



Volume 39 Number 1 January - February 2020

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

ISSN (Online Edition) : 2586-9795

Journal of

SCIENCE and TECHNOLOGY

MAHASARAKHAM UNIVERSITY

www.journal.msu.ac.th

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 39 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2563



ปีที่ 39 ฉบับที่ 1 มกราคม - กุมภาพันธ์ 2563

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

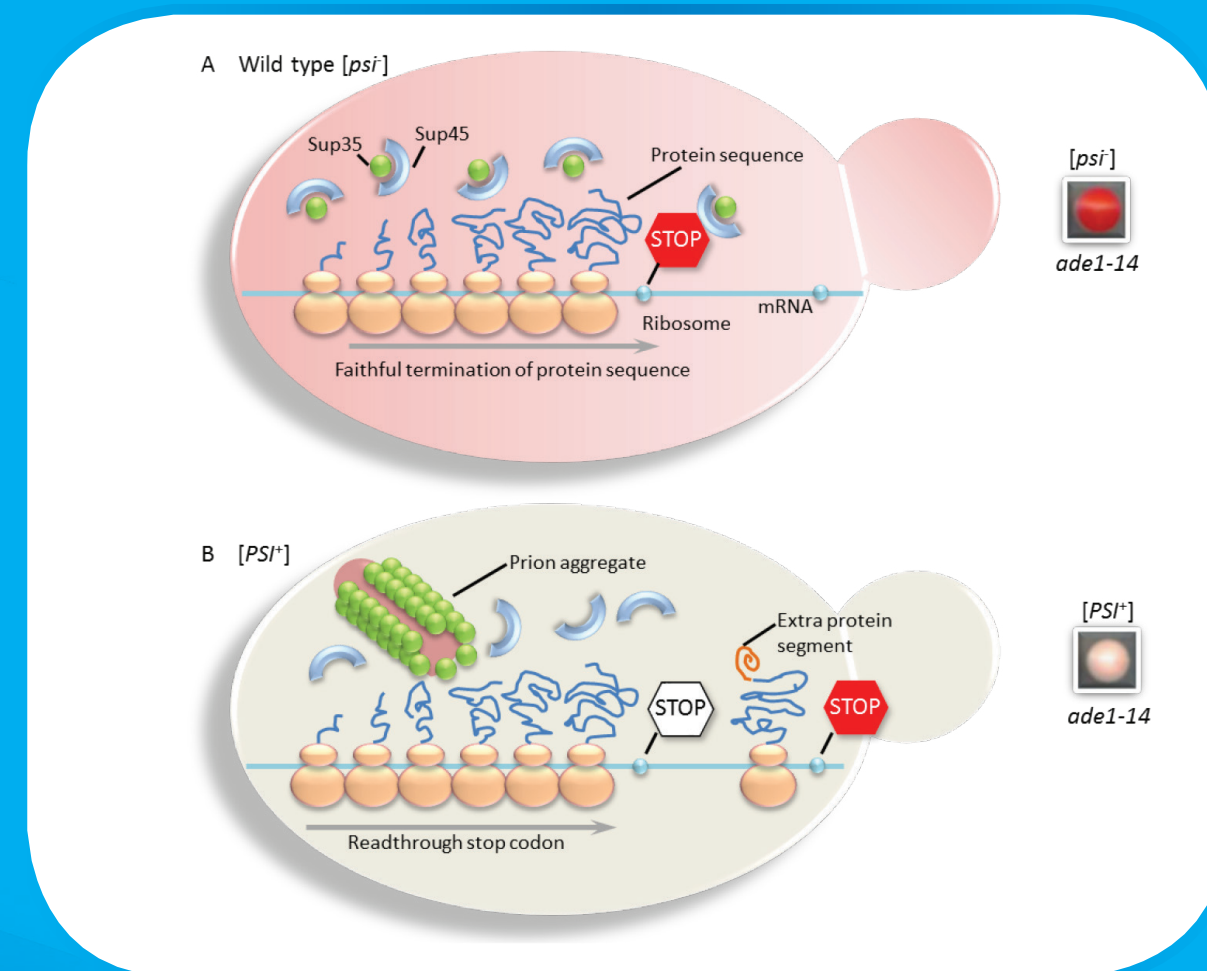
ISSN (Online Edition) : 2586-9795

วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th

Journal of SCIENCE and TECHNOLOGY MAHASARAKHAM UNIVERSITY Volume 39 Number 1 January - February 2020



Journal of Science and Technology Maharakham University

Indexed in TCI (Tier 2)



วัตถุประสงค์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแหล่งเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณภาพของนักวิชาการทั้งในและต่างประเทศ โดยเผยแพร่บทความวิจัย (research article) บทความปริทัศน์ (review article) ในสาขาวิชาต่างๆ ได้แก่ คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ แพทยศาสตร์ วิทยาศาสตร์สุขภาพ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เจ้าของ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
สำนักงานกองบรรณาธิการ
กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
โทรศัพท์ภายใน 1754 โทรศัพท์/โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรรพธนะ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลยา สุทธิวิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อานเป็รื่อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณมา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมณดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิพงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรวรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.มังอร กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพียรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วงศ์พิริโยธา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชนีจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
Dr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

นางฉวีวรรณ อรรถะเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางจิรารัตน์ ภูสิฎฐ์
นางพักตร์วิไล รุ่งวิสัย

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 Journal of Science and Technology aims to disseminate of scientific knowledge in the discipline of Mathematics, Science, Technology, Engineering, Agriculture, Medicine, Health Science, Interdisciplinary in science and technology. The journal publishes both research article and review article.

Ownership

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

Advisors

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

Editor-in-Chief

Professor Dr.Preecha Prathepha

Assistant Editors

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

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supanee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Praee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Anongrit Kangrang
Maharakham 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.Pomtep 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
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.Natapol Pumipuntu
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr.Adrian R. Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Jirarat Puseerit
Phakwilai Rungwisai

Six issues per year

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียนกองบรรณาธิการ ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไปและบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทยการจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาจากการติดตามข่าวสารสถานการณ์โลก จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงสำคัญ ๆ ที่เกิดขึ้นในโลกอย่างรวดเร็ว อาทิ การเกิดอุบัติการณ์โรคระบาดไวรัส ปัญหภัยพิบัติและการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดของยุคดิจิทัล ทำให้เราตระหนักถึงความสำคัญของงานวิจัยให้เท่าทันเหตุการณ์เพื่อให้สามารถแก้ปัญหาและพัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับมวลมนุษย์มากขึ้น งานวิจัยมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในการสร้างองค์ความรู้ใหม่และนักวิจัยเองจำเป็นต้องขับเคลื่อนผลงานวิจัยออกสู่สาธารณะให้มากที่สุด เพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ที่แท้จริงหรือเกิดความเชื่อมโยงและบูรณาการร่วมกับวิทยาการสาขาอื่น ๆ ในวงกว้าง การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยจึงถือได้ว่าเป็นพันธกิจที่สำคัญของนักวิจัยและผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อสร้างความเข้มแข็งในวงการวิชาการ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ฉบับนี้ยังคงมุ่งหวังที่จะเผยแพร่บทความวิจัยที่มีคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในวารสารฉบับนี้มีผลงานวิจัยที่มีคุณภาพในหลากหลายสาขาวิชา ทั้งหมดจำนวน 12 เรื่อง ประกอบด้วยงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์เคมี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ และวิทยาศาสตร์การแพทย์ ผลงานงานวิจัยเหล่านี้ ได้ผ่านกระบวนการตรวจสอบคุณภาพทางวิชาการและกลั่นกรองความถูกต้องตามหลักวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิในแต่ละสาขาวิชา ทั้งนี้เพื่อรักษาไว้ซึ่งคุณภาพและมาตรฐานทางวิชาการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบพระคุณนักวิจัยที่ให้ความสนใจส่งบทความวิจัยที่มีคุณภาพมาตีพิมพ์เผยแพร่กับทางวารสารเป็นจำนวนมากในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทางวิชาการที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพของบทความวิจัยทุกบทความเป็นอย่างดี กองบรรณาธิการมีความตั้งใจ และมุ่งมั่นอย่างเต็มที่ที่จะยกระดับคุณภาพของผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารนี้ให้มีความ เข้มแข็งทางวิชาการและพร้อมเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพและคุณค่าต่อสังคม ต่อไป

รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริธร ศิริอมรพรรณ
กองบรรณาธิการ

คำอธิบายภาพปก : ยีสต์แซฟเพอโรน Hsp104 และบทบาทในการเพิ่มขยายและขจัด [PSI⁺] หรืออน

ภาพปก : จินตนา ว่องวิทย์การ. 2562, 113-126.

สารบัญ

Engineering

- วิทยากระแสของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้น 1
Rheology of Linear Viscoelastic Materials
ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์
Chanyut Kolutawong

Health Science

- การทำนายสัดส่วนผู้ป่วยจำแนกตามจำนวนกลุ่มโรคโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ 10
Predicting the patients' proportions classified by number of groups of diseases using the Markov chain
วัฒนา ชยธวัช, ทับทิม ย้อยสนิท, วรณเพ็ญ โชติกุล, สุวรรณ เพ็ชรรุ่ง
Vadhana Jayathavaj, Thabthim Yoysanit, Wannaphen Chotikul, Suwan Petchroong

- การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 21
ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277
Analysis of Road Accidents on High Way Route 401 between 247 km and 277 km
ศิริพร ด่านคชาธาร, จันจิรา มหาบุญ, มุจลินท์ อินทรเหมือน, ราชนัน ฉ้วนเจริญ, มัตติกา ยงประเดิม
Siriporn Darnkachatarn, Junjira Mahaboon, Mujalin Intaramuen, Rachan Chuancharoen,
Muttika Yongpraderm

Mathematics Science

- ขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพชาติินโบเวอร์เบิร์ดกับความอลวน 31
Satin Bowerbird Optimization Algorithm with Chaos
ธนชพงษ์ วงคำหาญ
Tanachapong Wangkhamhan

Computer and Information Technology

- การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคต 54
Development of Information Technology to Support Smart Grid System in Future
อิทธิศักดิ์ ศรีดำ
Idhisak Sridam

- ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ ณ สหกรณ์โคนมโคกก้อ จังหวัดมหาสารคาม 65
An Information System for a Milk Collection Center at Khokkho Cooperative, Mahasarakham
มนกานต์ อินทรกำแหง, ฉัตรตระกูล สมบัติธีระ
Manakan Intarakamhaeng, Chattrakul Sombattheera

สารบัญ

การวิเคราะห์สารสนเทศเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคล เข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	78
Information Analysis for TCAS Support System Development of Mahasarakham University อนันต์ ปิ่นะเต Anan Pinate	
การกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในจังหวัดชลบุรี	90
Distribution of alcohol outlets around educational institutes in Chon Buri province ณรงค์ พลธิ์รักษ์ Narong Pleerux	
Biological Science	
ผลของมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเบบี้ฮ่องเต้	103
Effects of vermicompost on growth and yield of baby pak choi เบญจวรรณ ชุตติชูเดช, ประสิทธิ์ ชุตติชูเดช, Kong Sela Benjawan Chutichudet, Prasit Chutichudet, Kong Sela	
ยีสต์แชพเพอโรน Hsp104 และบทบาทในการเพิ่มขยายและขจัด [PSI ⁺] พร็ออน	113
Yeast chaperone Hsp104 and the role in [PSI⁺] prion propagation and elimination จินตนา วงษ์วิทย์การ Jintana Wongwigkarn	
Chemistry Science	
การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมอนุภาคไข่ขาวด้วยวิธีทำให้เกิดอิมัลชัน โดยการแพร่ของตัวทำละลาย	127
Optimal conditions for the preparation of egg white particles by solvent emulsification-diffusion method สุใจ ทานิสูด, ประสงค์ สีหานาม Suchai Tanisood, Prasong Srihanam	
คุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันจาก ต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วง	136
Physicochemical properties of Wood Vinegar from Neem trees, Eucalyptus trees, Corn trees, and Mango leaves จารุวรรณ วิโรจน์ Jaruan Viroj	

วิทยากระแสของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้น

Rheology of Linear Viscoelastic Materials

ชาญยุทธ โกลิตะวงษ์^{1*}Chanyut Kolutawong^{1*}

Received: 29 January 2019 ; Revised: 22 March 2019 ; Accepted: 29 August 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไป (Generalized linear viscoelastic material) ที่สร้างขึ้นมาจากแนวคิดของแมกซ์เวลล์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ด้วยการต่ออนุกรมระหว่างสปริงและตัวหน่วงแล้วนำมาต่อขนานกันหลาย ๆ ชุด ในบทความได้แสดงถึงที่มาที่ไปของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ แบบจำลองเจฟฟรีส์ และสมการทั่วไปของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้นพร้อมผลเฉลย อีกทั้งได้กล่าวถึงทฤษฎีของสปริงส์ (Spriggs theorem) ที่นำมาใช้ในการเพิ่มจำนวนสเปกตรัมของแบบจำลองให้เป็นจำนวนอนันต์ชุดแต่ยังคงจำนวนตัวแปรเท่ากับสเปกตรัมเดี่ยวบวกกับค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงส์ α เท่านั้น ถึงแม้ว่าสมการแสดงพฤติกรรมของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปสามารถใช้แทนพฤติกรรมของเหลวพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามสมการแสดงพฤติกรรมของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่หลายข้อเช่นกัน

คำสำคัญ: ของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไป แบบจำลองแมกซ์เวลล์ แบบจำลองเจฟฟรีส์ ทฤษฎีของสปริงส์

Abstract

This article shows the relationship between stress and strain of a generalized linear viscoelastic material. From a well-known Maxwell constitute equation, a model that contains a spring and a dashpot connected in series, a linear viscoelastic model is further generalized by improving the model spectra to infinity series paralleled to each other. Furthermore, in the article, the Maxwell, Jefferys, and generalized linear viscoelastic models with their proposed solutions are derived. The Spriggs theorem is also introduced to improve the model spectra to infinity series; however, the model parameters is still minimized to a single spectrum plus a Spriggs coefficient α . Finally, limitations of the linear viscoelastic constitute equations are discussed.

