไปช่องทางขวา และจะทำการคำนวณในกริดนั้น โดยค่าของกริดที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าที่อยู่รอบข้าง²² เช่น จาก Figure 2 กริด 2*2 เป็นการรวมกันของค่าจากกริด 4 ค่า คือ (A+B+F+G)/4 ค่าที่ได้ คือ Z1 ซึ่งจะคำนวณจากซ้ายไปขวา และลงล่างเมื่อข้อมูลด้านขวาลิ้นสุด เป็นต้น

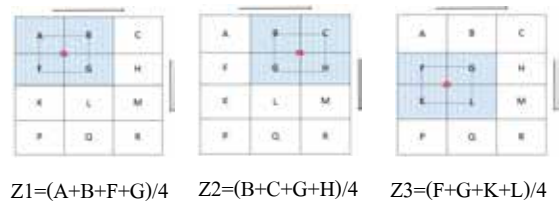


Figure 2 MWA Method

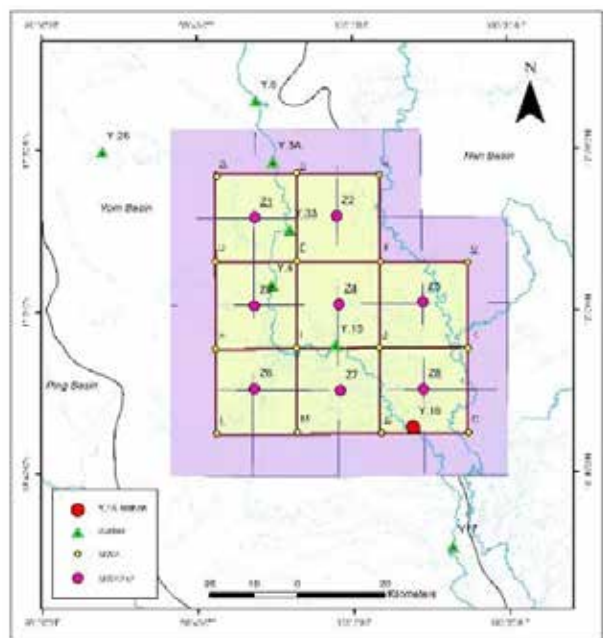


Figure 3 Grid for the selected input of MWA method

วิธี MWA จะใช้จำนวน 8 กริด โดยกำหนดรหัสตั้งแต่ Z1-Z8 (Figure 3) เทคนิค MAT แสดงถึงมิติเชิงเวลาโดยค่าที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นจะมีค่าน้ำฝนใหม่วันที่ n โดยที่ n แทนจำนวนวัน เป็นค่าเฉลี่ยย้อนหลัง หรือค่าเฉลี่ยสะสม²³ ซึ่งจะ

ทำให้ผลการพยากรณ์มีความแม่นยำมากขึ้น เพราะเป็นการกระจายค่าให้กับข้อมูล ทำให้ข้อมูลแสดงถึงปริมาณฝนสะสมที่แท้จริง เนื่องจากข้อมูลที่เก็บมาจากภาคสนามซึ่งอาจเป็นข้อมูลรายวันหรือรายชั่วโมงอาจจะไม่แสดงถึงระดับน้ำฝนสะสมเชิงเวลาได้ เช่น เมื่อฝนตกวันที่ 1 ค่าปริมาณน้ำฝน 50 มิลลิเมตร วันที่ 2 ค่าปริมาณน้ำฝน 15 มิลลิเมตร ซึ่งแบบจำลองจะเห็นเพียงค่า 15 มิลลิเมตร แต่ในความเป็นจริง สภาพพื้นที่ในวันที่ 2 อาจจะยังคงได้รับอิทธิพลปริมาณน้ำฝนจากวันที่ 1 ซึ่งอาจจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของดิน หรืออัตราการไหลบ่าของน้ำผิวดินลงสู่แม่น้ำ เป็นต้นดังนั้นการใช้วิธีดังกล่าวจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยย้อนหลัง คือ (ค่าปริมาณน้ำฝนวันที่ 1 + ค่าปริมาณน้ำฝนวันที่ 2) / 2 จะได้ค่าเฉลี่ยของฝนสะสมตัวอย่างเช่น Figure 4 ค่าเฉลี่ยสะสมของวันที่ 1 ม.ค. 2543 มีค่าเท่ากับ $(20+13)/2 = 16.5$ มิลลิเมตร

Date	A rainfall stations	MV of A station
31 DEC 2001	20	
1 JAN 2002	13	$(20+13)/2 = 16.5$
2 JAN 2002	5	$(13+5)/2 = 9$
3 JAN 2002	11	$(5+11)/2 = 8$
4 JAN 2002	13	12

Figure 4 MAT Method

สำหรับการวิจัยนี้จะกำหนดเวลาย้อนหลัง 1 วัน (MV2) และ 2 วัน (MV3) จำนวน 7 กริด กำหนดโค้ด A-G (Figure 5)

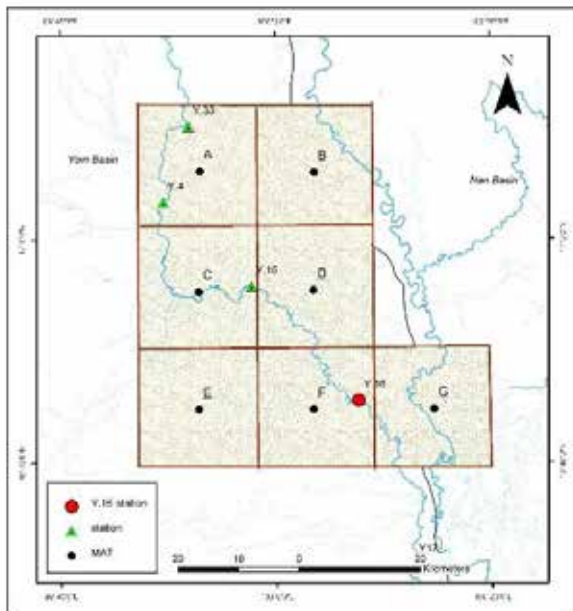


Figure 5 Grid for the selected input of MAT method

เทคนิค MWT เป็นเทคนิคการเพิ่มตัวแปรนำเข้าไปที่ผลานเทคนิค MWA ที่เป็นมิติเชิงพื้นที่ กับเทคนิค MAT ที่เป็นเทคนิคเชิงเวลาเข้าด้วยกัน โดยจะนำค่าน้ำฝนกริดใหม่ที่ได้อจากเทคนิค MWA มาหาค่าเฉลี่ยสะสม (เทคนิค MAT) เนื่องจากการมองมิติเชิงพื้นที่หรือมิติเชิงเวลามิติเดียวอาจยังไม่เพียงพอกับการวิเคราะห์ภัยน้ำท่วมในพื้นที่

ดังนั้นการแบ่งกลุ่มข้อมูลจะแบ่งตามเทคนิคการเพิ่มข้อมูลนำเข้าไป และสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่ม ซึ่งแต่ละกลุ่มจะถูกคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธี C และวิธี S ก่อนที่จะนำเข้าสู่แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

1. E1 ใช้ข้อมูลนำเข้าไปด้วยวิธี MWA โดยจะใช้ค่าน้ำฝน เวลา t และ t-1 ในแต่ละกริด ได้แก่ Z1, Z1t-1, Z2, ... และ Znt-1 โดย n แทน 1 ถึง 8 ซึ่งได้ตัวแปรทั้งหมด 16 ตัวแปร (8*2)

2. กลุ่ม E2 ใช้ข้อมูลนำเข้าไปด้วยวิธี MAT โดยกำหนดค่าเฉลี่ยเวลาย้อนหลัง 1 วัน (MV2) และ 2 วัน (MV3) ได้แก่ A, AMV2, AMV3, B, ... และ nMV3 โดยที่ n แทน A ถึง G ซึ่งได้ตัวแปรทั้งหมด 21 ตัวแปร (7*3)

3. กลุ่ม E3 ใช้ข้อมูลนำเข้าไปด้วยวิธี MWT โดยกำหนดค่าเฉลี่ยเวลาย้อนหลัง 1 วัน (MV2) และ 2 วัน (MV3) ได้แก่ Z1, Z1MV2, Z1MV3, Z2, ... และ ZnMV3 โดยที่ n แทน 1 ถึง 8 ซึ่งได้ตัวแปรทั้งหมด 24 ตัวแปร (8*3)

4. กลุ่ม E4 ใช้ข้อมูลจากกลุ่ม E1E2 และ E3 มารวมกัน ได้ตัวแปรทั้งหมด 53 ตัวแปร (16+21+24)

การออกแบบของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบจำนวนชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสมระหว่าง 1 ชั้น และ 2 ชั้น และหาจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสม โดยกำหนดให้มีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น และ n โดยที่ n แทนจำนวนโหนดในชั้นข้อมูลนำเข้าไป และใช้กระบวนการเรียนรู้แบบ LM

โดยกำหนดให้หมายเลข 1 และ 2 แทนจำนวนชั้นซ่อนเร้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้นให้สัญลักษณ์ A แทน, B แทน n, C แทน, D แทน, :n, E แทน n:n และ F แทน n ตามลำดับ การคัดเลือกข้อมูลนำเข้าไปให้สัญลักษณ์ C แทน วิธี Crelation และ S แทน วิธี Stepwise regression ตัวอย่างการให้สัญลักษณ์ของแบบจำลอง เช่น E11A1C หมายความว่า กลุ่ม E1(MWA) จำนวนชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น จำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น n ใช้วิธีการคัดเลือกข้อมูลวิธี C เป็นต้น

การจัดกลุ่มข้อมูลการเรียนรู้และการทดสอบจากค่าปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF- ECHAM5 ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532-2552 (ค.ศ. 1989-2009) รวม 21 เหตุการณ์น้ำท่วม

สามารถแบ่งสัดส่วนข้อมูลออกเป็นการเรียนรู้และทดสอบ 80:20 โดยการทดสอบได้คัดเลือกข้อมูลซึ่งคละเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดใหญ่ (>10เมตร) กลาง(8-10 เมตร) และเล็ก (<8 เมตร) ได้แก่ ปีพ.ศ.2532(เล็ก), 2538(ใหญ่), 2543(กลาง), 2545(ใหญ่) และ 2547(กลาง) ส่วนที่เหลือคือปีสำหรับการเรียนรู้ 16 ปี (Figure 6)

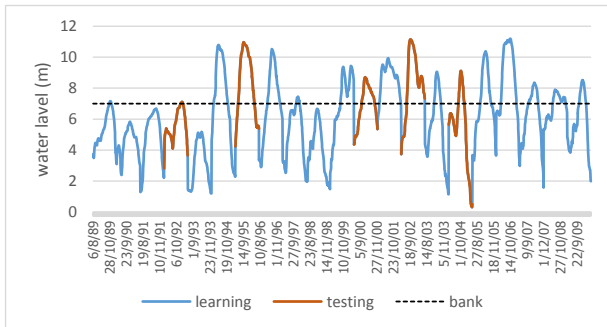


Figure 6 Water level Y.16 Station in 1989-2009

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: r^2)²⁴ เป็นสมการการประมาณค่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ได้มากหรือน้อย ดังสมการ (1) โดย r^2 คือสัดส่วนของผลรวมของความแปรปรวนที่อธิบายได้ด้วยตัวแปรอธิบาย(Explained)กับผลรวมของความแปรปรวนทั้งหมด (Total)(1)

$$r^2 = \frac{\text{Explained}}{\text{Total}} \quad (1)$$

ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่มีค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า แบบจำลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้มาก และในกรณีที่มีค่า r^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 หมายความว่า แบบจำลองมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้น้อย

นอกจากนี้ยังมีค่าความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุด (Peak difference)²⁴ เป็นค่าความแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดของเหตุการณ์จริงกับผลการพยากรณ์ หากค่าที่ได้ติดลบ หมายความว่าแบบจำลองพยากรณ์ระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำจริงคำนวณได้จากสมการ (2)

$$\text{PDIFF} = \max(\hat{Q}) - \max(Q) \quad (2)$$

โดยที่ $\max(\hat{Q})$ คือ ค่าระดับน้ำสูงสุดจากแบบจำลอง $\max(Q)$ คือ ค่าสูงสุดของระดับน้ำจริง โดยการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองจะคัดเลือกค่า r^2 จากผลการเรียนรู้ที่ดีที่สุด 5

อันดับจาก 30 อันดับนำมาใช้คัดเลือกแบบจำลองในผลการทดสอบและใช้ค่า PDIFF เพื่อหาค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับอดีตมากที่สุด

ผลการทดลอง

1) ผลการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าคัดเลือกตัวแปรนำเข้า

ผลการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมโดยใช้วิธี C และวิธี S พบว่า วิธี C คัดเลือกข้อมูลทุกตัวในทุก 4 กลุ่มข้อมูล และวิธี S กลุ่ม E1 คัดเลือกได้ 2 ตัวแปร คือ Z5 และ Z5t-1กลุ่ม E2 E3 และ E4 คัดเลือกได้เพียงกลุ่มละ 1 ตัวแปร ได้แก่ DMV3 Z5MV3 และ DMV3 ตามลำดับ

ผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง

จาก Figure 7 แสดงผลการเรียนรู้ของแบบจำลอง โดยใช้ค่า r^2 เรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่า ค่าสถิติทั้ง 4 กลุ่มข้อมูล วิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าวิธี C มีค่าสูงกว่าวิธี S เช่น กลุ่ม E1

ค่าสูงสุดของแบบจำลองทุกแบบจำลองมีค่ามากกว่าแบบจำลองที่ทำการคัดเลือกโดยวิธี S เส้นกราฟของแบบจำลองเป็นไปในทิศทางเดียวกัน การเกาะกลุ่มของข้อมูลวิธี C ทำได้ดีกว่า โดยสังเกตกลุ่มข้อมูล E1 E3 และ E4 แบบจำลองที่คัดเลือกข้อมูลด้วยวิธี S เส้นกราฟไม่เกาะกลุ่มกัน

เมื่อนำผลการเรียนรู้ 5 อันดับแรกของแบบจำลองมาเฉลี่ย (Table 1) พบว่า ในกลุ่ม E1วิธีการคัดเลือกข้อมูล C ของแบบจำลอง 1BC (E11BC) เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ย 0.053 และวิธี Sของการคัดเลือกในกลุ่มนี้ แบบจำลอง 1BS 2ES และ 2FS มีค่าเฉลี่ย 0.030 เท่ากัน

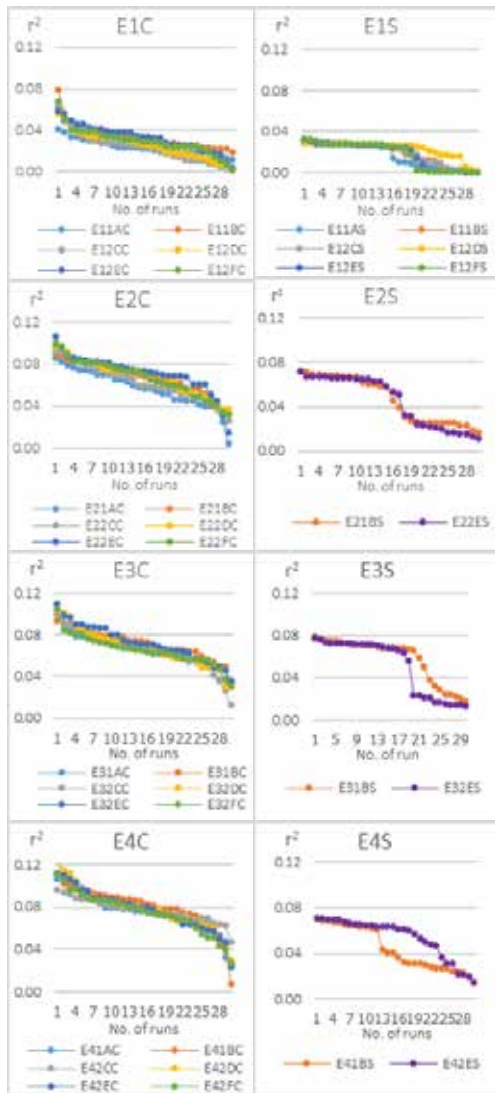


Figure 7 LearningResults

Table 1 The r^2 Average of Top 5 models

Model	E1	E2	E3	E4
1AC	0.035	0.080	0.087	0.103
1BC	0.053	0.086	0.091	0.104
2CC	0.046	0.088	0.090	0.092
2DC	0.045	0.091	0.096	0.110
2EC	0.051	0.092	0.097	0.105
2FC	0.048	0.090	0.087	0.100
1AS	0.029	-	-	-
1BS	0.030	0.071	0.076	0.069
2CS	0.028	-	-	-
2DS	0.029	-	-	-
2ES	0.030	0.068	0.075	0.070
2FS	0.030	-	-	-

ส่วนในกลุ่มของ E2 และ E3 แบบจำลองที่ดีที่สุดโดยการคัดเลือกด้วยวิธี C คือแบบจำลอง 2EC มีค่าเฉลี่ย 0.092 และ 0.097 ตามลำดับ ส่วนการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธี S แบบจำลอง 1BS เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุด ให้ค่าเฉลี่ย 0.071 และ 0.076 ตามลำดับ

กลุ่ม E4 การคัดเลือกข้อมูลวิธี C แบบจำลอง 2DC ให้ผลที่ดีที่สุดมีค่าเฉลี่ย 0.110 รองมาคือ 2EC ให้ค่า 0.105 ส่วนวิธี S แบบจำลอง 2ES เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดให้ค่าเฉลี่ย 0.070 รองมาคือ 1BS ให้ค่า 0.069

ผลจากค่าเฉลี่ย 5 อันดับแรกของค่า r^2 ในแต่ละกลุ่มพบว่าแบบจำลองที่ดีที่สุดในการเรียนรู้ คือ แบบจำลอง 2E (n:n) และ 1B (n) ตามลำดับ อธิบายได้ว่า กลุ่มของการเรียนรู้แบบจำลองที่มีการเรียนรู้ที่ดีควรมีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น หรือ 2 ชั้น และมีโหนดในชั้นซ่อนเร้นเท่ากับจำนวนข้อมูลนำเข้า

ผลการทดสอบของแบบจำลอง

จากการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธี C และวิธี S โดยใช้ค่า r^2 5 อันดับแรกจาก 30 อันดับของกลุ่มการเรียนรู้มาใช้ในการคัดเลือกแบบจำลองในกลุ่มการทดสอบและใช้ค่า PDIFF มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของแบบจำลอง ซึ่งแสดงในรูปที่ 8 โดยกำหนดให้ “x” แทนการคัดเลือกข้อมูลวิธี C และ “o” แทนการคัดเลือกข้อมูล S

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าของวิธีการเพิ่มตัวแปร E1(Figure 8(A)) พบว่า วิธี C เป็นวิธีการที่ให้ผลดีกว่าวิธี S เมื่อสังเกตเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดกลางและขนาดใหญ่พบว่าผลการทดสอบการคัดเลือกข้อมูลด้วยวิธี C ดีที่สุด ยกเว้นน้ำท่วมขนาดเล็กปี พ.ศ.2535 ที่ได้ผลการคัดเลือกด้วยวิธี S ดีกว่า วิธี C

ผลจากการเปรียบเทียบการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี C และวิธี S จะสังเกตว่าวิธี C เป็นวิธีที่มีรูปแบบมากกว่าวิธี S วิธีการเพิ่มตัวแปรกลุ่ม E1 ให้ผลที่คล้ายกับวิธีในกลุ่ม E2 E3 และ E4 (Figure8 (B C และD)) โดยวิธี C เป็นวิธีการที่ให้ผลดีกว่าวิธี S อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เนื่องจาก การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี S ได้เลือกเพียง 1 ตัวแปร ซึ่งอาจจะเป็นข้อมูลที่น้อยเกินไปจึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของแบบจำลอง

2) โครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

จากผลการวิเคราะห์วิธีการคัดเลือกข้อมูลนำเข้าทำให้การวิเคราะห์สถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมพิจารณาเพียงแค่วิธี C เพื่อหาสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสม Table2 เลือกแสดงพิจารณาเพียง

วิธี C โดยกำหนดให้ แทนเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดใหญ่ของแบบจำลอง (ปี พ.ศ.2538 และ 2545) และ แทนเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดกลางและขนาดเล็กของแบบจำลอง (ปีพ.ศ.2535 2543 และ 2547) โดยการเปรียบเทียบจะให้ความสำคัญกับเหตุการณ์น้ำท่วมสูงกว่าระดับตลิ่งและสังเกตความเหมาะสมของค่า PDIFF ที่สรุปในส่วนท้ายของ Table 2

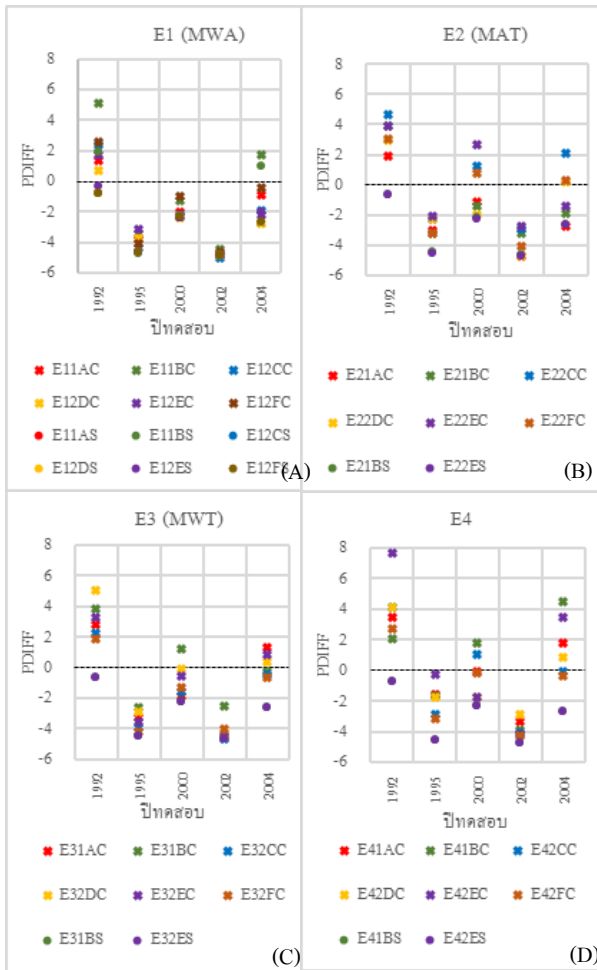


Figure 8 PDIFF of Testing Results

จากการสรุป Table 2 พบว่า แบบจำลอง 2F ที่มีชั้นซ้อนรัน 2 ชั้น และมีโหนดในชั้นซ้อนรัน n: เป็นแบบจำลองที่มีค่า PDIFF1 ใน 2 อันดับแรกที่ดีที่สุด พบว่ามีจำนวน 10 เหตุการณ์ แต่เป็นเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เพียง 1 เหตุการณ์เท่านั้น

Table 2 PDIFF of testing results by Cross correlation method

	E1	1A	1B	2C	2D	2E	2F
2535		1.34	5.12	2.39	0.67	1.76	2.60
2538		-3.78	-3.41	-4.36	-3.66	-3.17	-4.11
2543		-1.98	-1.24	-2.25	-2.39	-2.25	-1.01
2545		-4.84	-4.49	-4.97	-4.83	-4.80	-4.67
2547		-0.84	1.70	-1.96	-2.72	-2.20	-0.45
	E2	1AC	1BC	2CC	2DC	2EC	2FC
2535		1.95	3.92	4.69	2.92	3.87	3.04
2538		-3.00	-3.21	-2.30	-2.30	-2.06	-3.19
2543		-1.15	-1.44	1.30	-1.99	2.64	0.75
2545		-4.72	-3.22	-2.94	-4.68	-2.69	-4.03
2547		-2.75	-1.86	2.10	0.20	-1.37	0.30
	E3	1AC	1BC	2CC	2DC	2EC	2FC
2535		2.84	3.83	2.29	5.09	3.25	1.84
2538		-3.26	-2.56	-3.94	-2.93	-3.52	-4.23
2543		-1.87	1.19	-1.56	-0.10	-0.55	-1.31
2545		-4.57	-2.48	-4.68	-4.35	-4.49	-4.05
2547		1.35	-0.32	-0.45	0.40	0.83	-0.67
	E4	1AC	1BC	2CC	2DC	2EC	2FC
2535		3.46	2.13	4.11	4.17	7.66	2.70
2538		-1.58	-1.66	-2.88	-1.70	-0.27	-3.18
2543		-0.10	1.76	1.05	-1.75	-1.73	-0.12
2545		-3.36	-3.89	-4.09	-2.83	-4.15	-4.27
2547		1.81	4.54	-0.09	0.84	3.52	-0.31
Model	Even	1A	1B	2C	2D	2E	2F
All		6	8	5	7	5	10
Big		2	5	2	3	3	1
Medium and Small		4	3	3	4	2	9

ซึ่งไม่เพียงพอที่จะนำมาคาดการณ์เหตุการณ์น้ำท่วมขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณาอันดับรองมาคือ 1B ที่มีชั้นซ้อนรัน 1 ชั้น และจำนวนโหนดในชั้นซ้อนรัน n โหนดซึ่งมีค่า PDIFF1 ใน 2 อันดับแรกที่ดีที่สุดมีจำนวน 8 เหตุการณ์ และมีเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่ 5 เหตุการณ์ ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่า 2F ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สำหรับการนำแบบจำลองดังกล่าวไปคาดการณ์เหตุการณ์น้ำท่วมทั้งระดับเล็กกลาง ใหญ่ ในอนาคตได้