Keywords: Generalized linear viscoelastic fluids, Maxwell model, Jeffreys model, Spriggs theorem.

¹ รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยพอลิเมอร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

¹ Associate Professor, Polymer Research Center, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok 10800, Thailand

* Corresponding author: Chanyut Kolutawong, E-mail: chanyut.k@eng.kmutnb.ac.th

บทนำ

พฤติกรรมวิสโคอีลาสติกของพอลิเมอร์จะมีพฤติกรรมอยู่ระหว่างสภาวะของแข็งและของเหลว พอลิเมอร์เหลว (Liquid polymers) บางครั้งเรียกว่าของไหลหนืดหยุ่น (Viscoelastic fluids) ซึ่งมาจากคำว่า ความหนืด (Viscous) และความยืดหยุ่น (Elastic) นั่นคือของไหลประเภทนี้มีทั้งสมบัติเป็นของไหล (Fluid) ที่มีความยืดหยุ่นสูงอย่างเห็นได้ชัด โดยทั่วไปแล้วของไหลจะเปลี่ยนรูปไปตามภาชนะ แต่ในทางวิศวกรรมของไหลจะถูกนิยามเมื่อเปลี่ยนรูปไปอย่างถาวรในขณะที่ถูกแรงเฉือนมากระทำ ในขณะที่ความยืดหยุ่นจะหมายถึงความสามารถของวัสดุในการกลับคืนสู่สภาพเดิมก่อนการเสียรูปโดยทั่วไปสมบัติความยืดหยุ่นจะมีในของแข็ง เช่น ยางคงรูป เป็นต้น ดังนั้นของไหลยืดหยุ่นจึงเป็นวัสดุที่มีความพิเศษที่รวมเอาสมบัติของของไหลและของแข็งมารวมกัน

การไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลว (Polymer melts) และสารละลายพอลิเมอร์ (Polymer solutions) ซึ่งในที่นี้จะเรียกรวม ๆ กันว่าพอลิเมอร์เหลว จะมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากวัสดุนิวโทเนียนทั่ว ๆ ไป ลักษณะแตกต่างที่สำคัญที่สุดของพอลิเมอร์หลอมเหลวและสารละลายพอลิเมอร์จากวัสดุนิวโทเนียน คือ ความหนืดเปลี่ยนไปตามอัตราเฉือน (Shear rate dependent viscosity) โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์หลอมเหลวและสารละลายพอลิเมอร์จะมีความหนืดลดลงเมื่อมีแรงเฉือนมากระทำให้เกิดการไหล ลักษณะความหนืดแบบนี้เรียกว่าของไหลที่มีความเค้นลดลง (Shear thinning) หรือ ซูดพลาสติก (Pseudoplastic) ยกตัวอย่างเช่น พอลิเมอร์หลอมเหลวในเครื่องอัดรีดจะมีลักษณะการไหลแบบเฉือน (Shear flow) และความหนืดจะลดลงเมื่อมีอัตราการเฉือน (Shear rate) ที่สูงขึ้น นอกจากนี้ การไหลแบบเฉือนยังก่อให้เกิดความแตกต่างของความเค้นตั้งฉาก (Normal stress difference) ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมการไหลในทิศทางอื่นที่ไม่ใช่ทิศทางการไหลหลัก (Secondary flow) ซึ่งทำให้พอลิเมอร์มีความแตกต่างจากของไหลแบบนิวโทเนียน นอกจากนี้พอลิเมอร์ยังมีสมบัติความยืดหยุ่น (Elastic) อยู่ซึ่งทำให้เกิดพฤติกรรมการบวมพอง (Extrudate swell or die swell) เมื่อมีการไหลออกมาจากแม่พิมพ์อัดรีดขณะทำการขึ้นรูป พฤติกรรมที่แปลกประหลาดเหล่านี้เป็นเพียงแค่อตัวอย่างที่จะแสดงให้เห็นถึงความยากต่อการควบคุมกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการขึ้นรูป ยังมีพฤติกรรมอื่น ๆ ที่น่าสนใจอีกมากมายซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากหนังสืออ้างอิง¹⁰

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการเสียรูปของวัตถุในช่วงเวลาที่สนใจ โดยที่แรงนั้นจะทำให้วัตถุเกิดการเสียรูปร่างอย่างถาวรและเกิดเป็นการไหลของสสารเป็นศาสตร์ที่เรียกว่า รีโวลยี (Rheology) หรือวิทยากระแส สมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุจะแสดงให้เห็นในสมการแสดงพฤติกรรมของวัสดุ (Constitutive equation) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเหมือนในของแข็งตามกฎของฮุกส์ (Hooke's law) ดังแสดงในสมการที่ (8) ในขณะเดียวกัน ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความอัตราเครียดเหมือนในของเหลวแบบนิวโทเนียน (Newtonian) ดังแสดงในสมการที่ (4) ในแบบที่เป็นและไม่เป็นเชิงเส้นและมีพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กับเวลาอีกด้วย (Linear and nonlinear and time dependent properties) ดังจะเห็นได้ว่าสมบัติความยืดหยุ่นจะทำให้ของไหลคืนตัว (ไหลย้อนกลับ) หลังจากที่ไม่มีแรงภายนอกมากระทำซึ่งจะเรียกว่าของไหลมีความทรงจำ (Memory) ในบางครั้งจะเรียกของไหลที่สามารถคืนตัวได้หลังจากเอาแรงภายนอกออกนี้ว่าของไหลที่มีความทรงจำ (Memory fluid)

วัตถุประสงค์ของบทความนี้ต้องการแสดงสมการแสดงพฤติกรรมทางวิทยากระแสของวัสดุวิสโคอีลาสติก ในเชิงวิศวกรรมโดยการเปรียบเทียบพฤติกรรมของวัสดุวิสโคอีลาสติกกับพฤติกรรมของสปริง (Spring) และตัวหน่วง (Dashpot) ที่ต่อขนาน (Parallel) หรือต่ออนุกรม (Series) กันหลาย ๆ ชุด

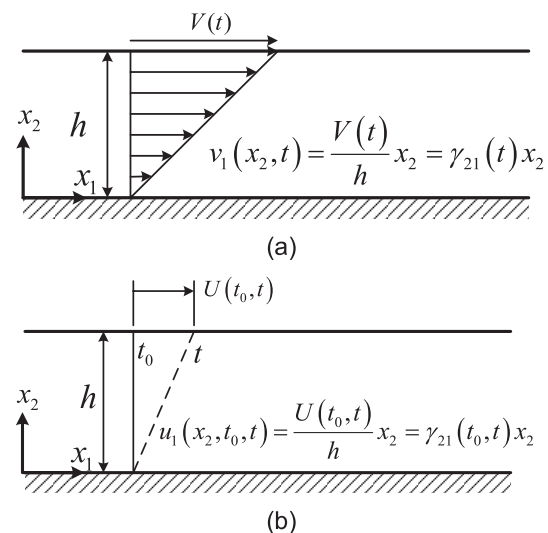


Figure 1 illustrates material behavior under unsteady shear stress between two plates (a) velocities of Newtonian fluid flows between the plates as a function of time t (b) Distances of an elastic material under shear stress between the plates at initial time t_0 and current time t

ของไหลนิวโทเนียนและของแข็งฮุกเกียน

ในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพฤติกรรมของของไหลนิวโทเนียน (Newtonian fluids) และของแข็งฮุกเกียน (Hookean solids) โดยพิจารณาการเคลื่อนที่แบบเฉือนของของไหลนิวโทเนียนระหว่างระนาบ 2 ระนาบ Figure 1 (a) จากรูปจะเห็นว่าระนาบบนเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $V(t)$ ถ้าความหนืดของของไหลสูงมาก ๆ และระยะห่างระหว่างระนาบ h น้อย ๆ ดังนั้นรูปทรงความเร็ว $v_1(x_2, t)$ จะแปรผันตรงกับระยะ x_2 และมีสมการดังนี้

$$v_1(x_2, t) = \frac{V(t)}{h} x_2 = \dot{\gamma}_{21}(t) x_2 \quad (1)$$

โดย $\dot{\gamma}_{21}$ คืออัตราเครียดเฉือนบนพจน์ 21 ในเทนเซอร์อัตราเครียดในสมการที่ (2),

$$\underline{\dot{\gamma}} = (\nabla \vec{v}) + (\nabla \vec{v})^T \quad (2)$$

เมื่อ ∇ คือ เวกเตอร์เกรเดียนต์และ \vec{v} คือ เวกเตอร์ความเร็วของของไหล สมการที่ (2) เขียนอยู่ในรูปดัชนีบ่งชี้ (Index notation) คือ

$$\dot{\gamma}_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \quad (3)$$

เมื่อ v_i และ v_j เป็นความเร็วของก้อนของไหล (Fluid element) ในแนวแกน i และ j เมื่อ $i, j = 1, 2, 3$ และ x_i และ x_j เป็นตำแหน่งของก้อนของไหลในแนวแกน i และ j ตามลำดับ โดยแกน x_1, x_2, x_3 บางครั้งเรียกว่าแกน x, y, z ในระบบแกนพิกัดฉาก (Cartesian coordinates) ตามลำดับ ดังนั้นความเค้นเฉือนในของไหลนอนนิวโทเนียนคือ

$$\tau_{21}(t) = -\mu \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = -\mu \dot{\gamma}_{21}(t) \quad (4)$$

นั่นคือความเค้นเฉือนที่เวลา t ใด ๆ จะแปรผันตรงกับเกรเดียนต์ความเร็วที่เวลา t เดียวกัน ต่อมาพิจารณา Figure 1 (b) แสดงการเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉือนระหว่างระนาบ 2 ระนาบของของแข็งฮุกเกียน ที่เวลาเริ่มต้น t_0 ของแข็งมีแต่ความเค้นภายในที่เท่ากันตลอด (Isotropic stress state) โดยไม่มีความเค้นมาจากภายนอกยกเว้นความดันบรรยากาศ ถ้าที่เวลา t ต่อมา ระนาบบนเคลื่อนที่ไปเล็กน้อยเป็นระยะทาง

$U(t_0, t)$ ดังนั้นระยะทางที่เนื้อวัสดุภายในของแข็งเคลื่อนที่จะแปรผันตรงกับระยะความสูง x_2 จึงมีสมการดังนี้

$$u_1(x_2, t_0, t) = \frac{U(t_0, t)}{h} x_2 = \gamma_{21}(t_0, t) x_2 \quad (5)$$

โดยความเครียดเฉือนบนพจน์ 21, $\gamma_{21}(t_0, t)$, ในเทนเซอร์ความเครียดกำหนดโดย

$$\underline{\underline{\gamma}} = (\nabla \underline{\underline{u}}) + (\nabla \underline{\underline{u}})^T \quad (6)$$

หรือเขียนอยู่ในรูปดัชนีบ่งชี้ (Index notation) คือ

$$\gamma_{ij} = \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (7)$$

สังเกตว่าเทนเซอร์ความเครียดจะขึ้นอยู่กับเวลา 2 ช่วงเวลา คือ เวลาตั้งต้น t_0 และเวลาปัจจุบัน t โดยความเครียดที่เวลาเริ่มต้น $\gamma_{21}(t_0, t_0) = 0$ ดังนั้นความเค้นเฉือนในของแข็งฮุกเกียน คือ

$$\tau_{21}(t) = -G \frac{\partial u_1}{\partial x_2} = -G \gamma_{21}(t_0, t) \quad (8)$$

โดย G คือ มอดูลัสยืดหยุ่น (Shear elastic modulus) สมการที่ (8) แสดงให้เห็นว่าความเค้นที่เวลา t ใด ๆ จะขึ้นอยู่กับความเครียดที่เวลา t และเวลาเริ่มต้น t_0 จะเห็นได้ว่าของแข็งฮุกเกียนยังรับรู้สถานะเดิมที่เวลา t_0 ได้อยู่ ผิดกับของไหลนิวโทเนียนที่ไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะเดิมในอดีต ดังสูตรความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วซึ่งหาได้จากระยะทางต่อหน่วยเวลานั้นเอง

$$v_1(x_2, t) = \frac{\partial}{\partial t} u_1(x_2, t_0, t) \quad (9)$$

สมการที่ (9) สามารถอินทิเกรตได้เป็น

$$u_1(x_2, t_0, t) = \int_0^t v_1(x_2, t') dt' \quad (10)$$

ในทำนองเดียวกันเทนเซอร์อัตราเครียดและความเครียดมีความสัมพันธ์กันคือ

$$\dot{\gamma}_{21}(t) = \frac{\partial}{\partial t} \gamma_{21}(t_0, t) \quad (11)$$

สมการที่ (11) สามารถอินทิเกรตได้เป็น

$$\gamma_{21}(t_0, t) = \int_{t_0}^t \dot{\gamma}_{21}(t') dt' \tag{12}$$

เมื่อ t' คือ ตัวแปรของการอินทิเกรต (Dummy of integration) ซึ่งจะหายไปหลังจากแทนค่าเวลา $t' = t_0$ และ $t' = t$ ใด ๆ แล้ว

วัสดุหยุ่นหนืด

สมบัติหยุ่นหนืด (Viscoelastic property) สามารถแทนได้ด้วย การต่ออนุกรมและขนานระหว่างสปริง และตัวหน่วง สปริงแทนสมบัติยืดหยุ่น (Elastic property) ที่มีในของแข็ง ในขณะที่ตัวหน่วงแทนสมบัติความหนืดที่มีในของไหล โดยทั่วไปแบบจำลองที่ง่ายที่สุดที่นิยมใช้ในการบ่งบอกลักษณะเชิงกลที่แสดงสมบัติแบบหยุ่นหนืด มี 2 ชนิด คือ (1) แบบจำลองที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสปริงและตัวหน่วงต่ออนุกรมกันรวมเรียกว่า แบบจำลองของแมกซ์เวล (Maxwell model) (2) แบบจำลองที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนสปริงและชิ้นส่วนตัวหน่วงต่อขนานกันรวมเรียกว่า แบบจำลองของวอยท์ (Voigt model) ดังแสดงใน Figure 2 โดย μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวหน่วง (Dashpot coefficient), G คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Elastic modulus) ของสปริง, γ คือ ความเครียดของวัสดุ และ σ คือ ความเค้นของวัสดุ

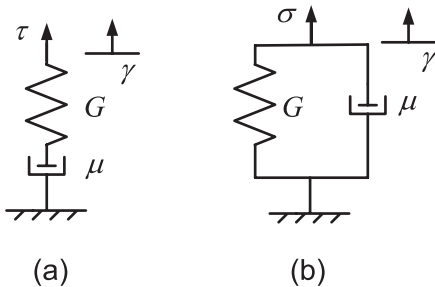


Figure 2 Simple viscoelastic models (a) Maxwell model and (b) Voigt model

สมบัติหยุ่นหนืดของของไหลสามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองแมกซ์เวล ที่แสดงใน Figure 2 (a) ซึ่งเป็นการต่ออนุกรมระหว่างสปริงกับตัวหน่วง กล่าวคือ เมื่อมีแรงกดมากจะทำให้ของไหลเคลื่อนที่ไปได้ระยะหนึ่งแล้วเอาแรงออกของไหลจะเสีรูปร่างไปอย่างถาวรแต่สมบัติหยุ่นหนืดจะทำให้ของไหลสามารถไหลย้อนกลับ (Elastic recoil) ได้เล็กน้อย และสมบัติหยุ่นหนืดของของแข็ง (หรือคล้ายของแข็งเนื่องจากของแข็งจะแทนได้ด้วยสปริงเพียงตัวเดียว) สามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองวอยท์ ที่แสดงใน Figure 2 (b) ซึ่งเป็นการต่อขนาน

ระหว่างสปริงกับตัวหน่วง กล่าวคือ เมื่อมีแรงกดมากจะทำให้ของแข็งเสีรูปร่างแต่ยังไม่ถึงจุดคราก (Yield point) เมื่อเอาแรงออกของแข็งจะกลับคืนสู่รูปร่างเดิม

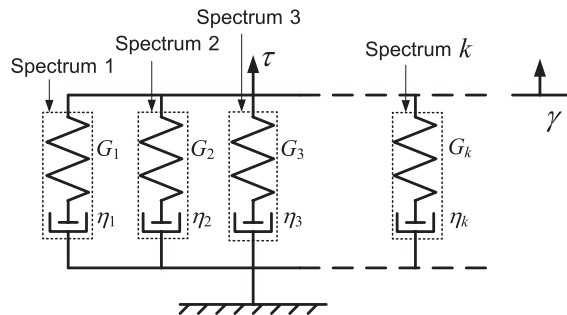


Figure 3 Generalized Maxwell model used for viscoelastic materials

แบบจำลองแมกซ์เวล

เนื่องจากเราสนใจสมบัติของพอลิเมอร์เหลวซึ่งเป็นของไหลดังนั้นพิจารณาแบบจำลองแมกซ์เวลใน Figure 2 (a) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการไหลแบบเนียนใน Figure 1 (a) จะเห็นได้ว่าในแบบจำลองแมกซ์เวลจะมีความเค้นเฉือนเท่ากันตลอด (ทั้งในสปริงและตัวหน่วง) และความเครียดรวม γ ของแบบจำลองแมกซ์เวลจะประกอบไปด้วยความเครียดของสปริง γ_{spr} และความเครียดของตัวหน่วง γ_{das}

$$\gamma = \gamma_{spr} + \gamma_{das} \tag{13}$$

อนุพันธ์สมการ (13) เทียบกับเวลาจะได้อัตราความเครียด

$$\dot{\gamma} = \dot{\gamma}_{spr} + \dot{\gamma}_{das} \tag{14}$$

โดยความเครียดของสปริง γ_{spr} จะแปรผันตรงกับ ความเค้นเฉือน (ในที่นี้สปริงออกแรงต้านการดึง)

$$\gamma_{spr} = -\frac{\tau}{G} \tag{15}$$

ดังนั้นอนุพันธ์สมการ (15) เทียบกับเวลาจะได้อัตราความเครียดของสปริง $\dot{\gamma}_{spr}$

$$\dot{\gamma}_{spr} = -\frac{1}{G} \frac{\partial \tau}{\partial t} \tag{16}$$

ส่วนตัวหน่วงความเค้นที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับอัตราความเครียดของตัวหน่วง $\dot{\gamma}_{das}$ (ในที่นี้ตัวหน่วงออกแรงต้านการดึง)

$$\dot{\gamma}_{des} = -\frac{\tau}{\mu} \tag{17}$$

แทนอัตราความเครียดของสปริง $\dot{\gamma}_{spr}$ สมการ (16) และอัตราความเครียดของตัวหน่วง $\dot{\gamma}_{das}$ สมการ (17) ลงในสมการอัตราเครียดรวม (14)

$$\frac{\tau}{\mu} + \frac{1}{G} \frac{\partial \tau}{\partial t} = -\dot{\gamma} \tag{18}$$

จัดรูปใหม่โดยคูณด้วยสัมประสิทธิ์ตัวหน่วง μ ตลอดสมการ (18)

$$\tau + \frac{\mu}{G} \frac{\partial \tau}{\partial t} = -\mu \dot{\gamma} \tag{19}$$

สมการ (19) มีชื่อเรียกว่า แบบจำลองพฤติกรรมการไหลแบบแมกซ์เวล (Maxwell constitute equation) ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเป็นการเคลื่อนที่แบบคงตัวความเค้นเฉือนจะไม่เป็นฟังก์ชันของเวลา ทำให้เทอมกลางหายไป และลดรูปกลายเป็นสมการพฤติกรรมการไหลแบบนิวโทเนียน แต่ถ้ามีการเคลื่อนที่อย่างฉับพลันเทอมความเค้นที่เป็นฟังก์ชันของเวลาจะทำให้สมการดังกล่าวเป็นสมการอนุพันธ์ของความเค้นเฉือนเทียบกับเวลา และมีผลของมอดูลัสยืดหยุ่น G ของซุก (Hookean solid) ในพฤติกรรมการไหลด้วย

เนื่องจากกฎของฮุก (Hooke's law) ใช้ได้กับการเสียรูปแค่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Infinitesimal displacement) ดังนั้นแบบจำลองของแมกซ์เวลจะใช้ได้กับการเสียรูปแค่เพียงเล็กน้อยเท่านั้นด้วย (Linear viscoelastic fluids) จากแบบจำลองแมกซ์เวลถ้าแทนค่าความหนืดแบบนิวโทเนียน μ ด้วยค่าความหนืดที่อัตราเครียดเป็นศูนย์ η_0 (Zero-shear-rate viscosity) ดังนั้น เมื่อกำหนดให้

$$\lambda \equiv \frac{\eta_0}{G} \tag{20}$$

เมื่อ λ มีหน่วยเป็นเวลาจึงเรียกว่า เวลาในการผ่อนคลาย (Relaxation time) สมการแบบจำลองของแมกซ์เวล (19) จะกลายเป็นสมการแบบจำลองของแมกซ์เวลที่เขียนอยู่ในรูปของเทนเซอร์ความเค้นและความเครียด

$$\underline{\underline{\tau}} + \lambda \frac{d\underline{\underline{\tau}}}{dt} = -\eta_0 \dot{\underline{\underline{\gamma}}} \tag{21}$$

สมการ (21) เป็นสมการอนุพันธ์สามัญอันดับที่ 1 (First

order, ordinary differential equation) เมื่อ $\underline{\underline{\tau}}(t)$ เป็นฟังก์ชันของเวลา t เท่านั้น ดังนั้นผลเฉลยของเทนเซอร์ความเค้นเฉือนเทียบกับเวลา คือ^{10, 11}

$$\underline{\underline{\tau}}(t) = e^{-t/\lambda} \left[\int \left(-\frac{\eta_0}{\lambda} \dot{\underline{\underline{\gamma}}}(t) \right) e^{t'/\lambda} dt' + \underline{\underline{K}} \right] \tag{22}$$

ใส่ลิมิตล่างและลิมิตบนบนเครื่องหมายอินทิเกรตแล้วจัดรูปจะได้

$$\underline{\underline{\tau}}(t) = e^{-t/\lambda} \int_{-\infty}^t \left(-\frac{\eta_0}{\lambda} \dot{\underline{\underline{\gamma}}}(t') \right) e^{t'/\lambda} dt' + \underline{\underline{K}} e^{-t/\lambda} \tag{23}$$

ในเครื่องหมายอินทิเกรตเราแทน t ด้วย t' เพื่อป้องกันการสับสน ลิมิตล่างสามารถเลือกค่าใดก็ได้ในที่นี้ใช้ค่า $-\infty$ ส่วน $\underline{\underline{K}}$ เป็นค่าคงที่จากการอินทิเกรต ถ้าเราให้ค่าเทนเซอร์ความเค้นที่เวลา $t = -\infty$ ไม่เป็นค่าอนันต์ $\underline{\underline{K}}$ ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการทั่วไปแบบจำลองแมกซ์เวลสมการที่ (23) สามารถเขียนอยู่ในรูป

$$\underline{\underline{\tau}}(t) = -\int_{-\infty}^t \left\{ \frac{\eta_0}{\lambda} e^{-(t-t')/\lambda} \right\} \dot{\underline{\underline{\gamma}}}(t') dt' \tag{24}$$

ค่าที่อยู่ในวงเล็บปีกกา เรียกว่า มอดูลัสผ่อนคลาย (Relaxation modulus) สำหรับของไหลแบบแมกซ์เวลจากสมการ (24) จะเห็นได้ว่าเทนเซอร์ความเค้นที่เวลาปัจจุบัน t นอกจากจะขึ้นอยู่กับเทนเซอร์อัตราเครียดที่เวลาปัจจุบัน t ยังขึ้นอยู่กับว่าเทนเซอร์อัตราเครียดที่เวลา t' ที่ผ่านมาแล้วด้วย (เกิดความเครียดสะสม) และยังคงด้วยมอดูลัสผ่อนคลายซึ่งมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเวลามากขึ้นด้วย (Relaxation modulus decays exponentially with time) ซึ่งจะเห็นได้ว่าของไหลแบบแมกซ์เวลมีความจำที่เลือนลาง (Fading memory) กล่าวคือ ของไหลแบบแมกซ์เวลจะจำการเสียรูปในเวลาที่เพิ่งจะผ่านมาไม่นานได้เป็นอย่างดีแต่จะจำการเสียรูปในเวลาที่ผ่านมานานแล้วได้น้อย นั่นหมายความว่า ความเค้นในปัจจุบันที่เวลา t จะขึ้นอยู่กับอัตราเครียดในอดีตจนถึงปัจจุบัน $-\infty < t' \leq t$ ถ้าเรากำหนดให้

$$\frac{\partial \underline{\underline{\gamma}}}{\partial t} \equiv \dot{\underline{\underline{\gamma}}}(t') \tag{25}$$