ฉะนั้นโครงสร้างสถาปัตยกรรมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมควรมีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น และมีจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น n โหนด หรือ มีจำนวนโหนดเท่ากับจำนวนตัวแปรของข้อมูลนำเข้า

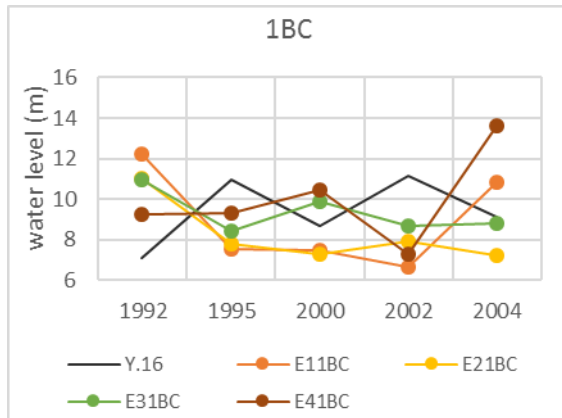


Figure 9 Results of 1BC with different input variables

3) วิธีการเพิ่มตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาเฉพาะแบบจำลอง 1B เพื่อหาวิธีการเพิ่มข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสม โดยแสดงใน Figure 9 พบว่าแบบจำลอง E31BC และ แบบจำลอง E41BC มีค่า PDIFF ใกล้เคียงกับระดับน้ำจริงของสถานี Y.16 มากที่สุดโดยเปรียบเทียบกับการเพิ่มข้อมูลในกลุ่มอื่นๆ เมื่อพิจารณาแบบจำลอง E31BC ค่า PDIFF อยู่ในอันดับแรกในปี พ.ศ.2543 (กลาง) พ.ศ.2545 (ใหญ่) และ พ.ศ. 2547 (กลาง) เปรียบเทียบกับแบบจำลอง E41BC ค่า PDIFF อยู่อันดับแรกปี พ.ศ.2535 (เล็ก) และ พ.ศ.2538 (ใหญ่) เมื่อพิจารณา 2 แบบจำลองดังกล่าวพบว่าแบบจำลอง E31BC มีอันดับ 1 ใน 2 อันดับของทุกปี ซึ่งดีกว่าแบบจำลอง E41BC ที่ในปี พ.ศ.2547 (กลาง) เป็นแบบจำลองที่ให้ผลค่า PDIFF แย่ที่สุด และปี พ.ศ.2543 (ใหญ่) ให้ผลเป็นอันดับ 3 จาก กลุ่มข้อมูลการเพิ่มตัวแปรนำเข้า ทำให้แบบจำลอง E31BC เป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่น และถือว่าเป็นแบบจำลองที่มีความเสถียรมากที่สุด ฉะนั้นวิธีการเพิ่มข้อมูลนำเข้าที่เหมาะสมควรใช้วิธีในกลุ่ม E3 คือ MWT ซึ่งเป็นวิธีที่รวมกันระหว่าง MWA ที่เป็นมิติเชิงพื้นที่ และ MAT ที่เป็นมิติเชิงเวลาเข้าด้วยกัน

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากวิธีการคัดเลือกตัวแปรนำเข้าที่ผู้วิจัยได้ใช้วิธี C และวิธี S เมื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกโดยใช้ค่า r^2 ของผลการเรียนรู้ 5 อันดับแรกที่ดีที่สุดนำมาคัดเลือกผลการทดสอบ ซึ่งแสดงผลด้วยค่า PDIFF พบว่า การคัดเลือกข้อมูลนำเข้าด้วยวิธี C ให้

ประสิทธิภาพดีกว่าวิธี S ทั้งนี้อาจเนื่องจากจำนวนตัวแปรที่คัดเลือกได้ในวิธี S มีจำนวนน้อยเกินไปทำให้การเรียนรู้และการทดสอบไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบโดยใช้ค่า PDIFF (Table 2) พบว่าค่า PDIFF จากการคัดเลือกผลที่ดีที่สุด 2 อันดับในแต่ละปีของกลุ่มการเพิ่มข้อมูลนำเข้า พบว่า จำนวนชั้นซ่อนเร้น 2 ชั้น และจำนวนโหนดในชั้นซ่อนเร้น n: โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในชั้นข้อมูลนำเข้า (2F) มีความถี่ของการเกิดน้ำท่วม 10 ครั้ง แต่ในจำนวนนี้มีเหตุการณ์น้ำท่วมใหญ่เพียง 1 เหตุการณ์เท่านั้น ซึ่งน้อยเกินไป เมื่อพิจารณาแบบจำลองรองมา คือ แบบจำลองที่มีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น และมีโหนดในชั้นซ่อนเร้น n โหนด โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในชั้นข้อมูลนำเข้า (1B) มีความถี่ในการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม 8 ครั้ง และในที่มี 5 ครั้งที่เป็นเหตุการณ์น้ำท่วมขนาดใหญ่ ซึ่งมีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลองอื่น ฉะนั้นสถาปัตยกรรมโครงข่ายประสาทเทียมที่เหมาะสมควรมีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น และโหนดในชั้นซ่อนเร้น n โหนด โดยที่ n แทนจำนวนข้อมูลในชั้นข้อมูลนำเข้า

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการเพิ่มข้อมูลนำเข้าในแบบจำลอง 4 วิธี ได้แก่ MWA(E1) MAT(E2) MWT(E3) และใช้ทุกตัวรวมกัน(E4)ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองที่มีชั้นซ่อนเร้น 1 ชั้น และโหนดในชั้นซ่อนเร้น n โหนด (1B) เพื่อเปรียบเทียบวิธีการเพิ่มข้อมูลที่เหมาะสม พบว่า วิธี MWT(E3)ซึ่งเป็นวิธีที่รวมกันระหว่าง MWA ที่เป็นมิติเชิงพื้นที่ และ MAT ที่เป็นมิติเชิงเวลาเข้าด้วยกันเป็นวิธีการที่ดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ทูสนับสนุนการทำวิจัย จาก บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ชาคกริต โชติอมรศักดิ์ หัวหน้าศูนย์ภูมิภาคศึกษาด้านภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลอง WRF-ECHAM5 และศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง อนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณระดับน้ำรายวันที่สถานี Y.16 บางระกำ

เอกสารอ้างอิง

1. กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. สถิติสถานการณ์อุทกภัยของประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ.2532-2554. ได้จาก: URL: <http://www.disaster.go.th/dpm/> 11 เมษายน 2559.
2. ศูนย์ป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยจังหวัดพิษณุโลก. รายงานความเสียหายอุทกภัย ปี 2554. ได้จาก URL:

- http://122.155.1.145/inner.plk-3.30/about/inner_1102/
8 มิถุนาคม 2559
3. Kasabov, KN. Foundations of Neural Network, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering. The MIT Press, Cambridge MA. 1996.
 4. ธนาวุฒิ ประกอบผล. โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks). วารสาร มจร.วิชาการ 2552; 12(24): 72-87.
 5. เขาวาน์ หิรัญดียะกุล. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วม. รายงานการวิจัย. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2546.
 6. Bowden GJ, Dandy GC. and Maier HR. Input determination for neural network models in water resources application. Part 1- background and methodology. Journal of Hydrology 2005; 301: 75-92.
 7. ทรงศักดิ์ ภักธราวุฒิชัย และวราวุธ วุฒินิษฐ์. การพยากรณ์สภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำลำภาชีโดยระบบโครงข่ายประสาทประดิษฐ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. มปป.
 8. ดวงเพ็ญ เจตน์พิพัฒนพงษ์ และรัชกฤษ ธนพัฒน์ดล. การศึกษาเปรียบเทียบผลของการเปลี่ยนแปลงจำนวนคำตอบของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์ ระดับแม่น้ำยม จังหวัดแพร่. การจัดการสิ่งแวดล้อม 2553; 6(2):35-53.
 9. เลอพงค์ อัสสุริยา. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำ-อัตราการไหล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.
 10. Chaipimonplin T. An exploration of Neural Network Modelling Option for the Upper River Ping. Thailand. Doctor of Philosophy (Physical Geography), University of Leeds. 2010.
 11. ชัยยุทธ์ ชินณะราศี, ทรงพล โนนสว่าง และเสรี ศุภราทิตย์. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมกับการพยากรณ์ระดับน้ำที่หาดใหญ่. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 2546; 26(1):125-137.
 12. คณิต ชินวงศ์. การพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำของอ่างเก็บน้ำดอกกรายและอ่างเก็บน้ำหนองปลาไหล จังหวัดระยอง โดยใช้โครงข่ายประสาทประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2548.
 13. ทวี ชัยพิมลผลิน. การพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับพยากรณ์น้ำท่วม ในลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน โดยใช้ภาพเรดาร์และข้อมูลอุทกวิทยา. รายงานการวิจัย. เชียงใหม่: คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2555.
 14. สมยศ ตั้งเจริญจิตกุล. การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายระดับน้ำแม่น้ำปิง ณ อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545.
 15. Beale MH, Hagan MT. and Demuth HB. Neural Network Toolbox 7 User's Guide. Massachusetts: United States: The Math Works. 2011.
 16. ยุพิน ไชยสมภาร และทวี ชัยพิมลผลิน. การประยุกต์ใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมร่วมกับข้อมูลจากแบบจำลองสภาพอากาศระดับภูมิภาคเพื่อคาดการณ์น้ำท่วมในเทศบาลนครเชียงใหม่. การประชุมวิชาการนิสิตนักศึกษาภูมิศาสตร์และภูมิสารสนเทศศาสตร์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 8. 25-26 ธันวาคม 2558. ได้จาก URL: <http://www.arts.chula.ac.th/~geography/TSG2015/Abstract%20Oral.html> 10 มกราคม 2560.
 17. ทวี ชัยพิมลผลิน และทวีศักดิ์ วั่งไพศาล. โครงการการพัฒนาแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อพยากรณ์ระดับน้ำสำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมในลุ่มน้ำมูล. รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2557.
 18. Yucel I. Assessment of a flash flood event using different precipitation datasets. Natural Hazards 2015; 79(3):1889-1991.
 19. Rodriguez AL, Fanego VL, Vazquez DP. and Pescador JT. One-day-ahead streamflow forecasting using artificial neural networks and meteorological mesoscale model. Journal of Hydrologic Engineering 2015; 20(9):313-332.
 18. Chotamonsak C. Climate Change Simulations for Thailand Using Regional Climate Model. Doctor of Philosophy (Environmental Science). The graduate school Chiang Mai University. 2011.
 20. ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคเหนือตอนล่าง. ระดับน้ำสถานี Y.16 บางระกำ. ได้จาก URL: <http://www.hydro-2.com/> 16 ธันวาคม 2559.
 22. de By RA. Knippers, RA. Weir MJC. Georgiadou Y. Kraak MJ. van Westen CJ. and Sun Y. Data entry and preparation. Rolf A. de By (Ed.). Principles of Geographic Information systems. The International Institute for Geo-Information Science and Earth

Observation: Enschede, The Netherlands.2547.

23. ทวี ชัยพิมลผลิน.แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม. สื่อประกอบการสอน การวิเคราะห์การจัดการความเสี่ยงภัยพิบัติ 154715. ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2559.
24. Hydro Test. 2016. Details (modelling and statistics). Accessed from: RL: <http://copublic.lboro.ac.uk/cocwd/HydroTest/Details.html> 10September2016.

การประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

Application of Landsat Data for Detecting Land Surface Temperature in Mueang Maha Sarakham District, Maha Sarakham Province

อุเทน पीบขุนทด¹, ปรมะฐฐ์ จันทร์เพ็ง¹, ธีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ^{1,2*}

Uten Peebkhunthod, Pormate Chunpang², Teerawong Laosuwan^{1,2*}

Received: 21 November 2016 ; Accepted: 17 February 2017

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม วิธีการศึกษาได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อนที่ความยาวคลื่น 10.60 - 11.19 ไมโครเมตร มาทำการปรับแก้ค่าการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของบรรยากาศชั้นบน ทั้งนี้เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลบนดาวเทียม โดยผลของการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมในปี พ.ศ. 2558 พบว่าอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามมีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 27.155 องศาเซลเซียส ส่วนข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยามีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยเท่ากับ 28.033 องศาเซลเซียส จากนั้นได้นำเอาผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมที่หาความสัมพันธ์กับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวของกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่าในปี พ.ศ. 2558 ได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8591x + 4.8904$ และมีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.838$ โดยผลของความสัมพันธ์ได้แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันของข้อมูลในระดับสูง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมนั้นมีความน่าเชื่อถือ

คำสำคัญ: อุณหภูมิพื้นผิว ดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน

Abstract

The research aims to apply Landsat data to examine the land surface temperature in the area of Mueang Mahasakham district, Mahasarakham province. The research methodology employed satellite data acquired from Landsat 8 using the thermal infrared band, wave length between 10.60-11.19 micrometer, and the geometrical distortion was readjusted to correct for reflectance of electromagnetic radiation of the top of atmosphere for reduced the errors of the energy reflectance from the earth's ground surface to the data recorder embedded with the satellite. The data analysis was acquired from the satellite in 2015 and it was found that the average land surface temperature of Mueang Mahasakham district, Mahasarakham province was 27.155 Celsius while the data from Thai Meteorological Department indicated 28.133 Celsius. The study then compared the analysis of the satellite data with that from the Thai Meteorological Department during 2015 revealing a relationship based on the formula $y = 0.8591x + 4.8904$ and the coefficient of determination $R^2 = 0.838$. It can be concluded that there is a relationship of the data at the high level, and the study has reaffirmed that ground surface analysis using satellite data is reliable method.