และ

$$\underline{\underline{\gamma}}(t, t') = \int_{t'}^t \dot{\underline{\underline{\gamma}}}(t'') dt'' \tag{26}$$

แล้วทำการอินทิเกรตเฉพาะส่วน (Integration by part) สมการ (24) จะได้

$$\underline{\tau}(t) = + \int_{-\infty}^t \left\{ \frac{\eta_0}{\lambda^2} e^{-(t-t')/\lambda} \right\} \underline{\dot{\gamma}}(t, t') dt' \quad (27)$$

สมการรูปทั่วไปของไหลแบบแมกซ์เวลล์ในสมการ (21)

(24) และ (27) ใช้ได้เหมือน ๆ กันถ้าอัตราเครียด $\dot{\gamma}$ ที่เวลา $t = -\infty$ ไม่เป็นค่าอนันต์ สมการ (24) เขียนเหมือนกับสมการนิวโทเนียน และสมการ (27) เขียนเหมือนกับสมการฮุกเกียน

แบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์

พิจารณาแบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์ที่ใช้แทนลักษณะทางกายภาพของของไหลหนืดหนืด ดังแสดงใน Figure 3 เป็นการต่อขนานกันของแบบจำลองแมกซ์เวลล์ไม่จำกัดจำนวนสเปกตรัม พิจารณาสเปกตรัมที่ k ซึ่งจะมีค่าคงที่ของสปริง G_k และมีค่าคงที่ของตัวหน่วง η_k มีค่าความเค้นในแต่ละสเปกตรัม k คือ τ_k ดังนั้นกำหนดให้มีค่าคงที่ของเวลาในสเปกตรัม k คือ λ_k ด้วย โดยความเค้นรวมของแบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์จะเท่ากับผลรวมของความเค้นในแต่ละสเปกตรัม

$$\underline{\tau}(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \tau_{=k}(t) \quad (28)$$

โดยในสเปกตรัม k มีสมการแมกซ์เวลล์

$$\tau_{=k} + \lambda_k \frac{\partial \tau_{=k}}{\partial t} = -\eta_k \dot{\gamma}_{=} \quad (29)$$

และ

$$\lambda_k = \frac{\eta_k}{G_k} \quad (30)$$

สังเกตว่าทุกสเปกตรัมจะมีอัตราเครียดเท่ากันคือ $\dot{\gamma}$ คล้ายกับการผลเฉลยของสมการ (21) สมการ (29) มีผลเฉลยคือ^{10, 11}

$$\underline{\tau}(t) = - \int_{-\infty}^t \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta_k}{\lambda_k} e^{-(t-t')/\lambda_k} \right\} \dot{\gamma}(t') dt' \quad (31)$$

หรือ

$$\underline{\tau}(t) = + \int_{-\infty}^t \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta_k}{\lambda_k^2} e^{-(t-t')/\lambda_k} \right\} \underline{\dot{\gamma}}(t, t') dt' \quad (32)$$

เมื่อ $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 \dots$ โดยค่าที่อยู่ในวงเล็บปีกกาในสมการ (31) เรียกว่า มอดูลัสผ่อนคลาย และค่าที่อยู่ในวงเล็บปีกกาในสมการ (32) เรียกว่า ฟังก์ชันความทรงจำ (Memory function) ของแบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์

แบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์สามารถใช้แสดงพฤติกรรมของสารละลายพอลิเมอร์ และพอลิเมอร์หลอมเหลวได้เป็นอย่างดี แต่ค่าคงที่ η_k และ λ_k ที่มีเป็นจำนวนมากซึ่งหมายถึงแทนด้วยสปริงและตัวหน่วงใน Figure 3 นี้ อาจจะทำให้แบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์ใช้งานได้ยากขึ้น ดังนั้นสปริงส์ (Spriggs) ได้ใช้ทฤษฎีทางความสัมพันธ์ของโมเลกุล (Molecular theory) ทำการพิสูจน์ได้ว่า η_k และ λ_k มีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน และ $\lambda_k \sim 1/k^2$ เมื่อ k มีค่ามากขึ้น ดังนั้นเราสามารถลดจำนวนตัวแปรทั้งหมดลงเหลือ 3 ตัวเท่านั้น (η_0, λ, α) โดยกำหนดให้

$$\eta_k = \frac{\eta_0 \lambda_k}{\sum_k \lambda_k} \quad (33)$$

โดย

$$\lambda_k = \frac{\lambda}{k^\alpha} \quad (34)$$

โดย α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงส์ (Spriggs coefficient) ซึ่ง $2 \leq \alpha \leq 4$ สำหรับพอลิเมอร์เหลว (Polymer solutions) และพอลิเมอร์หลอมเหลว^{9, 10} (Polymer melts)

แบบจำลองเจฟฟรีส์

สมการแมกซ์เวลล์ในสมการที่ (21) มีความสัมพันธ์ระหว่างเทนเซอร์ความเค้น $\underline{\tau}$ และเทนเซอร์อัตราเครียด $\underline{\dot{\gamma}}$ เป็นแบบเชิงเส้น สามารถต่อเติมสมการเพื่อปรับปรุงสมการให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้น และยังคงมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นได้อีกหลาย ๆ วิธี วิธีการหนึ่ง คือ การใส่อนุพันธ์อัตราเครียดเพิ่มลงไปในสมการทำให้ได้สมการแสดงพฤติกรรมอีกรูปดังนี้

$$\underline{\tau} + \lambda_1 \frac{\partial \underline{\tau}}{\partial t} = -\eta_0 \left(\dot{\gamma}_{=} + \lambda_2 \frac{\partial \dot{\gamma}_{=}}{\partial t} \right) \quad (35)$$

เรียกสมการ (35) ว่า แบบจำลองของเจฟฟรีส์ (Jeffreys model) โดย λ_1 คือ เวลาผ่อนคลาย (Relaxation time) และ λ_2 คือ เวลาหน่วง (Retardation time) แบบจำลองของเจฟฟรีส์สามารถอินทิเกรตได้เช่นกัน เนื่องจากเป็นสมการ

อนุพันธ์เชิงเส้นอันดับที่ 1 โดยถ้า $\underline{\tau}$ มีค่าอยู่จริง (Finite value) ที่เวลา $t = -\infty$ (ซึ่งทำให้ $\dot{\gamma}$ และ $\frac{\partial \dot{\gamma}}{\partial t}$ มีค่าอยู่จริงที่เวลา $t = -\infty$ ด้วย) ดังนั้น ผลเฉลยของสมการที่ (35) คือ

$$\underline{\tau}(t) = -\int_{-\infty}^t \frac{\eta_0}{\lambda_1} \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) e^{-(t-t')/\lambda_1} \dot{\gamma}(t') dt' - \frac{\eta_0 \lambda_2}{\lambda_1} \dot{\gamma}(t) \tag{36}$$

โดย $\lambda_1 > \lambda_2$ จากนั้นจัดรูปสมการ (36) ให้อยู่ในรูปเดียวกันกับสมการ (24) ซึ่งต้องใช้ฟังก์ชันเดลต้าของไดแรค^{11,17,18} (Dirac delta function)

$$\underline{\tau}(t) = -\int_{-\infty}^t \left\{ \frac{\eta_0}{\lambda_1} \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) e^{-(t-t')/\lambda_1} + 2 \frac{\eta_0 \lambda_2}{\lambda_1} \delta(t-t') \right\} \dot{\gamma}(t') dt' \tag{37}$$

ค่าที่อยู่ในวงเล็บปีกกาเรียกว่ามอดูลัสพ่อนคลาย ของแบบจำลองของเจ็ฟฟรีย์ อินทรีเกรตเฉพาะส่วนสมการ (37) จะได้

$$\underline{\tau}(t) = +\int_{-\infty}^t \left\{ \frac{\eta_0}{\lambda_1^2} \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) e^{-(t-t')/\lambda_1} + 2 \frac{\eta_0 \lambda_2}{\lambda_1} \frac{\partial}{\partial t'} \delta(t-t') \right\} \gamma(t, t') dt' \tag{38}$$

โดยค่าที่อยู่ในวงเล็บปีกกาเรียกว่าฟังก์ชันความทรงจำของแบบจำลองของเจ็ฟฟรีย์ เช่นเดียวกับแบบจำลองแมกซ์เวลล์ เราสามารถใช้ทฤษฎีของสปริงส์ เพื่อลดจำนวนตัวแปรทั้งหมดลงเหลือ 4 ตัว ($\eta_0, \lambda_1, \lambda_2, \alpha$) ได้ด้วยการแทน

$$\eta_0 \rightarrow \sum_{k=1}^{\infty} \eta_k \tag{39}$$

$$\lambda_1 \rightarrow \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda_k}{k^\alpha} \tag{40}$$

$$\lambda_2 \rightarrow \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\lambda_k}{k^\alpha} \tag{41}$$

ลงในสมการที่ (35) เมื่อ η_k และ λ_k นิยามในสมการ (33) และ (34)

สมการทั่วไปของวัสดุหยุ่นหนืดเชิงเส้น

จากแบบจำลองทั่วไปของแมกซ์เวลล์ (31) และ (32) และแบบจำลองของเจ็ฟฟรีย์ (37) และ (38) จะเห็นได้ว่าเป็นการอินทิเกรตมอดูลัสพ่อนคลายคูณกับเทนเซอร์อัตราเครียดตั้งแต่อดีตจนถึงเวลาปัจจุบัน ดังนั้นสามารถเขียนอยู่ในรูปทั่วไปได้คือ

$$\underline{\tau}(t) = -\int_{-\infty}^t G(t-t') \dot{\gamma}(t') dt' \tag{42}$$

และ

$$\underline{\tau}(t) = +\int_{-\infty}^t M(t-t') \gamma(t, t') dt' \tag{43}$$

โดย $G(t-t')$ คือมอดูลัสพ่อนคลาย และ $M(t-t')$ คือฟังก์ชันความทรงจำ

$$M(t-t') = \frac{\partial G(t-t')}{\partial t'} \tag{44}$$

สมการ (42) และ (43) เรียกว่าสมการทั่วไปของสมบัติหยุ่นหนืดเชิงเส้น (General linear viscoelastic model) และทั้ง 2 สมการเป็นจุดเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณสมบัติหยุ่นหนืดต่อการประยุกต์ใช้สมการทั้ง 2 สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ในบทที่ 5 ของ⁹

ข้อจำกัด

บทความนี้แสดงให้เห็นว่าสมการของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไป ที่สร้างขึ้นมาจากแนวคิดของแมกซ์เวลล์ด้วยการต่ออนุกรมระหว่างสปริงและตัวหน่วงแล้วนำมาต่อขนานกันหลายๆ ชุดดังแสดงใน Figure 3 สามารถใช้แทนพฤติกรรมของเหลวพอลิเมอร์ได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามสมการของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานคือ

1. ความหนืดที่ได้จากสมการของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปจะเป็นค่าคงที่และเป็นค่าความหนืดที่ความเครียดเป็นศูนย์ (Zero shear viscosity) หรือความหนืดตั้งต้น η_0 แต่ของไหลทั่วไปค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราเครียดเนื่อง $\dot{\gamma}$ (Shear rate)
2. เนื่องจากเทนเซอร์ความเค้นในสมการของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปจะแปรผันตรงกับเทนเซอร์อัตราเครียด ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความเค้นตั้งฉากลำดับที่ 1 และ 2 (Ψ_1, Ψ_2) ได้
3. สมการของไหลหยุ่นหนืดเชิงเส้นทั่วไปใช้ได้กับอัตราเครียด $\dot{\gamma}$ ต่ำ ๆ เท่านั้น

4. สมการของไหลหนืดเชิงเส้นทั่วไปใช้ได้กับของไหลที่มีแกนผูกติดไปกับภาชนะที่ใช้ใส่ของไหลเท่านั้น (Frame dependent or non-objective) ไม่ได้เลื่อนและหมุนไปกับบอภาคของไหล (Translated and rotated frame) ทำให้ความเครียดที่เกิดขึ้นจริงแตกต่างจากความเครียดที่เห็นโดยผู้สังเกตการณ์ ยกตัวอย่างเช่นผู้สังเกตการณ์ที่อยู่บนล้อรถยนต์ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่และหมุนไปพร้อมกับล้อ (Translated and rotated frame) จะเห็นจุดบนล้อรถยนต์อยู่นิ่ง ในขณะที่ผู้สังเกตการณ์ที่อยู่บนรถยนต์ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (Translated frame) จะเห็นจุดบนล้อรถยนต์วนรอบแกนล้อเป็นวงกลมเท่านั้น แต่ผู้สังเกตการณ์ที่ยืนอยู่บนถนน (Inertia frame or fixed frame) จะเห็นจุดเดียวกันบนล้อรถยนต์หมุนวนเป็นเกลียวกันหอยเป็นต้น

การที่สมการของไหลหนืดเชิงเส้นทั่วไปขึ้นอยู่กับผู้สังเกตการณ์ (Frame dependent or non-objective) นั้นหมายความว่าผู้สังเกตการณ์ที่อยู่บนล้อรถยนต์ (Translated and rotated frame) จะเห็นการเคลื่อนที่ของของไหลแตกต่างไปจากผู้สังเกตการณ์ที่อยู่บนแกนเฉื่อยหรือแกนหลัก (Inertia frame or fixed frame) นั่นเอง

บทสรุป

ของไหลหนืดเชิงเส้นทั่วไป ที่ได้จากแนวคิดของแมกซ์เวลล์แสดงในรูปที่ 3 สามารถใช้แทนพฤติกรรมหนืดของพอลิเมอร์ ได้เป็นอย่างดีแต่อย่างไรก็ตามสมการของไหลหนืดเชิงเส้นทั่วไปก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ กล่าวคือสมการของไหลหนืดเชิงเส้นทั่วไปขึ้นอยู่กับผู้สังเกตการณ์ (Frame dependent or non-objective) ทำให้ใช้ได้กับของไหลที่มีอัตราเครียด $\dot{\gamma}$ ต่ำ ๆ เท่านั้น อีกทั้งไม่สามารถคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความเค้นตั้งฉากลำดับที่ 1 และ $2 (\Psi_1, \Psi_2)$ ได้และให้ค่าความหนืดเป็นค่าคงที่ที่อัตราเฉือนเป็นศูนย์ η_0 (Zero-shear-rate viscosity) แต่ของไหลทั่วไปค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับค่าอัตราเครียดเฉือน $\dot{\gamma}$ (Shear rate) อีกทั้งได้กล่าวถึงทฤษฎีของสปริคส์ ที่ยังคงจำนวนตัวแปรเท่ากับสเปกตรัมเดี่ยวบวกกับค่าสัมประสิทธิ์ของสปริคส์ α แต่มีผลเทียบเท่ากับจำนวนสเปกตรัมของแบบจำลองจำนวนอนันต์ชุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ นายพงศ์เทพ พวงทอง นักศึกษาระดับปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ช่วยอำนวยความสะดวก

เอกสารอ้างอิง

1. Ferry JD. *Viscoelastic Properties of Polymers*. John Wiley and Sons: New York; 1979. P. 99, 154
2. Tanner RI. *Engineering Rheology*. 2nd ed. Oxford University Press: New York; 2002.
3. Cengel YA., Cimbala JM. *Fluid Mechanics, Fundamentals and Applications*. International Edition. McGraw Hill: New York; 2006.
4. Munson BR, Young DF, and Okiishi TH. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. 4th ed. John Wiley and Sons: New York; 2002.
5. Young RJ, Lovell PA. *Introduction to polymers*. 2nd ed. Chapman & Hall: New York; 1991.
6. Haddad YM. *Viscoelasticity of Engineering Materials*. Chapman and Hall: New York; 1995.
7. Kolutawong C. Rheology Property Testing of Shear Flows. *Journal of Science Ladkrabang*, 2018; **27**(2): 44-64. (in Thai)
8. Kolutawong, C.. Rheology of Generalized Newtonian Fluids. *KKU Science Journal*, (2019); 47(3): 392-401. (in Thai)
9. Bird RB, Armstrong RC, Hassager O. *Dynamics of Polymeric Liquids: Volume 1 Fluid Mechanics*, 2nd ed. John Wiley and Sons: New York; 1987. P. 255, 262.
10. Bird RB, Stewart WE, Lightfoot EN. *Transport Phenomena*. 2nd ed. John Wiley and Son: New York; 2002. P. 241, 246, 852.
11. Bird RB, Stewart WE, Lightfoot EN, Klingenberg, D.J. *Introductory Transport Phenomena*. Wiley: New York; 2015. P. 23, 279, 729.
12. Morrison FA. *Understanding Rheology*. Oxford University Press: New York; 2001. P. 267.
13. Shaw MT, MacKnight WJ. *Introduction to Polymer Viscoelasticity*. 3rd ed. Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc.: New Jersey; 2005.
14. Bird RB, Armstrong RC, Hassager O. *Dynamics of Polymeric Liquids: Volume 1 Fluid Mechanics*, 1st ed. John Wiley and Sons: New York; 1977. P. 280.

15. Murphy GM. *Ordinary Differential Equations and Their Solutions*. Van Nostrand: Princeton, NJ; 1960.
16. Tuma JJ. *Engineering Mathematics Handbook*. 3rd ed. McGraw-Hill: New York; 1987.
17. Lighthill MJ. *An Introduction to Fourier Analysis and Generalized Functions*. Cambridge University Press; 1964. P.10.
18. Korn GA, Korn TM. *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers*. McGraw-Hill: New York; 1968. P.876.
19. Saengow C, Giacomin AJ. Exact Solution for Oscillatory Shear Sweep Behaviors of Complex Fluids from the Oldroyd 8-Constant Framework. *Physics of Fluids*, 2018; **30**: 030703.
20. Macosko CW. *Rheology Principles, Measurements and Applications*. Wiley-VCH: New York; 1994. P. 111-7

การทำนายสัดส่วนผู้ป่วยจำแนกตามจำนวนกลุ่มโรคโดยวิธีลูกโซ่มาร์คอฟ

Predicting the patients' proportions classified by number of groups of diseases using the Markov chain

วัฒนา ชยธวัช¹ ทับทิม ย้อยสนิท² วรณเพ็ญ โชติกุล² สุวรรณ เพ็ชรรุ่ง²

Vadhana Jayathavaj¹, Thabthim Yoysanit², Wannaphen Chotikul², Suwan Petchroong²

Received: 4 February 2019 ; Revised: 30 July 2019 ; Accepted: 20 August 2019

บทคัดย่อ

สัดส่วนผู้ป่วยที่จำแนกตามจำนวนโรคที่ผู้ป่วยมาใช้บริการโรงพยาบาลในรอบ 1 ปีนั้นสามารถสะท้อนประสิทธิภาพบริการของโรงพยาบาลชุมชน หากสัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนโรคจำนวนมากลดลงเมื่อเทียบกับสัดส่วนของปีที่ผ่านมา ผู้ป่วยแต่ละคนมีการเปลี่ยนสถานะจากจำนวนโรคหนึ่งในปีหนึ่งไปยังอีกจำนวนโรคหนึ่งในอีกปีต่อเนื่องกัน ซึ่งจากฐานข้อมูลผู้ป่วยสามารถประยุกต์ใช้ลูกโซ่มาร์คอฟทำนายสัดส่วนผู้ป่วยตามจำนวนโรคในอนาคตได้ การศึกษานี้ใช้กลุ่มโรคแทนรายชื่อโรคเพื่อให้ตารางสถิติมีขนาดเหมาะสมในการนำเสนอ เมื่อใช้วิธีลูกโซ่มาร์คอฟกับข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการโรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่งที่มีประมาณ 3,900 คนต่อปี หากกำหนดให้โรงพยาบาลแห่งนี้มีการดำเนินการยังคงเป็นเช่นปี พ.ศ. 2559 และ 2560 ที่ผ่านมา (สะท้อนออกมาในรูปของการเปลี่ยนสถานะของจำนวนกลุ่มโรคจากปี 2559 สู่ 2560) แล้ว ใน 5 ปีข้างหน้า คือ พ.ศ. 2561-2565 จะมีสัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กลุ่มโรคจะเพิ่มขึ้นจาก 0.714 เป็น 0.764, 0.783, 0.792, 0.795, และ 0.796 ตามลำดับ เพิ่มขึ้นปีต่อปีที่ร้อยละ 7.0, 2.5, 1.1, 0.4, และ 0.1 ตามลำดับ และในปีที่ 6 พ.ศ. 2566 สัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าสองกลุ่มโรคจะคงตัวที่ 0.798 ขณะที่สัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคมากกว่าหนึ่งกลุ่มโรคลดลงที่ 0.202 ดังนั้นหากโรงพยาบาลมีเป้าหมายประสงค์ที่จะลดสัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคมากกว่าหนึ่งกลุ่มโรคลง ก็ต้องทำการศึกษารายละเอียดข้อมูลผู้ป่วยเพื่อนำแผนบริการที่เหมาะสมมาใช้ต่อไป

คำสำคัญ: การพยากรณ์ จำนวนกลุ่มโรคของผู้ป่วย ลูกโซ่มาร์คอฟ อนุกรมเวลาหลายกลุ่มรายการ

Abstract

The patients' profile classified by the number of diseases per patient can be reflected by the services level of a hospital, if the proportions by patients' with higher number of diseases are reduced from the previous year. Each patient can changed the number of diseases from one number to the other number in the consecutive years. This study used the number of groups of diseases (NGD) instead of number of diseases to present appropriate size of statistical tables. The patients' record from the hospital data base can be processed NGD and the proportion by NGD and the transition from one NGD to another NGD found. Applying the Markov chain to a district hospital of about 3,900 patients per annum, if their operations were the same in 2016 and 2017 (reflected by the transition from 2016 to 2017); then for the next 5 years (2018-2022), the group of less than two diseases will be increased from 0.714 to 0.764, 0.783, 0.792, 0.795, and 0.796, respectively, or year on year percentage increase at 7.0, 2.5, 1.1, 0.4, and 0.1,

¹ หลักสูตรการแพทย์แผนไทยบัณฑิต คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยปทุมธานี

² โรงพยาบาลบ้านนา สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดนครนายก

¹ Thai Traditional Medicine Curriculum, College of Public Health and Environmental, Pathumthani University

² Banna Hospital, Nakhonnayok Provincial Public Health Office

* Corresponding author: Vadhana Jayathavaj , Thai Traditional Medicine Curriculum, College of Public Health and Environmental, Pathumthani University, E-mail: vadhana.j@ptu.ac.th

respectively. In the 6th year (2023), the proportion by number of groups of diseases will progress to steady state; the group of less than two diseases will be at 0.798 while the group of more than one disease will be at 0.202. If the hospital aims to reduce the proportion of the group of more than one disease, then detailed study is needed to implement a suitable service plan.

Keywords: predicting, number of groups of diseases, Markov chain, categorical time series

บทนำ

ในการศึกษาโรคร่วม (comorbidity) แมรี ชาร์ลสัน และเพื่อนร่วมงานได้พัฒนาตราชนี้การประเมินภาวะโรคร่วม (Charlson Comorbidity Index, CCI) ตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1987 โดยการถ่วงน้ำหนักเงื่อนไขโรคร่วมที่กำหนดจำนวนหนึ่งเพื่อทำนายความเสี่ยงในการเสียชีวิตของผู้ป่วยภายใน 1 ปีของการรักษา¹ ได้มีการใช้ CCI ในการศึกษาภาวะโรคร่วมกับผู้ป่วยกระดูกสะโพกหักภายหลังผ่าตัด² การตอบสนองต่อการอักเสบของผู้ป่วยติดเชื้อทางเดินหายใจ³ โรคร่วมเป็นตัวแปรหนึ่งในการศึกษาคุณภาพชีวิตของผู้สูงอายุที่มีโรคเรื้อรัง⁴

สำหรับรายงานการศึกษาจำนวนโรคโดยรวมของผู้ป่วยแต่ละรายที่มาพบแพทย์ในรอบ 1 ปี (number of disease episodes per patient per year) และจำนวนครั้งที่พบแพทย์ (the number of contacts per disease episode) พบว่ามีอยู่สูงสำหรับผู้ป่วยที่อยู่ในกลุ่มทางสังคมต่ำ⁵ อย่างไรก็ตาม การศึกษารูปแบบจำนวนโรคโดยรวมของผู้ป่วยแต่ละรายที่มาพบแพทย์ในรอบ 1 ปี ก็สามารถให้สะท้อนการให้บริการของโรงพยาบาลได้

จากการรวบรวมข้อมูลผู้ป่วยที่มารับบริการที่โรงพยาบาลชุมชนแห่งหนึ่ง ระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2558 ถึง 20 ตุลาคม 2560 มีผู้ป่วยมาพบแพทย์ จำนวนทั้งสิ้น 5,199 คน รายการบันทึกผู้ป่วย 61,745 รายการ เป็นผู้ป่วยรหัสโรคตาม ICD-10 ที่แตกต่างกันถึง 1,250 รหัสโรค แสดงว่ามีอาการมาโรงพยาบาลซ้ำ ๆ และแต่ละคนก็มีหลายโรค รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