Keywords: Land surface temperature, Landsat 8, Thermal infrared band

¹ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² หน่วยวิจัยเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Department of Physics, 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

บทนำ

จากรายงานประเมินสถานการณ์สภาพอากาศโลกฉบับที่ 4 โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)¹ ระบุว่าภาวะโลกร้อนได้ปรากฏเด่นชัดจนมากขึ้น ทั้งนี้จากการสังเกตอุณหภูมิอากาศและมหาสมุทรโดยเฉลี่ย รวมไปถึงการละลายของหิมะและน้ำแข็ง การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ ทะเลในช่วง 12 ปี ที่ผ่านมา ซึ่งระดับน้ำตั้งแต่ ค.ศ. 1990 อุณหภูมิพื้นผิวโลกเฉลี่ยของโลกได้เพิ่มสูงขึ้นประมาณ 0.8 องศาเซลเซียส และจากปี ค.ศ. 1980-1999 อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในระดับที่พุ่งขึ้นไปเรื่อยๆ นอกจากนี้ยังได้มีการคาดการณ์ว่าภายในปี ค.ศ.2100 อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยพื้นผิวโลกจะเพิ่มขึ้นระหว่าง 1.1-6.4 องศาเซลเซียส อีกด้วย²

จากผลที่เกิดจากภาวะโลกร้อนนี้อาจนำไปสู่ผล กระทบที่ร้ายแรงจนพื้นกลับคืนมาไม่ได้ ความเสี่ยงนี้เชื่อมโยงกับระดับและขนาดของความเปลี่ยนแปลงทางอากาศร้อยละ 20-30 ของชนิดพืชและสัตว์ที่เสี่ยงจะสูญพันธุ์ หากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มขึ้น 1.5-2.5 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับอุณหภูมิเฉลี่ยเมื่อช่วงปี ค.ศ. 1980-1999 บริเวณแอฟริกาภายในปี ค.ศ. 2020 ประชากรกว่า 75-250 ล้านคนจะเผชิญวิกฤต ดึงเครียดเรื่องน้ำผลผลิตการเกษตรที่ต้องพึ่งพาน้ำฝนในหลายประเทศจะลดลงกว่าร้อยละ 50 พื้นที่ทะเลทรายจะขยายตัวจากร้อยละ 5-8 ภายในปี ค.ศ.2080 บริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จะลดลงภายในกลางศตวรรษนี้ พื้นที่ที่ติดชายฝั่งจะเสี่ยงต่อภาวะน้ำท่วม เนื่องจากระดับน้ำ ทะเลที่สูงขึ้น ยอดผู้เสียชีวิตที่เกี่ยวข้องจากภาวะน้ำท่วมและภัยแล้งจะเพิ่มขึ้นบริเวณอาร์กติก การละลายของน้ำแข็งในทะเลเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อนขึ้นจะสูง ขึ้น มากกว่าสองเท่าจากระดับเฉลี่ยในอดีตและจะส่ง ผลต่อระบบนิเวศวิทยารวมถึงที่อยู่อาศัยของมนุษย์ เมื่อถึงปลายศตวรรษ น้ำแข็งในอาร์กติกอาจละลายไปเลยก็ได้ ในช่วงฤดูร้อนบริเวณยุโรปหนาวน้ำแข็งตามเทือกเขาจะลดลงส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวในฤดูหนาวและการสูญพันธุ์ของพืชและสัตว์ บางพื้นที่จะเสียหายถึงร้อยละ 60 ส่วนยุโรปใต้ต้องเผชิญกับคลื่นความร้อนที่ถี่ขึ้นและร้อนขึ้น ความเปลี่ยนแปลงทางอากาศจะนำไปสู่การแปรสภาพกรดในมหาสมุทรซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาที่ปะการังเป็นฐาน^{3,4} สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ. 2558 พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีของสูงกว่าค่าปกติ 0.8 องศาเซลเซียสและสูงกว่าปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2557 สูงกว่าค่าปกติ 0.4 องศาเซลเซียส) หลายพื้นที่มีอุณหภูมิสูงสุดสูงกว่าสถิติเดิมที่เคยตรวจวัดได้ โดยอุณหภูมิเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่าค่าปกติทุกเดือน เฉพาะเดือนธันวาคมและเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าปกติ 2.1 และ 1.9 องศาเซลเซียส

ตามลำดับ⁵ ด้วยความสำคัญของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ตั้งกล่าวมา การศึกษาในครั้งนี้จึงได้มุ่งเน้นในการตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวโดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 ช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน ในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ปี พ.ศ. 2558

พื้นที่ศึกษา

อำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม (Figure 1) มีเนื้อที่ประมาณ 556.70 ตารางกิโลเมตร โดยอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคามมีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

- ทิศเหนือ: ติดต่อกับ อำเภอกันทรวิชัย
- ทิศใต้: ติดต่อกับ อำเภอวาปีปทุม
- ทิศตะวันออก: ติดต่อกับ อำเภอฆ้องชัย (จังหวัดกาฬสินธุ์) อำเภอจังหาร อำเภอเมืองร้อยเอ็ด อำเภอศรีสมเด็จ (จังหวัดร้อยเอ็ด) และอำเภอแกลง
- ทิศตะวันตก: ติดต่อกับ อำเภอบรบือและอำเภอโกสุมพิสัย



Figure 1 Mahasarakham Province

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมแลนด์แซท 8 โดยดาวเทียมแลนด์แซท 8 สามารถบันทึกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ (Table 1)^{6,7} 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 ช่วงคลื่น

ความละเอียด 100 เมตร และภาพขาวดำ (Panchromatic) ความละเอียด 15 เมตร

ทั้งนี้ดาวเทียมแลนดแซท 8 ยังมีระบบการเก็บข้อมูลขนาด 16 บิต โคจรกลับมาถ่ายภาพซ้ำตำแหน่งเดิมทุกๆ 16 วัน สำหรับการศึกษาคั้งนี้จะใช้เฉพาะช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน Band 10 ที่ความยาวคลื่น 10.60 - 11.19 ไมโครเมตร

Table 1 LANDSAT 8 OLI and TIRS

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

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมแลนดแซท 8 ปี พ.ศ. 2558 มีขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลเบื้องต้น ดังนี้

1) ดัดข้อมูลจากดาวเทียม (Sunset image) ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา จากนั้นทำการปรับแก้ความผิด พลาดทางเรขาคณิต (Geometric correction)⁷ ของข้อมูลจากดาวเทียมดังกล่าว

2) การคำนวณอุณหภูมิพื้นผิวจากช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 ดังนี้¹¹⁻¹⁵

$$L_{\lambda} = gain \times DN + bias \tag{1}$$

โดยที่

- L_{λ} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- $gain$ ค่า gain ดาวเทียมแลนดแซท 8
- DN ค่าการสะท้อนในแต่ละ Pixel (Digital number)
- $bias$ ค่า Offset ของ แบนด์ 10

3) การแปลงค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลเป็นค่าการแผ่รังสี ณ อุปกรณ์บันทึก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 ดังนี้¹¹⁻¹⁵

$$CV_{RI} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) \times (QCAL - QCALMIN) + LMIN \tag{2}$$

โดยที่

- CV_{RI} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- $LMAX$ ค่ารังสีสูงสุดของแต่ละแบนด์
- $LMIN$ ค่ารังสีต่ำสุดของแต่ละแบนด์
- $QCALMAX$ ค่าเชิงตัวเลขต่ำสุดของข้อมูลจากดาวเทียม มีค่าเท่ากับ 0
- $QCALMIN$ ค่าเชิงตัวเลขต่ำสุดของข้อมูลจากดาวเทียม มีค่าเท่ากับ 255
- DN ค่าการสะท้อนในแต่ละ Pixel (Digital number)

4) การคำนวณอุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังนี้^{13,14,15}

$$T = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1 \times \epsilon}{CV_{RI}} + 1 \right)} \tag{3}$$

โดยที่

- CV_{RI} ค่าการแผ่รังสี (Spectral radiance)
- T อุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่น (K)
- K_1 ค่าคงที่ของดาวเทียม Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 774.89 (K)
- K_2 ค่าคงที่ของดาวเทียม Landsat 8 TIR 1 แบนด์ 10 คือ 1321.08 (K)
- ϵ ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของดาวเทียม Landsat 8 แบนด์ 10 คือ 0.987

5) การแปลงค่าอุณหภูมิเคลวินเป็นค่าอุณหภูมิ องศาเซลเซียส สำหรับการแปลงค่าอุณหภูมิเคลวินเป็นค่า อุณหภูมิองศาเซลเซียส ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4 ดังนี้^{13,14,15}

$$T (^{\circ}c) = T(k) - 273.15 \tag{4}$$

6) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนของดาวเทียมแลนดแซท 8 กับข้อมูลอุณหภูมิจากกรมอุตุนิยมวิทยา

ผลการดำเนินงาน

ผลการรวบรวมและจัดเตรียมข้อมูลดาวเทียม

ผลการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการวิเคราะห์นั้นจากการทำการปรับแก้ค่า ToA เพื่อลดความผิดพลาดของพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นผิวโลกไปสู่เครื่องบันทึกข้อมูลจากสภาพแวดล้อมที่อยู่รอบข้างในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลของข้อมูลดาวเทียมแลนดแซท 8 ก่อนและหลังนั้น สามารถแสดงได้ดัง Figure 2, 3

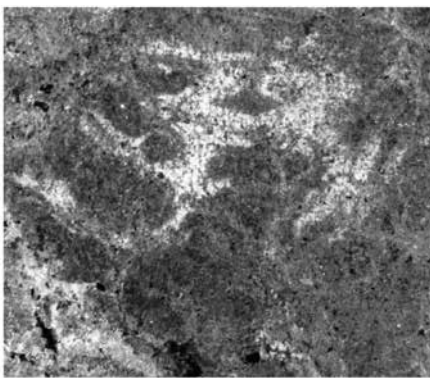


Figure 2 Before TOA

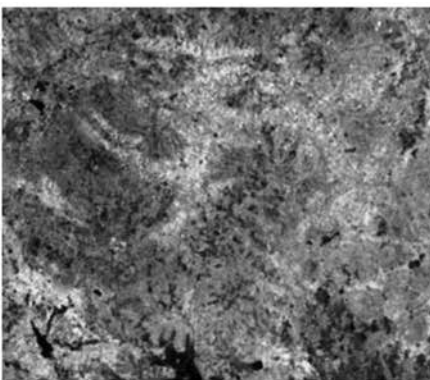


Figure 3 After TOA

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิว

ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนดแซท 8 โดยผ่านกระบวนการแปลงค่าเชิงตัวเลขของข้อมูลเป็นค่าการแผ่รังสี ณ อุปกรณ์บันทึก และการวิเคราะห์อุณหภูมิสัมบูรณ์จากการแผ่รังสีเชิงคลื่นในปี พ.ศ. 2558 ทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวของอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ได้ดังใน Table 1 ซึ่งแสดงข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากดาวเทียมรายเดือนในปี พ.ศ. 2558

Table 1 Mean temperature from analysis of Landsat 8

Year	Month	Mean temperature (°C)
2015	JAN	22.56
	FRB	25.15
	MAR	30.21
	APR	30.60
	MAY	30.53
	JUN	28.42
	JUL	28.01
	AUG	26.06
	SEP	25.26
	OCT	27.11
	NOV	26.21
	DEC	24.55
Average temperature		27.155

การวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวเชิงพื้นที่รายปี

สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวเชิงพื้นที่รายปีนั้นจะทำให้เห็นภาพข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม ได้ชัดเจนมากกว่าในรายเดือน ใน Figure 4 ได้แสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนดแซท 8 ในปี พ.ศ. 2558 โดยจำแนกอุณหภูมิพื้นผิวออกเป็น 6 กลุ่มคือ 0-7, 8-14, 15-21, 22-28, 29-35 และ 36-42 องศาเซลเซียส