การศึกษาข้อมูลผู้ป่วยในแต่ละปี ผู้ป่วยคนหนึ่งมาโรงพยาบาลด้วยโรคร่วมกันเป็นจำนวนกี่โรค ซึ่งโรคจากข้อมูลรายการผู้ป่วยที่บันทึกไว้ สามารถนำมาจำแนกผู้ป่วยแต่ละรายว่ามาพบแพทย์เมื่อใด ด้วยโรคอะไรตามที่แพทย์ระบุด้วยรหัส ICD-10 และสามารถจำแนกผู้ป่วยแต่ละคนว่ามาโรงพยาบาลด้วยจำนวนโรคที่ไม่ซ้ำกันว่ามีกี่โรคในแต่ละปี ซึ่งการแจกแจงการเปลี่ยนแปลงเพิ่มหรือลดลงของจำนวนโรคของผู้ป่วยแต่ละคนว่าในปีก่อนหน้ามีจำนวนกี่โรคและปีนี้มีจำนวนกี่โรค ซึ่งจำนวนโรครวมต่อคนต่อปีมีค่าเป็น 0,1,2,3,... โรคต่อปี กรณีของปี พ.ศ. 2558 ไปยังปี พ.ศ. 2559 ซึ่งมีรูปแบบของผู้ป่วย

จำนวนโรครวมต่อคนต่อปีที่ไปโรงพยาบาล สามารถนำมาทำนายเปรียบเทียบกับข้อมูล 10 เดือนปี พ.ศ. 2560 (ถึงเพียงวันที่ 20 ตุลาคม) และถ้าสภาพการบริการยังคงเป็นไปอย่างไรเดิมจะมีรูปแบบสัดส่วนของจำนวนโรคต่อคนต่อปีเป็นอย่างไรในอนาคต การศึกษานี้กำหนดรูปแบบโรคของผู้ป่วยเป็นจำนวนกลุ่มโรครวมต่อคนต่อปีที่ผู้ป่วยมาโรงพยาบาล การใช้จำนวนกลุ่มโรคแทนจำนวนโรค เนื่องจากใช้พื้นที่ตารางขนาดเล็กสามารถนำเสนอได้สะดวก ผลของการศึกษาสามารถนำวิธีการไปประยุกต์กับการประมาณการเปลี่ยนสถานะของผู้ป่วย⁶

วิธีการศึกษา

นอกจากการใช้สถิติเชิงพรรณนาได้แก่ การแจกแจงความถี่ (frequency distribution) การคำนวณสัดส่วน (proportion/probability) ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้ว การใช้สถิติเชิงอนุมานประมาณการสัดส่วนตามรูปแบบจำนวนกลุ่มโรคของผู้ป่วยต่อคนต่อปีในอนาคต ซึ่งเป็นการทำนายสัดส่วนเชิงอนุกรมเวลาของหลาย ๆ กลุ่มหรือ หลาย ๆ รายการพร้อมกันได้ (categorical time series forecasting) ในประเทศไทย พบมีการนำวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov chain) มาใช้ในการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์วิเคราะห์ต้นทุนหรือประโยชน์เปรียบเทียบระหว่างการฟอกเลือดกับการล้างไตทางช่องท้องอย่างต่อเนื่องในผู้ป่วยไตวายระยะสุดท้าย⁶

ลูกโซ่มาร์คอฟ เป็นกระบวนการสโทแคสติก (a stochastic process) ใช้อธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของสรรพสิ่งบนโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปตามเวลา ผู้ที่นำเสนอวิธีการนี้คือ Andrei Markov (1856–1922) ในปี ค.ศ. 1907⁷⁻¹⁰ ลูกโซ่มาร์คอฟสามารถนำมาใช้ในการประมาณรูปแบบการรับบริการของผู้ป่วยซึ่งกำหนดสถานะ (state) ของผู้ป่วยจากจำนวนโรคที่มาพบแพทย์ในรอบ 1 ปี ว่ามีสัดส่วน (ความน่าจะเป็น) ในแต่ละสถานะอย่างไรในอนาคต โดยมีทฤษฎีดังนี้

Table 1 Number of patients and number of visits per patients in 2015-2017 (10 months)

Year	Number of patients	Number of visits per patient			
		Minimum	Maximum	Average	Standard deviation
2015	3,907	1	117	5.94	7.70
2016	3,951	1	155	6.02	7.93
2017 (10 months)	3,307	1	109	4.46	5.55
Whole period	5,199	1	355	11.88	16.95

สำหรับลูกโซ่มาร์คอฟที่มีจำนวนสถานะจำนวน n สถานะ ซึ่ง n เป็นเลขจำนวนเต็มบวกที่มากกว่าศูนย์ และ $n \geq 2$ แล้ว ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะคือสมาชิกของเมตริกซ์ขนาด $n \times n$ (แถว \times คอลัมน์ของเมตริกซ์) สำหรับเมตริกซ์ M เป็นเมตริกซ์ของการเปลี่ยนสถานะ (transition matrix) เมื่อ m_{ij} เป็นสมาชิกแถวที่ i คอลัมน์ที่ j คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ s_i เป็นสถานะ s_j เมื่อ $i, j = 1, 2, \dots, n$ กระบวนการมีการเปลี่ยนสถานะจากสถานะหนึ่งไปยังอีกสถานะหนึ่ง (รวมถึงสถานะเดิมก็ได้) เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในกระบวนการ M ถูกเรียกว่าเป็นเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ สำหรับ i ใดๆ $m_{i1} + m_{i2} + \dots + m_{in} = 1$ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, n$.

ในการศึกษานี้ s_i เมื่อ $i, j = 1, 2, \dots, n$ คือสถานะที่กำหนดโดยรูปแบบโรคตามจำนวนกลุ่มโรค มีค่าเป็น $0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots$

เมตริกซ์แถว $P_k = [p_1^{(k)} \ p_2^{(k)} \ \dots \ p_n^{(k)}]$ เป็นเวกเตอร์ความน่าจะเป็นของวงจรการเปลี่ยนแปลง ความน่าจะเป็น $p_i^{(k)}$ คือ ความน่าจะเป็นของกระบวนการสถานะที่ i ในขั้นตอนที่ k สำหรับ $i = 1, 2, \dots, n$ และ $k = 1, 2, \dots$ และ $p_1^{(k)} + p_2^{(k)} + \dots + p_n^{(k)} = 1$ การพยากรณ์เหตุการณ์ไปข้างหน้าที่ขั้นตอนที่ $k+1$ (หรือช่วงเวลา $k+1$) ความน่าจะเป็นของสถานะในเวลา $k+1$ คือ $P_{k+1} = P_k M$ และ $P_{k+1} = P_0 M^k$ สำหรับทุกค่าของ k .

$$\begin{aligned}
 P_{k+1} &= [p_1^{(k+1)} \ p_2^{(k+1)} \ \dots \ p_n^{(k+1)}] \\
 &= P_k M \\
 &= [p_1^{(k)} \ p_2^{(k)} \ \dots \ p_n^{(k)}] \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

การคูณเมตริกซ์สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในรูปตารางประมวลผลได้โดยง่าย ผลของการคูณเมตริกซ์สำหรับค่าสถานะของ $p_i^{(k+1)}$ ก็คือผลรวมของสัดส่วนเดิมของสถานะ q ที่เปลี่ยนแปลงมาสู่สถานะ i ด้วยอัตราการเปลี่ยนแปลง m_{qi} เมื่อ $q = 1, 2, \dots, n$. ลูกโซ่มาร์คอฟจะเรียกว่าเป็น "ลูกโซ่เออร์โกดิก" (Ergodic chain) ถ้ามีความเป็นไปได้เมื่อขั้นตอนดำเนินไปเรื่อย ๆ ในระยะยาวไม่สิ้นสุดแล้ว ลูกโซ่เออร์โกดิกมีแนวโน้มเข้าสู่สถานะสมดุล ซึ่งความน่าจะเป็นของสถานะเวกเตอร์ P_k มีค่าคงที่ $P = [p_1 \ p_2 \ \dots \ p_n]$ ซึ่งจะถูกเรียกว่าถึงเวกเตอร์ที่ตัดจำกัดของวงจรที่ดำเนินไป ที่สถานะสมดุลจะมี $P = PM$ และ $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$ ทำให้สามารถใช้คุณสมบัติของลูกโซ่เออร์โกดิกในการพยากรณ์สถานะของปรากฏการณ์ในอนาคตระยะยาวได้ การใช้เมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ M ซึ่งเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนเป็นตัวคูณกับสถานะไปเรื่อยๆ นี้ เมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ M จึงเป็นตัวสะท้อนการดำเนินงานว่าถ้ามีการดำเนินงานอย่างเดิมก็จะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดิม อันเป็นหลักการที่สำคัญของลูกโซ่มาร์คอฟ

ลำดับขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลผู้ป่วย ดังแสดงใน Figure 1 มีดังนี้

1. จำแนกรายการผู้ป่วยจากฐานข้อมูล โดยแต่ละรายการข้อมูลประกอบไปด้วยสดมภ์ รหัสผู้ป่วย เพศ อายุ วันที่มาโรงพยาบาล และ รหัสโรคตาม ICD-10

2. สร้างรายการข้อมูลผู้ป่วยประกอบด้วยสดมภ์ รหัสผู้ป่วย เพศ อายุ ปีที่มาโรงพยาบาล และ จำนวนรหัสโรคตาม ICD-10 ที่ไม่ซ้ำกัน กำหนดรหัสโรคตาม ICD-10 ตามกลุ่มโรค

3. ทำการแจกแจงรายการข้อมูลผู้ป่วยโดยจำแนกตามสถานะตามจำนวนกลุ่มโรคในปีก่อนหน้ากับสถานะตามจำนวนกลุ่มโรคในปีนั้น (การทำ cross tabulation) เมื่อแปลงเป็นสัดส่วนแล้วก็จะเป็นเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะตามจำนวนโรคของปีที่ก่อนหน้า ($k-1$) กับปีนั้น (k) คือ $M_{(k-1) \rightarrow k}$ และ สถานะตามจำนวนโรคในปีก่อนหน้า (P_{k-1}) กับสถานะตามจำนวนโรคในปีนั้น (P_k)

4. นำสถานะตามจำนวนโรคในปีเริ่มต้น (P_0) คูณกับเมตริกซ์ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะ (M) จำนวน k ครั้ง ก็จะได้สถานะตามจำนวนโรคในปีที่ $k+1$ ตามสมการ $P_{k+1} = P_0 M^k$

การรับรองจริยธรรม

การใช้ข้อมูลผู้ป่วยของโรงพยาบาลเพื่อการวิเคราะห์ทางสถิติได้มีหนังสืออนุญาตจากผู้บริหารของโรงพยาบาลชุมชน และได้รับการอนุมัติในการพิจารณาโครงการวิจัยแบบเร่งรัด โดยคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคนด้านการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก กระทรวงสาธารณสุข รหัสโครงการวิจัยที่ 08-2560 วันที่พิจารณาอนุมัติ 2 ต.ค. 2560 ถึง 2 ต.ค. 2561

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

การจัดรูปแบบการรับบริการของผู้ป่วยที่มารับบริการตามจำนวนรหัสโรค ICD-10 ทำให้เกิดสถานะจำนวนมาก จึงจัดรูปแบบการรับบริการของผู้ป่วยตามจำนวนกลุ่มรหัสโรค ICD-10 3 หลักแทน เนื่องจากรหัสโรค ICD-10 ที่มีอาการโรคคล้ายคลึงกันจะมีการจัดอยู่ในกลุ่มรหัสโรค ICD-10 เดียวกัน ทำให้เกิดสถานะตามจำนวนกลุ่มรหัสโรค คือ 0,1,2,...,11 จำนวนรหัสโรค และได้รวมจำนวนกลุ่มรหัสโรคที่มากกว่า 5 เข้าด้วยกัน เนื่องจากสถานะจำนวนกลุ่มโรค 6,7,...,11 มีจำนวนผู้ป่วยน้อย จึงมีสถานะตามจำนวนรหัสกลุ่มโรค 3 หลักเป็น 0,1,2,3,4,5,>5

กำหนดให้ $P_{2015}, P_{2016}, P_{2017}, \dots$ คือ ความน่าจะเป็นของสถานะในปี พ.ศ. 2558, 2559, 2560, ... (ค.ศ. 2015, 2016, 2017, ...)