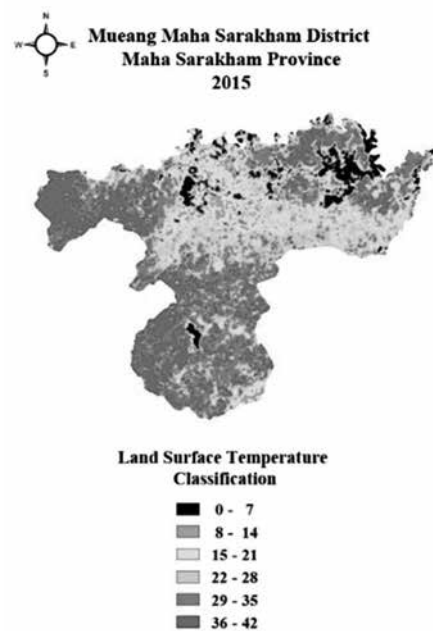


Figure 4 Land surface temperatures in 2015

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในการศึกษาได้นำข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนของดาวเทียมแลนด์แซท 8 กับข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาโดยข้อมูลอุณหภูมิที่อยู่ระยะเวลาเดียวกันคืออยู่ในช่วงเดือนเดียวกันและปีเดียวกันมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ทั้งนี้กรมอุตุนิยมวิทยาทุกสถานีตรวจวัดจะทำการตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาตามเวลาที่กำหนดไว้พร้อมกันทั่วโลก โดยการตรวจวัดข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยาจะถูกกำหนดโดย WMO การตรวจวัดอากาศตามมาตรฐานที่หน่วยงานอุตุนิยมวิทยาทำการตรวจสอบคือการตรวจวัดอากาศในระดับพื้นผิวดิน ณ สถานีตรวจอากาศ สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยาสถานีตรวจวัดจังหวัดมหาสารคามโดยผลของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในปี พ.ศ. 2558 สามารถแสดงได้ดัง Figure 5 ซึ่งพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้จากดาวเทียมช่วงคลื่นอินฟราเรดร้อนกับข้อมูลอุณหภูมิของกรมอุตุนิยมวิทยา มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2=0.838$ แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

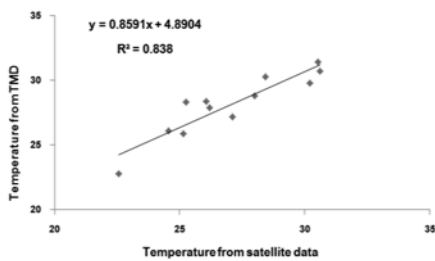


Figure 5 Relationship of the statistical data in 2015

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอประยุกต์ใช้ข้อมูลจากดาวเทียมแลนด์แซทเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิพื้นผิวในอำเภอเมืองมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม โดยสามารถสรุปได้ว่าในปี พ.ศ 2558 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากดาวเทียมแลนด์แซท 8 พบว่าอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 27.155 องศาเซลเซียส และข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยจากกรมอุตุนิยมวิทยามีอุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยรายปีอยู่ที่ 28.133 องศาเซลเซียส เมื่อนำข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาหาความสัมพันธ์ทางสถิติจึงได้สมการความสัมพันธ์ $y = 0.8591x + 4.8904$ มีค่าสัมประสิทธิ์กำหนด $R^2 = 0.838$ ซึ่งแสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ทั้งนี้ยังพบว่าที่อุณหภูมิพื้นผิวมีค่าแตกต่างจากค่าข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาในบางข้อมูลนั้น เนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียมมีปริมาณ

เมฆปกคลุมสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลจากดาวเทียมมีปริมาณเมฆปกคลุมมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่า วิธีการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวจากข้อมูลดาวเทียมนั้นมีความน่าเชื่อถือ คณะผู้วิจัยจะได้นำวิธีในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวด้วยข้อมูลจากดาวเทียมดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปรากฏการเกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island) ในจังหวัดมหาสารคาม ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ อาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง รวมถึงครูบาอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทุก ๆ ท่าน

เอกสารอ้างอิง

1. IPCC, Assessment Report, Online Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/> (วันที่ค้นข้อมูล 31 มกราคม 2559).
2. Glantz M.H. Currents of change: impacts of El Nino and La Nina on climate and society. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
3. ณรงค์นาค อยู่ประสิทธิ์วงศ์ และชลาชัย แจ่มผล. การผันแปรของปริมาณและอุณหภูมิในประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กลุ่มภูมิอากาศ, สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา. 2544.
4. สาวิตรี จันทรานุกฤษ. ฤกษ์จะเป็นจุดจบของโลก. <http://pirun.ku.ac.th/~fagisvtc/buddhism/activity/activity/theEnd.htm> (วันที่ค้นข้อมูล: 31 มกราคม 2559).
5. กรมอุตุนิยมวิทยา. สรุปสภาวะอากาศทั่วไปในรอบปี พ.ศ. 2558. ออนไลน์ <http://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=5> (วันที่ค้นข้อมูล: 28 มกราคม 2559).
6. U.S. Geological Survey. Landsat 8. ออนไลน์ <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>. 2016. (วันที่ค้นข้อมูล: 20 มกราคม 2559).
7. ชีรวงศ์ เหล่าสุวรรณ. เทคโนโลยีอวกาศประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. มหาสารคาม : ตักศิลาการพิมพ์. 2557.
8. Yale University. Converting Digital Numbers to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. ออนไลน์ http://www.yale.edu/ceo/Documentation/Landsat_DN_to_Reflectance.pdf. (วันที่ค้น ข้อมูล: 11 กุมภาพันธ์ 2559).
9. Claudio Parente. TOA reflectance and NDVI calcula-

- tion for Landsat 7 ETM+ images of Sicily. The 2nd Electronic International Interdisciplinary Conference. 2015.
10. Teerawong Laosuwan & Pornchai Uttaruk. Estimating Tree Biomass via Remote Sensing, MSAVI 2, and Fractional Cover Model. IETE Technical Review. 31(5): 362-368; 2014.
 11. Teerawong Laosuwan and Yannawut Uttaruk. Estimating Above Ground Carbon Capture Using Remote Sensing Technology in Small Scale Agro Forestry Areas. Agriculture & Forestry, 62 (2): 253-262; 2016.
 12. Yale University. Center for Earth Observation.ออนไลน์ <http://yceo.yale./how-convert-land-sat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance> (วันที่ค้นข้อมูล 11 กุมภาพันธ์ 2559).
 13. Skokovic.D, Sobrino.J.A, Jimenez-Munoz.J.C, Soria.G, Julien.Y, Mattar.C and Jordi Cristobal. Calibration and Validation of Land Surface Temperature for Landsat 8 – TIRS Sensor, Land product Validation and Evolution. ESA/ESRIN Frascati (Italy), pp 6-9. 2014.
 14. Jimenez-Munoz, J.C.; Sobrino, J.A.; Skokovic, D.; Mattar, C.; Cristobal, J. Land surface temperature retrieval methods from landsat-8 thermal infrared sensor data. Geosci. Remote Sens. Lett. IEEE, 11, 1840–1843; 2014.
 15. Li B, Ti C, Zhao Y, Yan X. Estimating Soil Moisture with Landsat Data and Its Application in Extracting the Spatial Distribution of Winter Flooded Paddies. Remote Sensing. 8(1):38; 2016.

สมบัติของพื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

The properties of area of a Nine-Point Circle of an Archimedes' Triangle

ปิญโญ มนุสสิลป์¹, ยูพอร์ รีมชอลการ²

Pinyo Manoosilp¹, Yuporn Rimcholakarn²

Received: 17 March 2017 ; Accepted: 24 August 2017

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพื้นที่วงกลมเก้าจุดกับพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสและความสัมพันธ์ของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์กับพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ผลจากการศึกษาพบว่าพื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสเท่ากับ $1/4$ เท่าของพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสและพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์เท่ากับ $1/4$ เท่าของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

คำสำคัญ : วงกลมเก้าจุด รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์

Abstract

This study reports the relationship between the area of a Nine-Point Circle and the area of the circumscribed circle of an Archimedes' triangle and also the relationship between the area of Euler triangle and the area of an Archimedes' triangle. The results were: the area of a Nine-Point Circle of an Archimedes' triangle is $1/4$ times the area of the circumscribed circle of an Archimedes' triangle and the area of Euler triangle is $1/4$ times the area of an Archimedes' triangle.

Keywords: Nine-Point Circle, Archimedes' triangle, Euler triangle

บทนำ

วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมถูกค้นพบโดย Leonhard Euler (1707-1783) ในปี ค.ศ. 1765 และได้ถูกศึกษาเพิ่มเติมโดย Karl Feuerbach (1800-1834) เป็นวงกลมที่มีเส้นรอบวงลากผ่านจุดเก้าจุด คือจุดกึ่งกลางของด้านของรูปสามเหลี่ยมสามจุด จุดที่เกิดจากเส้นตรงซึ่งลากจากจุดยอดมุมมาตั้งฉากกับด้านตรงข้ามของรูปสามเหลี่ยมสามจุดและจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์ถึงจุดยอดมุมของรูปสามเหลี่ยมอีกสามจุด^{1,2}

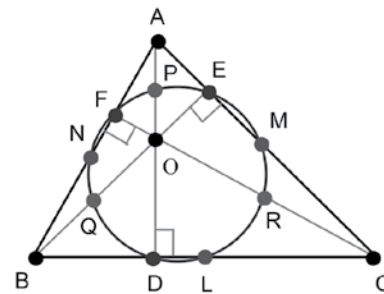


Figure 1 Nine-Point Circle of Triangle

¹ รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

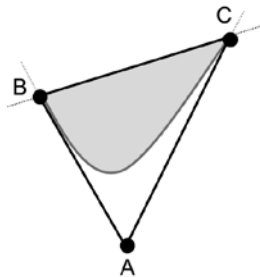
² รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Assoc. Prof., Faculty of Science and Technology Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand.

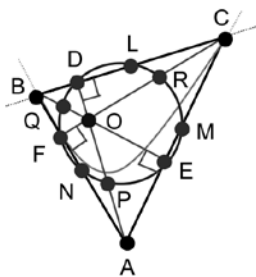
² Assoc. Prof., Faculty of Science and Technology Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok 65000, Thailand.

^{*} Corresponding author; Pinyo Manoosilp Faculty of Science and Technology Loei Rajabhat University, Loei 42000, Thailand. e-mail : manoosilp@yahoo.co.th

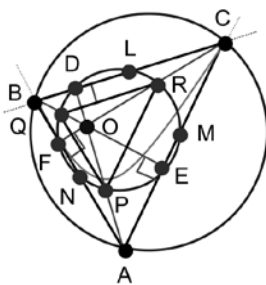
Archimedes (287-212 ปีก่อนคริสต์ศักราช) ได้สร้าง เซกเมนต์พาราโบล่าอันเป็นอาณาบริเวณซึ่งถูกปิดล้อมด้วย โค้งพาราโบล่าและคอร์ดที่ลากเชื่อมจุดสองจุดบนโค้งพาราโบล่า นั้นอีกทั้งได้กำหนดรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสขึ้นโดยเป็น รูปสามเหลี่ยมที่มีฐานเป็นคอร์ดของเซกเมนต์พาราโบล่าและมีด้านสองด้านเป็นเส้นสัมผัสโค้งพาราโบล่าที่จุดปลายทั้งสองของคอร์ด^๑ เรียกชื่อวงกลมที่มีเส้นรอบวงผ่านจุดทั้งเก้าของ รูปสามเหลี่ยมนี้ว่าวงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส



(2.1)



(2.2)



(2.3)

Figure 2 Nine-Point Circle of Archimedes' Triangle

รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC มีฐานเป็นคอร์ด BC ของเซกเมนต์พาราโบล่า โดยที่ด้าน AB และ AC เป็นเส้นสัมผัสโค้งพาราโบล่าที่จุด B และ C (Figure 2.1) วงกลมเก้า

จุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสคือวงกลมที่มีเส้นรอบวงผ่านจุด D, L, R, M, E, P, F, N และ Q (Figure 2.2) โดยภาพที่ 2.3 เป็นการแสดงถึงวงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC และรูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ PQR