$M_{2015 \rightarrow 2016}$ คือ ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจากปี พ.ศ. 2558->2559 (ค.ศ. 2015->2016)

การแจกแจงความถี่ผู้ป่วยตามจำนวนกลุ่มโรค ICD-10 สำหรับปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) และ ปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ดังแสดงใน Table 2 และ สำหรับปี พ.ศ. 2559 2560 (10 เดือน) (ค.ศ. 2016 2017 (10 เดือน)) ดังแสดงใน Table 3 และได้คำนวณความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงสถานะของปี พ.ศ. 2558->2559 และ พ.ศ. 2559->2560 ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5 ($M_{2015 \rightarrow 2016}$ และ $M_{2016 \rightarrow 2017}$) ตามลำดับ

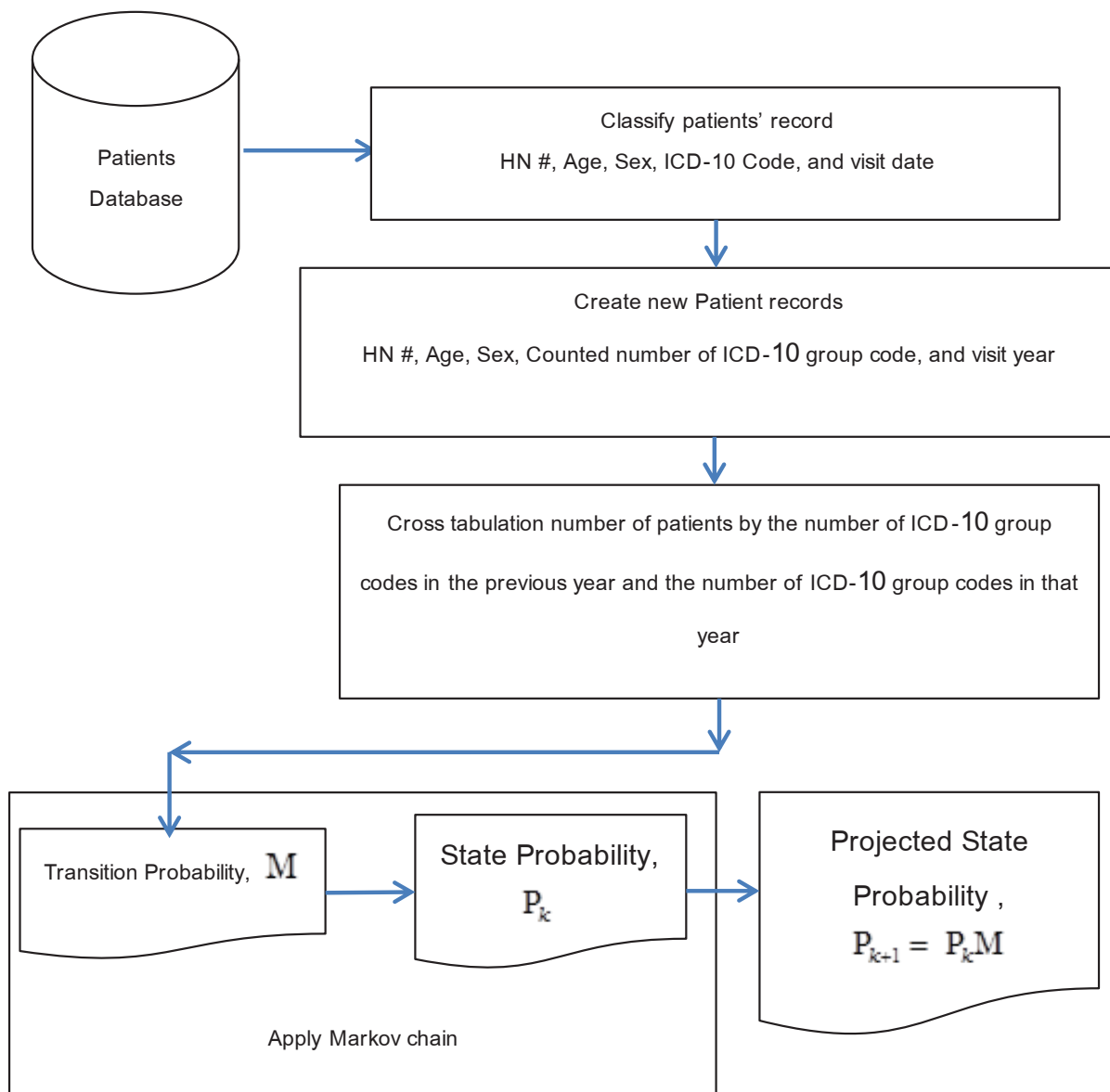


Figure 1 Processing Steps

Table 2 Number of patients classified by number of ICD-10 groups in 2015 and 2016

2015 Number of ICD-10 groups per patient	2016 Number of ICD-10 groups per patient							Total
	0	1	2	3	4	5	>5	
0	362	656	182	59	27	4	2	1,292
1	597	728	336	123	40	18	9	1,851
2	187	279	246	118	62	23	9	924
3	73	113	134	111	52	33	27	543
4	18	46	65	67	62	42	19	319
5	4	10	24	43	31	25	20	157
>5	7	5	6	8	21	21	45	113
Total	1,248	1,837	993	529	295	166	131	5,199

Table 3 Number of patients classified by number ICD-10 groups in 2016 and 2017 (10 months)

2016 Number of diseases per patient	2017 (10 months) Number of diseases per patient							Total
	0	1	2	3	4	5	>5	
0	669	433	109	31	6		-	1,248
1	784	721	232	69	25	6	-	1,837
2	275	376	184	101	35	19	3	993
3	94	171	125	75	37	17	10	529
4	48	80	72	34	37	14	10	295
5	14	21	45	33	20	18	15	166
>5	8	18	16	19	20	25	25	131
Total	1,892	1,820	783	362	180	99	63	5,199

Table 4 Transition matrix from 2015 to 2016 ($M_{2015 \rightarrow 2016}$)

2015	2016							Total	P_{2015}
	0	1	2	3	4	5	>5		
0	0.280	0.508	0.141	0.046	0.021	0.003	0.002	1.000	0.249
1	0.323	0.393	0.182	0.066	0.022	0.010	0.005	1.000	0.356
2	0.202	0.302	0.266	0.128	0.067	0.025	0.010	1.000	0.178
3	0.134	0.208	0.247	0.204	0.096	0.061	0.050	1.000	0.104
4	0.056	0.144	0.204	0.210	0.194	0.132	0.060	1.000	0.061
5	0.025	0.064	0.153	0.274	0.197	0.159	0.127	1.000	0.030
>5	0.062	0.044	0.053	0.071	0.186	0.186	0.398	1.000	0.022
P_{2016}	0.240	0.353	0.191	0.102	0.057	0.032	0.025	1.000	1.000

Table 5 Transition matrix from 2016 to 2017 (10 months) ($M_{2016 \rightarrow 2017}$)

2016	2017 (10 months)							Total	P_{2016}
	0	1	2	3	4	5	>5		
0	0.536	0.347	0.087	0.025	0.005	0.000	0.000	1.000	0.240
1	0.427	0.392	0.126	0.038	0.014	0.003	0.000	1.000	0.353
2	0.277	0.379	0.185	0.102	0.035	0.019	0.003	1.000	0.191
3	0.178	0.323	0.236	0.142	0.070	0.032	0.019	1.000	0.102
4	0.163	0.271	0.244	0.115	0.125	0.047	0.034	1.000	0.057
5	0.084	0.127	0.271	0.199	0.120	0.108	0.090	1.000	0.032
>5	0.061	0.137	0.122	0.145	0.153	0.191	0.191	1.000	0.025
P_{2017}	0.364	0.350	0.151	0.070	0.035	0.019	0.012	1.000	0.000

Table 6 Projected state probabilities for 2017 to 2021 using 2015 as the based year

Stage by number of ICD-10 Groups									
Step	year	0	1	2	3	4	5	>5	Total
0	P_{2015}	0.249	0.356	0.178	0.104	0.061	0.030	0.022	1.000
$P_{2015} \times M_{2015 \rightarrow 2016}$									
1	2016 estimate	0.240	0.353	0.191	0.102	0.057	0.032	0.025	1.000
2	2017	0.239	0.351	0.192	0.102	0.057	0.032	0.026	1.000
3	2018	0.238	0.350	0.192	0.102	0.058	0.033	0.027	1.000
4	2019	0.238	0.350	0.192	0.103	0.058	0.033	0.027	1.000
5	2020	0.238	0.349	0.192	0.103	0.058	0.033	0.028	1.000
6	2021	0.238	0.349	0.192	0.103	0.058	0.033	0.028	1.000

Table 7 Projected state probabilities for 2017 to 2021 using 2015 as the based year

Stage by number of ICD-10 Groups					Change +/-	
Step	year	≤1	>1	Total	≤1	>1
0	P_{2015}	0.605	0.395	1.000	-	-
$P_{2015} \times M_{2015 \rightarrow 2016}$						
1	2016 estimate	0.593	0.407	1.000	-0.012	+0.012
2	2017	0.590	0.410	1.000	-0.003	+0.003
3	2018	0.588	0.412	1.000	-0.002	+0.002
4	2019	0.588	0.412	1.000	0	0
5	2020	0.587	0.413	1.000	-0.001	+0.001
6	2021	0.587	0.413	1.000	0	0.000

Table 8 Projected state probabilities for 2018 to 2024 using 2016 as the based year

Stage by number of ICD-10 Groups									
Step	year	0	1	2	3	4	5	>5	Total
0	P_{2016}	0.240	0.353	0.191	0.102	0.057	0.032	0.025	1.000
$P_{2016} \times M_{2016 \rightarrow 2017}$									
1	2017	0.364	0.350	0.151	0.070	0.035	0.019	0.012	1.000
	estimate								
2	2018	0.407	0.357	0.135	0.057	0.025	0.012	0.007	1.000
3	2019	0.423	0.360	0.129	0.052	0.021	0.009	0.005	1.000
4	2020	0.430	0.362	0.127	0.050	0.020	0.008	0.004	1.000
5	2021	0.433	0.362	0.126	0.049	0.019	0.008	0.003	1.000
6	2022	0.434	0.362	0.126	0.048	0.019	0.008	0.003	1.000
7	2023	0.435	0.363	0.125	0.048	0.019	0.007	0.003	1.000
8	2024	0.435	0.363	0.125	0.048	0.019	0.007	0.003	1.000

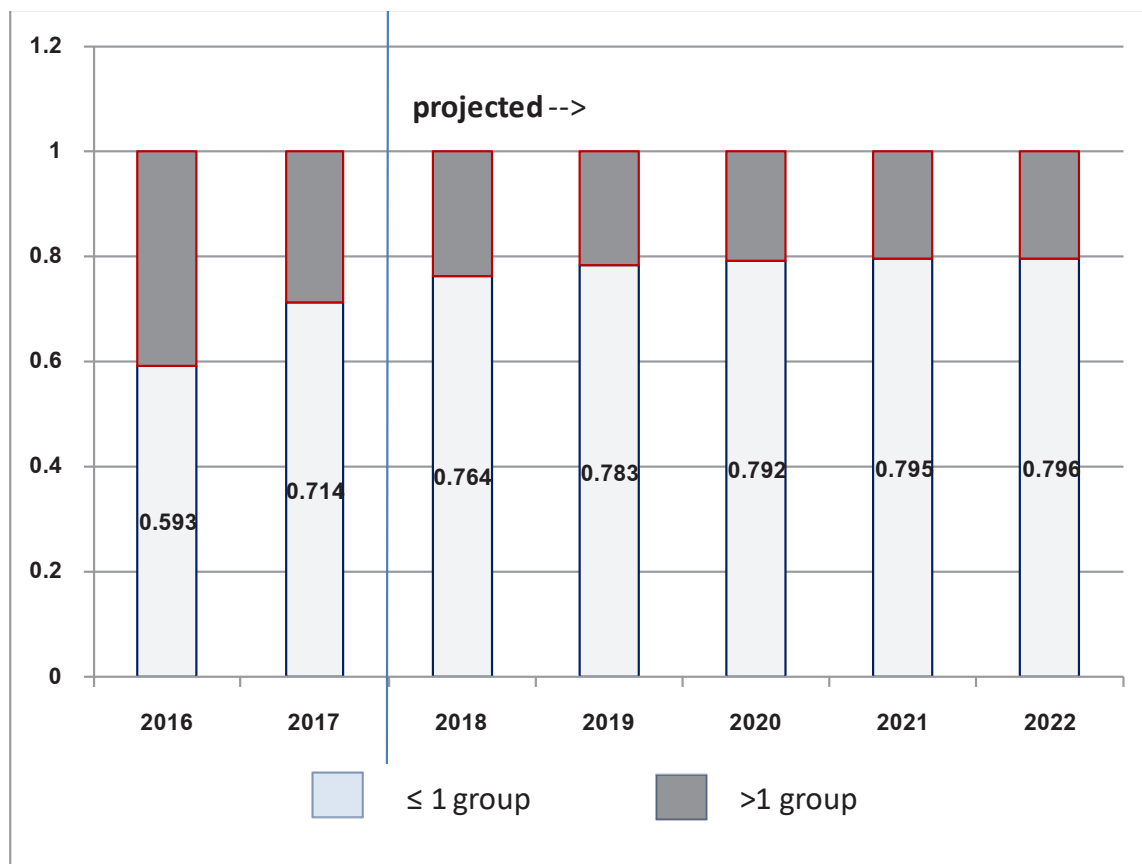


Figure 2 Proportions of Patients' by the number of groups of diseases during 2016 – 2022