การอยู่ร่วมกันของจุดทั้งเก้าบนเส้นรอบวงของวงกลมเดียวกันได้รับการพิสูจน์ไว้อย่างน่าสนใจ^{1,3,6,8} ด้วยเหตุที่วงกลมเก้าจุดและรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสมีโครงสร้างที่สัมพันธ์กันดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งค้นหาข้อเท็จจริงเกี่ยวกับสมบัติเชิงพื้นที่ระหว่างวงกลมเก้าจุด วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสและรูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ ทั้งนี้เพื่อเป็นการขยายขอบเขตความรู้ให้กว้างขวางและลึกซึ้งยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของพื้นที่วงกลมเก้าจุดกับพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส และความสัมพันธ์ของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์กับพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงสมบัติเกี่ยวกับพื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์และรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสโดยศึกษาเชิงเรขาคณิตวิเคราะห์ในระบบพิกัดฉาก

พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

บทนิยาม 1 เซกเมนต์พาราโบล่าของอาร์คิมิดีส (Archimedes' Parabolic Segment) หมายถึงอาณาบริเวณที่ถูกปิดล้อมด้วยโค้งพาราโบล่าและคอร์ดที่ลากเชื่อมจุดสองจุดซึ่งอยู่บนโค้งพาราโบลานั้น

บทนิยาม 2 รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส (Archimedes' Triangle) หมายถึง รูปสามเหลี่ยมที่มีฐานเป็นคอร์ดของเซกเมนต์พาราโบล่าของอาร์คิมิดีสและมีด้านสองด้านเป็นเส้นสัมผัสโค้งพาราโบล่าที่จุดปลายทั้งสองของคอร์ด^๑

เซกเมนต์พาราโบล่า ABC เกิดจาก เส้นตรง $y = mx + c$ ตัดกับโค้งพาราโบล่า $y = ax^2$ ที่จุด B และ C ตามลำดับ รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC มีคอร์ด BC เป็นฐาน มีด้าน AB และ AC ซึ่งเกิดจากเส้นสัมผัสโค้งพาราโบล่าที่จุด B และ C ตามลำดับลากมาตัดกันที่จุด A

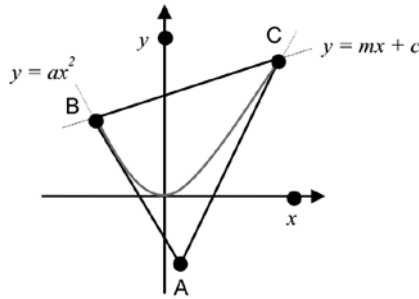


Figure 3 Co-ordinate of Archimedes' Triangle

ต้องการหา พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

การหาพิกัดของจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

เนื่องจาก จุด B และ C เป็นจุดตัดของพาราโบลา $y = ax^2$ และ เส้นตรง $y = mx + c$

จะได้ พิกัดของ จุด C คือ
$$\left(\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right)$$

พิกัดของ จุด B คือ
$$\left(\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right)$$

เนื่องจาก เส้นตรง AB และ AC เป็นเส้นสัมผัสกับ พาราโบลา $y = ax^2$ ที่จุด B และ C

ความชันของเส้นสัมผัสโค้งพาราโบลา คือ $\frac{d(y)}{dx} = 2ax$

ความชันของเส้นตรง AB
$$= 2a \left(\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} \right)$$

$$= m - \sqrt{m^2 + 4ac}$$

ความชันของเส้นตรง AC
$$= 2a \left(\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} \right)$$

$$= m + \sqrt{m^2 + 4ac}$$

ดังนั้น สมการของเส้นตรง AB คือ

$$y - \left(\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right) = (m - \sqrt{m^2 + 4ac}) \left(x - \frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} \right)$$

$$y = (m - \sqrt{m^2 + 4ac})x + \left(\frac{m\sqrt{m^2 + 4ac} - m^2 - 2ac}{2a} \right) \tag{1}$$

สมการของเส้นตรง AC คือ

$$y - \left(\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right) = (m + \sqrt{m^2 + 4ac}) \left(x - \frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} \right)$$

$$y = (m + \sqrt{m^2 + 4ac})x - \left(\frac{m\sqrt{m^2 + 4ac} + m^2 + 2ac}{2a} \right) \tag{2}$$

พิกัดจุด A ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นตรง AB และ AC หาได้จาก (1) - (2) ดังนี้

$$2(\sqrt{m^2+4ac})x = \left(\frac{m\sqrt{m^2+4ac}-m^2-2ac}{2a}\right) + \left(\frac{m\sqrt{m^2+4ac}+m^2+2ac}{2a}\right)$$

$$x = \frac{m}{2a}$$

แทนค่า x ใน (1) จะได้

$$y = (m - \sqrt{m^2+4ac})\left(\frac{m}{2a}\right) + \left(\frac{m\sqrt{m^2+4ac}-m^2-2ac}{2a}\right)$$

$$y = -c$$

จะได้ว่า พิกัดของ จุด A คือ $\left(\frac{m}{2a}, -c\right)$

การหาพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

ให้ Ω แทน พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC สามารถหาพื้นที่ได้จากพิกัดของจุดยอดมุมทั้งสาม ดังนี้

จะได้

$$\Omega = \left(\frac{1}{2}\right) \begin{vmatrix} \frac{m-\sqrt{m^2+4ac}}{2a} & \frac{m^2-m\sqrt{m^2+4ac}+2ac}{2a} \\ \frac{m+\sqrt{m^2+4ac}}{2a} & \frac{m^2+m\sqrt{m^2+4ac}+2ac}{2a} \\ \frac{m-\sqrt{m^2+4ac}}{2a} & -c \end{vmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} \left| \left[\frac{m^3-2acm-(m^2+4ac)\sqrt{m^2+4ac}}{4a^2} \right] - \left[\frac{m^3-2acm+(m^2+4ac)\sqrt{m^2+4ac}}{4a^2} \right] \right|$$

$$= \frac{1}{2} \left| \left[\frac{-2(m^2+4ac)\sqrt{m^2+4ac}}{4a^2} \right] \right|$$

$$= \frac{(m^2+4ac)\sqrt{m^2+4ac}}{4a^2} = \text{ตารางหน่วย}$$

นั่นคือ พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เท่ากับ $\frac{(m^2+4ac)\sqrt{m^2+4ac}}{4a^2}$ ตารางหน่วย

พื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

บทนิยาม 3 จุดศูนย์กลางวงล้อมของรูปสามเหลี่ยม (Circumcenter of Triangle) หมายถึง จุดตัดของเส้นตรงที่แบ่งครึ่งและตั้งฉาก (Perpendicular Bisectors) กับด้านทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมนั้น⁴

รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เกิดจาก เส้นตรง $y = mx + c$ ตัด โค้งพาราโบลา $y = ax^2$ ที่จุด B และ C มีคอร์ด AB เป็นฐานโดยที่ด้าน AB และ AC เป็นเส้นสัมผัสโค้งพาราโบลาที่จุด B และ C ตัดกันที่จุด A ให้จุด S, U และ V เป็นจุดกึ่งกลางของด้าน BC, AC และ AB ตามลำดับ

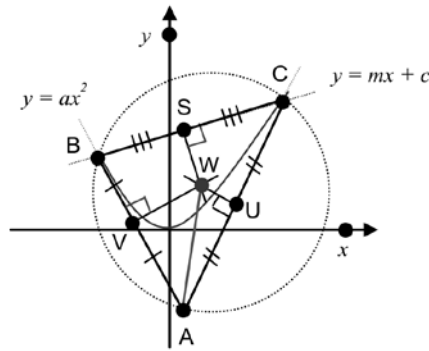


Figure 4 Circumcenter and Radius of Circumcircle of Archimedes' Triangle

ต้องการหา พื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

การหาพิกัดของจุดศูนย์กลางวงล้อมรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

ลากเส้นตั้งฉากจากจุด V และ U ตัดกันที่จุด W ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางวงล้อมรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC สามารถหาพิกัดได้ ดังนี้

เนื่องจาก พิกัดของจุด B คือ
$$\left(\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right)$$

พิกัดของจุด A คือ
$$\left(\frac{m}{2a}, -c \right)$$

พิกัดของจุด V ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของด้าน AB หาได้จาก
$$x = \frac{\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} + \frac{m}{2a}}{2}$$

$$= \frac{2m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a}$$

$$y = \frac{\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} + (-c)}{2}$$

$$= \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a}$$

ดังนั้น พิกัดของจุด V คือ
$$\left(\frac{2m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a}, \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right)$$

จะได้ ความชันของเส้นตรง AB =
$$\frac{\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} - (-c)}{\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} - \frac{m}{2a}}$$

$$= m - \sqrt{m^2 + 4ac}$$

เพราะว่า เส้นตรง VW ตั้งฉากกับเส้นตรง AB จะได้ ความชันของเส้นตรง VW =
$$-\left(\frac{1}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}} \right)$$

ดังนั้น สมการของเส้นตรง VW คือ

$$\begin{aligned}
 y - \left[\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] &= \left[\frac{1}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}} \right] \left[x - \left(\frac{2m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right) \right] \\
 y &= \left[\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] - \left[\frac{x}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}} \right] + \left[\frac{2m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{(m - \sqrt{m^2 + 4ac})(4a)} \right] \quad \text{----- (3)}
 \end{aligned}$$

พิกัดของจุด U ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของด้าน AC หาได้จาก $x = \frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} + \frac{m}{2a}$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \\
 y &= \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} + (-c) \\
 &= \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น พิกัดของจุด U คือ $\left(\frac{2m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a}, \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right)$

เนื่องจาก พิกัดของจุด C คือ $\left(\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} \right)$

พิกัดของจุด A คือ $\left(\frac{m}{2a}, -c \right)$

จะได้ ความชันของเส้นตรง AC = $\frac{\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a} - (-c)}{\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a} - \frac{m}{2a}}$

$$= m + \sqrt{m^2 + 4ac}$$

เนื่องจาก เส้นตรง UW ตั้งฉากกับเส้นตรง AC จะได้ ความชันของเส้นตรง UW = $-\left(\frac{1}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}} \right)$

ดังนั้นสมการเส้นตรง UW คือ

$$\begin{aligned}
 y - \left[\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] &= \left[\frac{1}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}} \right] \left[x - \left(\frac{2m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right) \right] \\
 y &= \left[\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] - \left[\frac{x}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}} \right] + \left[\frac{2m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{(m + \sqrt{m^2 + 4ac})(4a)} \right] \quad \text{----- (4)}
 \end{aligned}$$

พิกัดของจุด W ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นตรง VW และ UW หาได้จาก (3) - (4)

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{-2\sqrt{m^2 + 4ac}}{-4ac} \right) x &= \left[\frac{2m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] + \left[\frac{-4m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2m\sqrt{m^2 + 4ac}}{(m^2 - m^2 - 4ac)(4a)} \right] \\
 x &= \frac{4acm + m}{4a}
 \end{aligned}$$

แทนค่า x ใน (3) จะได้

$$y = \left[\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a} \right] - \left[\frac{4acm + m}{4a} \right] + \left[\frac{2m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{(m - \sqrt{m^2 + 4ac})(4ac)} \right]$$

$$= \frac{2m^2 + 1}{4a}$$

จะได้ พิกัดของ จุด W คือ $\left(\frac{4acm + m}{4a}, \frac{2m^2 + 1}{4a} \right)$

การหาความยาวของรัศมีวงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

เนื่องจากเส้นตรง AW เป็นรัศมีวงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC ความยาวของรัศมี AW สามารถหาได้ ดังนี้

$$|AW| = \sqrt{\left[\left(\frac{4acm + m}{4a} \right) - \left(\frac{m}{2a} \right) \right]^2 + \left[\left(\frac{2m^2 + 1}{4a} \right) - (-c) \right]^2}$$

$$= \sqrt{\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{16a^2}} \text{ หน่วย}$$

การหาพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

ให้ G แทน พื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

$$G = (\pi) \left[\sqrt{\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{16a^2}} \right]^2$$

$$= (\pi) \left(\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{16a^2} \right) \text{ ตารางหน่วย}$$

นั่นคือ พื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เท่ากับ

$$(\pi) \left(\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{16a^2} \right) \text{ ตารางหน่วย}$$

จุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยม

บทนิยาม 4 จุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยม (Orthocenter of Triangle) หมายถึง จุดตัดของเส้นตรงที่ลากจากจุดยอดมุมมาตั้งฉากกับด้านตรงข้าม (Altitude) ทั้งสามของรูปสามเหลี่ยม⁴

การหาพิกัดของจุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เกิดจากเส้นตรง $y = mx + c$ ตัดโค้งพาราโบลา $y = ax^2$ ที่จุด B และ C โดยมีคอร์ด BC เป็นฐานและจุด A เป็นจุดยอด ให้จุด O เป็นจุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรง AD, BE และ CF ซึ่งเป็นเส้นที่ลากจากมุมยอดมาตั้งฉากกับด้าน BC, AC และ AB ที่จุด D, E และ F ตามลำดับ

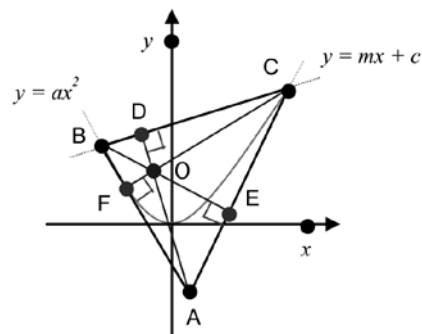


Figure 5 Orthocenter of Archimedes' Triangle

ต้องการหา พิกัดของจุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เนื่องจาก เส้นตรง AC มีความชันเท่ากับ $m + \sqrt{m^2 + 4ac}$

ดังนั้น ความชันของเส้นตรง BE ซึ่งตั้งฉากกับเส้นตรง AC เท่ากับ $-\left(\frac{1}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}\right)$

เนื่องจาก พิกัดของ จุด B คือ $\left(\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right)$

จะได้ สมการของเส้นตรง BE คือ

$$\begin{aligned} y - \left[\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right] &= -\left[\frac{1}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}\right] \left[x - \left(\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}\right)\right] \\ y &= \left[\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right] - \left[\frac{x}{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}\right] + \left[\frac{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}{(2a)(m + \sqrt{m^2 + 4ac})}\right] \end{aligned} \quad \text{----- (5)}$$

เนื่องจาก เส้นตรง AB มีความชันเท่ากับ $m - \sqrt{m^2 + 4ac}$

ดังนั้น ความชันของเส้นตรง CF ซึ่งตั้งฉากกับเส้นตรง AB เท่ากับ $-\left(\frac{1}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}\right)$

เนื่องจาก พิกัดของจุด C คือ $\left(\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}, \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right)$

จะได้ สมการของเส้นตรง CF คือ

$$\begin{aligned} y - \left[\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right] &= -\left[\frac{1}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}\right] \left[x - \left(\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}\right)\right] \\ y &= \left[\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right] - \left[\frac{x}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}\right] + \left[\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{(2a)(m - \sqrt{m^2 + 4ac})}\right] \end{aligned} \quad \text{----- (6)}$$

พิกัดของจุด O ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นตรง BE และ CF หาได้จาก (6) - (5) ดังนี้

$$\begin{aligned} \left(\frac{-2\sqrt{m^2 + 4ac}}{-4ac}\right) x &= \left[\frac{-2m\sqrt{m^2 + 4ac}}{2a}\right] + \left[\frac{-4m\sqrt{m^2 + 4ac}}{(-8a^2c)}\right] \\ x &= \frac{m - 2acm}{a} \end{aligned}$$

แทนค่า x ใน (6) จะได้

$$\begin{aligned} y &= \left[\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac}{2a}\right] - \left[\frac{\frac{m - 2acm}{a}}{m - \sqrt{m^2 + 4ac}}\right] + \left[\frac{m + \sqrt{m^2 + 4ac}}{(2a)(m - \sqrt{m^2 + 4ac})}\right] \\ &= \frac{(m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 2ac)(m - \sqrt{m^2 + 4ac}) - 2(m - 2acm) + (m + \sqrt{m^2 + 4ac})}{(2a)(m - \sqrt{m^2 + 4ac})} \\ &= \frac{2ac - 1}{2a} \end{aligned}$$

จะได้ พิกัดของจุด O คือ $\left(\frac{m - 2acm}{a}, \frac{2ac - 1}{2a}\right)$

นั่นคือ พิกัดของจุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC อยู่ที่ $O\left(\frac{m - 2acm}{a}, \frac{2ac - 1}{2a}\right)$

การหาพิกัดของจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

เส้นตรง $y = mx + c$ ตัดโค้งพาราโบลา $y = ax^2$ ที่จุด B และ C ทำให้เกิดรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC ซึ่งมีคอร์ด BC เป็นฐานและมีจุด A เป็นจุดยอด โดยมีจุด O เป็นจุดออร์โทเซนเตอร์ให้จุด P, Q และ R เป็นจุดกึ่งกลางระหว่างเส้นตรง AO, BO และ CO ตามลำดับ

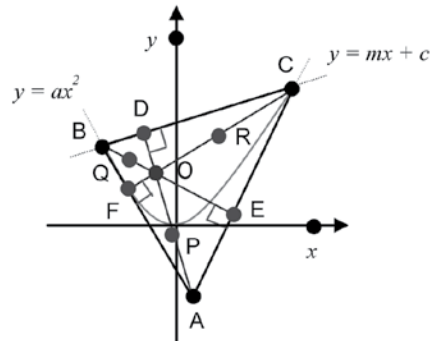


Figure 6 Mid-point between Orthocenter and Vertex of Archimedes' Triangle

ต้องการหา พิกัดจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เนื่องจาก พิกัดของจุดออร์โทเซนเตอร์ของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC คือ $O \left(\frac{m-2acm}{a}, \frac{2ac-1}{2a} \right)$

พิกัดของจุด P ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด A และ O หาได้จาก

$$x = \frac{\frac{m}{2a} + \frac{m-2acm}{a}}{2} = \frac{3m-4acm}{4a}$$

$$y = \frac{(-c) + \frac{2ac-1}{2a}}{2} = -\frac{1}{4a}$$

ดังนั้น พิกัดของ จุด P คือ $\left(\frac{3m-4acm}{4a}, -\frac{1}{4a} \right)$ และด้วยวิธีการเช่นเดียวกันจะได้

พิกัดของจุด Q ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด B และ O คือ $\left(\frac{3m-\sqrt{m^2+4ac}-4acm}{4a}, \frac{m^2-m\sqrt{m^2+4ac}+4ac-1}{4a} \right)$

พิกัดของจุด R ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด C และ O คือ $\left(\frac{3m+\sqrt{m^2+4ac}-4acm}{4a}, \frac{m^2+m\sqrt{m^2+4ac}+4ac-1}{4a} \right)$

นั่นคือ พิกัดของจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

อยู่ที่

$$P \left(\frac{3m-4acm}{4a}, -\frac{1}{4a} \right)$$

$$Q \left(\frac{3m-\sqrt{m^2+4ac}-4acm}{4a}, \frac{m^2-m\sqrt{m^2+4ac}+4ac-1}{4a} \right)$$

$$R \left(\frac{3m+\sqrt{m^2+4ac}-4acm}{4a}, \frac{m^2+m\sqrt{m^2+4ac}+4ac-1}{4a} \right)$$

วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส สกับรูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์

บทนิยาม 5 วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยม (Nine-Point Circle of Triangle) หมายถึง วงกลมที่มีเส้นรอบวงลาก

ผ่านจุดกึ่งกลางของด้านทั้งสาม จุดที่เกิดจากเส้นตรงซึ่งลากจากจุดยอดมุมมาตั้งฉากกับด้านตรงข้ามทั้งสามและจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมที่กำหนดให้

บทนิยาม 6 วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส (Nine-Point Circle of Archimedes' Triangle) หมายถึง วงกลมที่มีเส้นรอบวงลากผ่านจุดกึ่งกลางของด้านทั้งสาม จุดที่เกิดจากเส้นตรงซึ่งลากจากจุดยอดมุมมาตั้งฉากกับด้านตรงข้ามทั้งสามและจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

บทนิยาม 7 รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ (Euler Triangle) หมายถึง รูปสามเหลี่ยมที่มีจุดยอดมุมอยู่บนจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส¹⁰

พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์

วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC มีเส้นรอบวงผ่านจุด D, L, R, M, E, P, F, N และ Q ตามลำดับ ให้รูปสามเหลี่ยม PQR เป็นรูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ที่มีจุดยอดอยู่ที่จุด P, Q และ R ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุดออร์โทเซนเตอร์กับจุดยอดมุมทั้งสามของรูปสามเหลี่ยม ABC

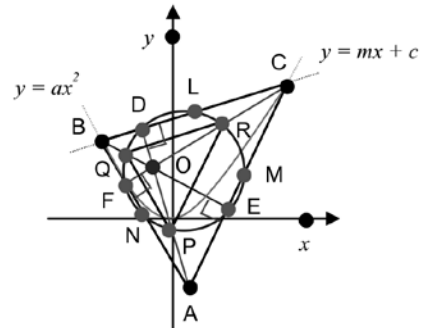


Figure 7 Nine-Point Circle of Archimedes' Triangle and Euler Triangle

ต้องการหา พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ PQR

ให้ δ แทน พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ PQR สามารถหาพื้นที่จากพิกัดของจุดยอดมุมทั้งสามได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \delta &= \left(\frac{1}{2} \right) \begin{vmatrix} \frac{3m - \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a} & \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a} \\ \frac{3m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a} & \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a} \\ \frac{3m - 4acm}{4a} & -\frac{1}{4a} \\ \frac{3m - \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a} & \frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a} \end{vmatrix} \\ &= \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \left[\frac{5m^3 - 9m + 32acm - 8acm^3 - 32a^2c^2m^2 - (m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{16a^2} \right] \\ - \left[\frac{5m^3 - 9m + 32acm - 8acm^3 - 32a^2c^2m^2 + (m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{16a^2} \right] \end{vmatrix} \\ &= \frac{1}{2} \left| \left[\frac{-2(m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{16a^2} \right] \right| = \text{ตารางหน่วย} \end{aligned}$$

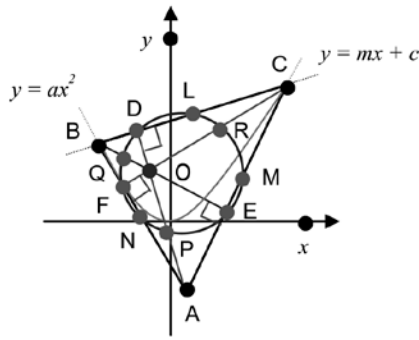
นั่นคือ พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ PQR เท่ากับ $\frac{(m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{16a^2}$ ตารางหน่วย

พื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

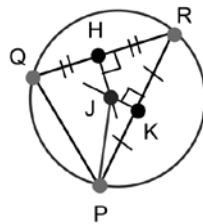
การหาพิกัดของจุดศูนย์กลางและรัศมีวงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC มีเส้นรอบวงผ่านจุด D, L, R, M, E, P, N, F และ Q ตามลำดับ

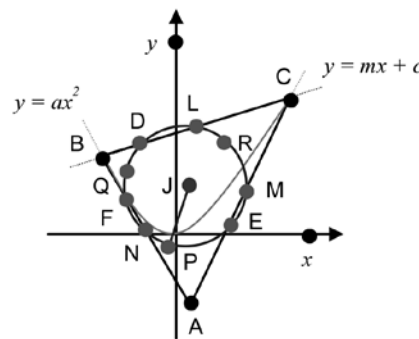
เมื่อจุด L, M และ N เป็นจุดกึ่งกลางของด้าน BC, AC และ AB โดยที่จุด D, E และ F เป็นจุดที่เกิดจากเส้นตรงซึ่งลากจากจุดยอดมุมของรูปสามเหลี่ยม ABC มาตั้งฉากกับด้าน BC, AC และ AB มีจุด O เป็นจุดออร์โทเซนเตอร์ และให้จุด P, Q และ R เป็นจุดกึ่งกลางของระยะ AO, BO และ CO ตามลำดับ (Figure 8.1)



(8.1)



(8.2)



(8.3)

Figure 8 Area of Nine-Point Circle of Archimedes' Triangle

ต้องการหา พื้นที่วงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

การหาพิกัดของจุดศูนย์กลางวงกลมเก้าจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

สร้างรูปสามเหลี่ยม PQR แนบในวงกลมเก้าจุด ลากเส้นตั้งฉากจากจุด H และ K ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของด้าน QR และ PR ตามลำดับให้ตัดกันที่จุด J (Figure 8.2)

พิกัดของจุด H ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด Q และ R หาได้จาก

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{\frac{3m - \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a} + \frac{3m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a}}{2} \\
 &= \frac{3m - 4acm}{4a} \\
 y &= \frac{\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a} + \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a}}{2} \\
 &= \frac{m^2 + 4ac - 1}{4a}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น พิกัดของจุด H คือ $\left(\frac{3m - 4acm}{4a}, \frac{m^2 + 4ac - 1}{4a}\right)$

$$\begin{aligned} \text{ความชันของเส้นตรง QR} &= \frac{\left(\frac{m^2 - m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a}\right) - \left(\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a}\right)}{\left(\frac{3m - \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a}\right) - \left(\frac{3m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a}\right)} \\ &= m \end{aligned}$$

เนื่องจาก เส้นตรง HJ ตั้งฉากกับเส้นตรง QR ดังนั้น ความชันของเส้นตรง HJ = $-\frac{1}{m}$
 จะได้ สมการเส้นตรง HJ คือ $y - \left(\frac{m^2 + 4ac - 1}{4a}\right) = -\frac{1}{m} \left[x - \left(\frac{3m - 4acm}{4a}\right) \right]$ ----- (7)

$$y = -\frac{x}{m} + \left(\frac{m^2 + 2}{4a}\right)$$

พิกัดของจุด K ซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางระหว่างจุด P และ R หาได้จาก $x = \frac{\frac{3m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a} + \frac{3m - 4acm}{4a}}{2}$

$$= \frac{6m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 8acm}{8a}$$

$$y = \frac{\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a} + \left(-\frac{1}{4a}\right)}{2}$$

$$= \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 2}{8a}$$

ดังนั้น พิกัดของจุด K คือ $\left(\frac{6m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 8acm}{8a}, \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 2}{8a}\right)$

$$\begin{aligned} \text{ความชันของเส้นตรง PR} &= \frac{\left(\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 1}{4a}\right) - \left(-\frac{1}{4a}\right)}{\left(\frac{3m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 4acm}{4a}\right) - \left(\frac{3m - 4acm}{4a}\right)} \\ &= \frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac}{\sqrt{m^2 + 4ac}} \end{aligned}$$

เนื่องจาก เส้นตรง KJ ตั้งฉากกับเส้นตรง PR

ดังนั้น ความชันของเส้นตรง KJ = $-\left(\frac{\sqrt{m^2 + 4ac}}{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac}\right)$

สมการเส้นตรง KJ คือ

$$\begin{aligned} y - \left(\frac{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac - 2}{8a}\right) &= -\left(\frac{\sqrt{m^2 + 4ac}}{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac}\right) \left[x - \left(\frac{6m + \sqrt{m^2 + 4ac} - 8acm}{8a}\right) \right] \\ y &= -\left(\frac{\sqrt{m^2 + 4ac}}{m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac}\right) x \\ &+ \left[\frac{4m\sqrt{m^2 + 4ac} - m^2 - 4ac + 2m^4 + 2m^3\sqrt{m^2 + 4ac} + 12acm^2 + 16a^2c^2}{8a(m^2 + m\sqrt{m^2 + 4ac} + 4ac)} \right] \end{aligned} \text{----- (8)}$$

พิกัดของจุด J ซึ่งเป็นจุดตัดของเส้นตรง HJ และ KJ หาได้จาก (7) – (8)

$$\begin{aligned} -\left[\frac{m^2+4ac}{m(m^2+m\sqrt{m^2+4ac}+4ac)}\right]x &= \frac{16a^2c^2-5m^2+4acm^2-20ac}{8a(m^2+m\sqrt{m^2+4ac}+4ac)} \\ x &= \frac{5m-4acm}{8a} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } x \text{ ใน (7) จะได้ } y &= -\left[\frac{5m-4acm}{8a(m)}\right] + \left(\frac{m^2+2}{4a}\right) \\ &= \frac{2m^2+4ac-1}{8a} \end{aligned}$$

ดังนั้น พิกัดของจุดศูนย์กลางวงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC อยู่ที่

$$J\left(\frac{5m-4acm}{8a}, \frac{2m^2+4ac-1}{8a}\right)$$

การหาความยาวของรัศมีวงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

เนื่องจากเส้นตรง PJ เป็นรัศมีวงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC (Figure 8.3) ความยาวของรัศมี PJ สามารถหาได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} |PJ| &= \sqrt{\left[\left(\frac{5m-4acm}{8a}\right) - \left(\frac{3m-4acm}{4a}\right)\right]^2 + \left[\left(\frac{2m^2+4ac-1}{8a}\right) - \left(-\frac{1}{4a}\right)\right]^2} \\ &= \sqrt{\frac{4m^4+5m^2+8acm^2+8ac+16a^2c^2+16a^2c^2m^2+1}{64a^2}} \end{aligned}$$

การหาพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

ให้ T แทนพื้นที่วงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

$$\begin{aligned} T &= (\pi) \left[\sqrt{\frac{4m^4+5m^2+8acm^2+8ac+16a^2c^2+16a^2c^2m^2+1}{64a^2}} \right]^2 \\ &= (\pi) \left(\frac{4m^4+5m^2+8acm^2+8ac+16a^2c^2+16a^2c^2m^2+1}{64a^2} \right) \text{ ตารางหน่วย} \end{aligned}$$

นั่นคือ พื้นที่วงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC เท่ากับ

$$(\pi) \left(\frac{4m^4+5m^2+8acm^2+8ac+16a^2c^2+16a^2c^2m^2+1}{64a^2} \right) \text{ ตารางหน่วย}$$

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแสดงถึงสมบัติและความสัมพันธ์เกี่ยวกับพื้นที่วงกลมแก้อจุดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส พื้นที่

วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสและพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ ดังต่อไปนี้

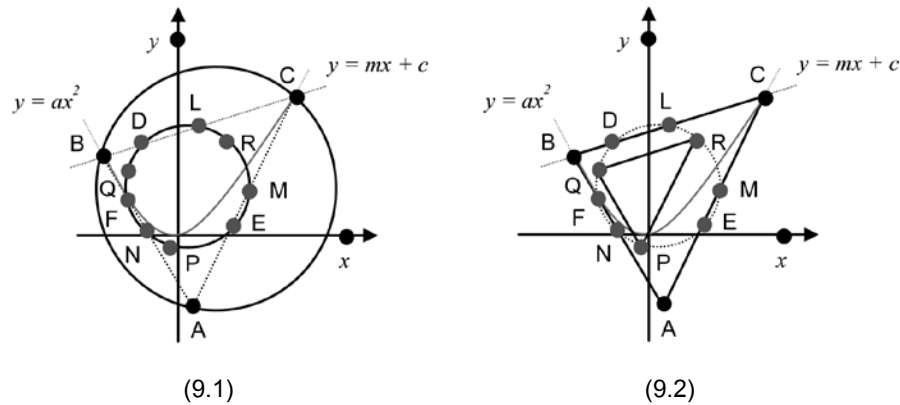


Figure 9 Properties about Area of Nine-Point Circle of Archimedes' Triangle

ความสัมพันธ์ของพื้นที่วงกลมแก้อัดกับพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส
 พิจารณา Figure 9.1 ให้ T แทน พื้นที่วงกลมแก้อัดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC
 G แทน พื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ABC

$$\frac{|T|}{|G|} = \frac{(\pi) \left(\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{64a^2} \right)}{(\pi) \left(\frac{4m^4 + 5m^2 + 8acm^2 + 8ac + 16a^2c^2 + 16a^2c^2m^2 + 1}{16a^2} \right)} = \frac{1}{4}$$

นั่นคือ พื้นที่วงกลมแก้อัดของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสเท่ากับ 1/4 เท่าของพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

ความสัมพันธ์ของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์กับพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส
 พิจารณา Figure 9.2 ให้ δ แทน พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์
 Ω แทน พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

$$\frac{|\delta|}{|\Omega|} = \frac{\frac{(m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{16a^2}}{\frac{(m^2 + 4ac)\sqrt{m^2 + 4ac}}{4a^2}} = \frac{1}{4}$$

นั่นคือ พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์เท่ากับ 1/4 เท่าของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส

หมายเหตุ

ในการวิจัยครั้งนี้ได้แสดงการพิสูจน์เฉพาะกรณีที่กำหนด เส้นตรง $y = mx + c$ และ โค้งพาราโบลา $y = ax^2$ ในกรณีที่ m, c และ a มีค่าเป็นบวกเท่านั้น แต่ผลวิจัยนี้มีความครอบคลุมถึงกรณีที่ m, c และ a มีค่าเป็นลบด้วยเช่นกัน

วิจารณ์และสรุปผล

ผลจากการศึกษาค้นคว้าพบว่าพื้นที่วงกลมแก้อูของรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสเท่ากับ $1/4$ เท่าของพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสซึ่งผลวิจัยดังกล่าวแม้จะยังเป็นประเด็นที่ยังไม่พบการอ้างอิงโดยตรงจากนักวิชาการท่านอื่นมาก่อนแต่ก็อาจเทียบเคียงและกล่าวได้ว่ามีความสอดคล้องกับผลสรุปของ Coxeter. and Greitzer.² และ Hofstadter.⁷ ที่ได้อธิบายคุณลักษณะเชิงทฤษฎีของรัศมีของวงกลมแก้อูและรัศมีของวงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมในกรณีทั่วไปในหนังสือ Geometry Revisited และ From Euler to Ulam Discovery and Dissection of a Geometric Gem ไว้ว่า รัศมีของวงกลมแก้อูของรูปสามเหลี่ยมจะยาวเป็น $1/2$ เท่าของรัศมีของวงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมรูปนั้น จากผลสรุปดังกล่าวจะพบว่าหากนำรัศมีของวงกลมมาคำนวณเพื่อหาพื้นที่ของวงกลมทั้งสองแล้วก็จะพบความจริงที่ตรงกับผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้นักกล่าวคือพื้นที่วงกลมแก้อูเท่ากับ $1/4$ เท่าของพื้นที่วงกลมล้อมรอบรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีสนั่นเอง สำหรับผลวิจัยประเด็นต่อมาซึ่งพบว่า พื้นที่รูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์เท่ากับ $1/4$ เท่าของพื้นที่รูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ข้อค้นพบดังกล่าวถือเป็นผลสรุปใหม่ที่เป็นจริงในกรณีเฉพาะกับรูปสามเหลี่ยมของออยเลอร์ที่เกิดขึ้นภายใต้โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับรูปสามเหลี่ยมของอาร์คิมิดีส ถึงแม้ว่ายังไม่พบความสอดคล้องกับผลการศึกษานักวิชาการท่านอื่น ๆ ก่อนหน้านี้แต่ผลวิจัยดังกล่าวก็ได้รับการพิสูจน์ตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์ดังที่แสดงไว้แล้วในเบื้องต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณยิ่งสำหรับความอนุเคราะห์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ได้จัดสรรเงินทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้จนทุกอย่างบรรลุความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Bix R. Topics in geometry. San Diego: Academic Press, Inc; 1994.
2. Coxeter MHS, Greitzer LS. Geometry revisited. 7th ed. Washington, D.C.: The Mathematical Association of America; 1967.
3. Davis T. Four points on a circle. Available from: <http://www.geometer.org/mathcircles>. Accessed May 27, 2014.
4. Dunham W. Euler the master of us all. Washington, DC: The Mathematical Association of America; 1998.
5. Erbas KA. An explanatory approach to archimedes's quadrature of the parabola. Available from: <http://jwilson.coe.uga.edu/EMT668/EMAT6680.F99/Erbas/emat6690/essay1/essay1.html>. Accessed July 2, 2015.
6. Faucette WM. The nine-point circle. Available from: www.westga.edu/~faucette/research/Eulerline.pdf. Accessed May 24, 2014.
7. Hofstadter DR. From Euler to Ulam discovery and dissection of a geometric gem. Indiana: Indiana University; 1992.
8. Kay DC. College geometry a unified development. New York: CRC Press Taylor & Francis Group; 2011.
9. Woltermann M. Archimedes' squaring of parabola. Available from: www2.washjeff.edu/users/mwoltermann/Dorrie/56.pdf. Accessed January 31, 2014.
10. Yiu P. Introduction to the geometry of the triangle. Florida: Florida Atlantic University; 2001.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาผลงานพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ แต่ละเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถานให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษปนภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษควรได้รับความตรวจสอบที่ถูกต้องด้านการใช้ภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน
2. ขนาดของต้นฉบับ ใช้กระดาษขนาด A4 (8.5x11 นิ้ว) และพิมพ์โดยเว้นระยะห่างจากขอบกระดาษด้านละ 1 นิ้ว จัดเป็น 2 คอลัมน์
3. ชนิดของขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร Browallia New ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวปกติ หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด 16 pt. ตัวหนา หัวข้อรองใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา บทคัดย่อและเนื้อเรื่องใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา เชิงอรรถหน้าแรกที่เป็นชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ ใช้อักษรขนาด 12 pt. ตัวหนา
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rtf" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 15 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

บทความรายงานผลวิจัย ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

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

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

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

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

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

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

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

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

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. นกบริหาร 2547;24(2): 31-6

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppel AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, Biochem Pharmacol 1998;55:697-701

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

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

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

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

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

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. The Washington Post 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ ตั้งทีมพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. เดลินิวส์ 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

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

Preparation of manuscripts:

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

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

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

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

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

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

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

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

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

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

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

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

Submission of manuscripts

Manuscripts can be submitted to the Editorial Board, Department of Research Support and Development, Mahasarakham University, Khamriang Subdistrict, Kantarawichai District, Maha Sarakham Province, 44150. Tel: 0-43754416 or 0-43754416 ext. 1339. Fax: 0-43754416.
The author should submit the original paper and one copy together with a written disc.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

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

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

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

.....

.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

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

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ท่านสามารถส่งจ่ายธนาคณ์หรือตัวแลกเงิน สั่งจ่าย ปณ.ทำxonนยง ในนาม:

นางฉวีวรรณ อังครคະเศรชฐัฎง 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