สรุปผลการศึกษา

นิยามของเมตริกซ์ของการเปลี่ยนสถานะ (transition matrix) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการดำเนินการ การใช้เมตริกซ์ของการเปลี่ยนสถานะเดิม ๆ ก็จะหมายถึงวิธีการดำเนินงานในการให้บริการไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ดังนั้น การคำนวณสถานะของปีต่อ ๆ ไป เรื่อย ๆ ก็หมายถึงวิธีการให้บริการทางการแพทย์แบบเดิม ๆ ของโรงพยาบาลจะส่งผลต่อสัดส่วนตามจำนวนกลุ่มโรคอย่างไรในอนาคตเท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงไม่ลงไปวิเคราะห์รายละเอียดของการให้บริการของโรงพยาบาลแต่อย่างใด

ถ้าเชื่อว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสถานะของปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ไปยังปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) จะดำเนินต่อไปเหมือนเดิม เพราะไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยการให้บริการใด ๆ ตามแนวคิดของวิธีลูกโซ่มาร์คอฟแล้ว ก็สามารถประมาณการสถานะเดิมปีของปี พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) ได้ตามความเชื่อดังกล่าวได้โดยใช้สถานะของปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) กับความน่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของปี ค.ศ. 2015->2016 ประมาณการอนาคตต่อ ๆ ไปได้ พบว่า สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กลุ่มโรค มีสัดส่วนในปี พ.ศ. 2558 และ 2559 เท่ากับ 0.605 และ 0.593 กล่าวคือ ลดลง 0.012 สำหรับประมาณการปี พ.ศ. 2560 ถึง 2564 เป็น 0.590, 0.588, 0.588, 0.587, และ 0.587 ตามลำดับ ซึ่งลดลง 0.003, 0.002, 0.000, 0.001, และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าในอนาคตจะมีสัดส่วนจำนวนกลุ่มโรคมากกว่าหนึ่งโรคเพิ่มมากขึ้น รายละเอียดของสัดส่วนในแต่ละสถานะในแต่ละปีแสดงใน Table 6 ส่วนการสรุปสัดส่วนกลุ่มโรคที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กลุ่มโรค (0 หรือ 1) กับมากกว่าหนึ่งกลุ่มโรค (2 3 4 5 และมากกว่า 5) แสดงใน Table 7

แต่ถ้ามีการดำเนินการของโรงพยาบาลที่แตกต่างไปจากเดิมแล้วสถานะของปี พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) ที่ได้จากข้อมูล 10 เดือนเชื่อว่าจะเป็นสถานะใหม่และจะดำเนินต่อไป การประมาณการอนาคตก็จะใช้สถานะของปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) กับความน่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ไปยังปี พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) ประมาณการอนาคต พบว่า สัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กลุ่มโรค เป็นดังนี้ พ.ศ. 2559 และ 2560 (10 เดือน) คือ 0.593 และ 0.714 ตามลำดับ เพิ่มขึ้น 0.121 การประมาณการสัดส่วนผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือ

เท่ากับ 1 กลุ่มโรคในปี พ.ศ. 2561 2562 2563 และ 2564 คือ 0.764 0.783 0.792 0.795 และ 0.976 เพิ่มขึ้น 0.050 0.019 0.009 0.003 และ 0.001 ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงใน Table 8 และ Figure 2 ซึ่งการดำเนินงานในปี 2559 ไปยัง 2560 (10 เดือน) นี้ ทำให้สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีกลุ่มโรคมากกว่าหนึ่งกลุ่มโรคลดลง สังเกตได้จากกราฟแท่งใน Figure 2

เมื่อใช้รูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสถานะของปี พ.ศ. 2558 (ค.ศ. 2015) ไปยังปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ประมาณการปี พ.ศ. 2560 ถึง 2564 สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 สองกลุ่มโรค เป็น 0.590, 0.588, 0.588, 0.587, และ 0.587 ตามลำดับ แต่เมื่อใช้ความน่าจะเป็นการเปลี่ยนแปลงสถานะของปี พ.ศ. 2559 (ค.ศ. 2016) ไปยังปี พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) สัดส่วนของผู้ป่วยที่มีจำนวนกลุ่มโรคน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 กลุ่มโรค เป็น 0.714, 0.764, 0.783, 0.792, และ 0.795 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกัน ย่อมมีผลมาจากการดำเนินการที่แตกต่างกัน ผู้บริหารสามารถตัดสินใจจัดการการดำเนินงานให้สอดคล้องกับเป้าประสงค์ต่อไป

การศึกษานี้เป็นเพียงการสะท้อนภาพการดำเนินงานเท่านั้น ไม่ใช่เป็นการศึกษาโรคร่วม แต่อย่างใดเป็นการแสดงการนำข้อมูลผู้ป่วยที่มีมาประมวลผลและวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการลูกโซ่มาร์คอฟ จากข้อมูลที่ได้รับอนุญาตให้ทำการศึกษา เพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการพยากรณ์อนุกรมเวลาของกลุ่มรายการหลายรายการหรือสถานะต่าง ๆ หลายสถานะพร้อมกัน ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางการแพทย์และการสาธารณสุขได้ ได้แก่ การทำนายสถานะพยาธิสภาพของการดำเนินโรค การทำนายกลุ่มอาการโรคภาวะผิดปกติทางเมตาบอลิซึม (metabolic syndrome) หรือโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (noncommunicable diseases) จากจำนวนปัจจัยที่กำหนด ซึ่งสถานะของโรคสามารถกำหนดตามระดับค่าที่วัดได้ของปัจจัยที่กำหนด เป็นต้น วิธีการพยากรณ์ด้วยลูกโซ่มาร์คอฟสามารถทำนายเป็นกลุ่มรายการหลายรายการพร้อมกัน ซึ่งแตกต่างไปจากเทคนิคอนุกรมเวลาเชิงสถิติแบบอื่น ๆ ที่ทำนายเพียงทีละตัวแปร เช่น การพยากรณ์อนุกรมเวลาโดยวิธีการปรับให้เรียบเอ็กซ์โพเนนเชียลหรือวิธีบอซซ์เจนส์กินส์ เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารและหัวหน้างานโรงพยาบาล
บ้านนา จังหวัดนครนายก ที่สนับสนุนการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. National Institutes of Health NIH, National Cancer Institute NCI. Comorbidity Index Overview History of the NCI Comorbidity Index updated 14 Mar 2017. Available from <https://healthcaresdelivery.cancer.gov/seermedicare/considerations/comorbidity.html> Accessed December 28, 2016.
2. Klaewklong S, Chanruangvanich W, Danaidutsadeekul S, Riansuwan K. Relation of Comorbidity, Grip Strength and Stress to Hip Fracture Patients' Post-Operative Functional Recovery. Thai Journal of Nursing Council. 2014; 29(2);36-48. (in Thai).
3. Srivisai T, Pinyopasakul W, Charoenkitkarn V. Relationships between Age, Body Mass Index, Comorbidity, and Systemic Inflammatory Response Syndrome in Patients with Respiratory Infection at an Emergency Unit. Ramathibodi Nursing Journal . 2015; 21(2);186-98. (in Thai).
4. Vannachart M, Nuntamongkolchai S, Mhunsawaeng-trupaya C, Tachaboonsermsak P. Quality of life of Chronic Elderly in Ubon Ratchathani Province. Journal of Health Science. 2014; 23(5); 794-803. (in Thai).
5. Bjerregaard P, Bjerregaard B. 1985. Disease Pattern in Upernavik in Relation to Housing Conditions and Social Group. Meddelelser om Grønland, Man & Society . 1985; 8;1-18
6. Teerawattayanont Y. (2006). Costs of effectiveness and utility of renal replacement therapy. Journal of Nephrology Society of Thailand. 12(2) spp1: 50-57. (in Thai).
7. Gagniuc P. Markov chains: from theory to implementation and experimentation. New Jersey: John Wiley & Sons. 2017.
8. Ibe OC. Markov processes for stochastic modelling. Burlington: Elsevier Academic Press. 2009.
9. Lindsey JK. Statistical analysis of stochastic processes in time. Cambridge: Cambridge University Press. 2004.
10. Voskoglou MGr. Applications of finite Markov chain models to management. American Journal of Computational and Applied Mathematics. 2016; 6(1):7-13.

การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277

Analysis of Road Accidents on High Way Route 401 between 247 km and 277 km

ศิริพร ด่านคชาธาร*, จันจิรา มหาบุญ, มุจลินท์ อินทรเหมือน, ราชนัน ฉ้วนเจริญ, มัตติกา ยงประเดิม
Siriporn Darnkachatarn*, Junjira Mahaboon, Mujalin Intaramuen, Rachan Chuanchaoren,
Muttika Yongpraderm

Received: 29 May 2019 ; Revised: 26 July 2019 ; Accepted: 6 August 2019

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์และค้นหาจุดเสี่ยงบนถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ระยะทางจากตำบลกลาย กม.247 ถึงตำบลท่าศาลา กม. 277 รวมระยะทางทั้งหมด 30 กม. และเพื่อศึกษาการรับรู้ความเสี่ยงของปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 400 คน คัดเลือกจากประชาชน จำนวน 10 หมู่บ้านในพื้นที่ อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ แบบบันทึกการเกิดอุบัติเหตุ ส่วนที่ 2 คือ แบบสอบถามปัจจัยการรับรู้ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อันวิเคราะห์ผลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ผลการศึกษาพบว่า จากอุบัติเหตุย้อนหลัง 3 ปี ระหว่างปี 2558-2560 มีการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 137 ครั้ง มีผู้เสียชีวิต 14 ราย บาดเจ็บ 142 ราย มีจุดเสี่ยงทั้งหมด 19 จุด โดยเป็นลักษณะของถนนที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดเป็นถนนทางตรง (ร้อยละ 34.31) ส่วนลักษณะการเกิดอุบัติเหตุพบว่าลักษณะการชนส่วนใหญ่เป็นแบบมีคู่กรณี (ร้อยละ 61.31) สภาพอากาศที่เกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่เป็นอากาศปกติ (ร้อยละ 78.83) ช่วงเวลาที่เกิดอุบัติเหตุเป็นช่วงเวลากลางวันมากที่สุด จำนวน (ร้อยละ 61.90) เกิดขึ้นกับรถจักรยานยนต์สูงสุด (ร้อยละ 48.50) การรับรู้ความเสี่ยงของปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนนพบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอายุ ระหว่าง 21 –30 ปี (ร้อยละ 35.3) โดยใช้จักรยานยนต์เป็นยานพาหนะในการเดินทาง มากที่สุด (ร้อยละ 48.50) ช่วงเวลาที่ใช้ถนนมากที่สุดคือ เวลาเร่งด่วน (07.00-8.00 และ 15.00-16.00) ส่วนใหญ่ใช้เส้นทางมากกว่า 10 ครั้งต่อสัปดาห์ และใช้ความเร็วประมาณ 80-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนการรับรู้ปัจจัยความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุ พบว่าการรับรู้ปัจจัยด้านคน ปัจจัยด้านถนน/สิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านสภาพรถ อยู่ในระดับสูงเท่ากัน

จากผลการศึกษาแนวทางในการแก้ไขจุดเสี่ยง ควรสร้างการมีส่วนร่วมของชุมชนและอาสาสมัครในพื้นที่ต่างๆให้มากขึ้น เพื่อเป็นผู้ให้ข้อมูลจุดเสี่ยง และบริเวณโค้งบ้านในถ้ำที่เกิดอุบัติเหตุบ่อยครั้งควรติดตั้งอุปกรณ์ราวกันชน เพื่อป้องกันการชนเสาไฟฟ้าริมทางหลวง และมีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่องเพื่อลดอุบัติเหตุทางถนน

คำสำคัญ: การวิเคราะห์อุบัติเหตุ จุดเสี่ยง การรับรู้ความเสี่ยง

Abstract

The objectives of this study were to analyze and identify risk points on Highway Road No. 401, Tha Sala Sub-district, Nakhon Si Thammarat Province, starting from Klay Sub-district Km. 247 to Tha Sala Sub-district Km. 277, a total of 30 kilometers. Risk perception of the sample group was also examined. The sample included 400 residents from 10 nearby villages in Tha Sala Sub district. The study tools were 2 parts.- Part 1 a road accident record form and Part 2 a survey questionnaire regarding perception factors of road accidents. Data were analyzed using descriptive statistics. The results from analysis of road accident data from year 2016 – 2018 found that there were 137 accidents, 14 fatalities, and 142 injuries. It was found 19 risk points which mostly on a straight road section (34.31%).

The characteristics of the accidents demonstrated that most of the collisions were with other road users (61.31%). Accidents mostly occurred during normal and clear weather (78.83%) and day time (61.90%). The type of vehicles with the highest number of crashes was a car (48.50%). Most respondents were between 21 - 30 years old (35.5%) and used a motorcycle (48.50%). The rush traffic period was between 07.00 - 08.00 and 15.00 - 16.00 hours. The route was used more than 10 times per week and a preferred speed was 80 - 90 kilometers per hour. It was also found that risk perception of respondents for human factors, road/environment factors, and the vehicle factor were at equally high level.

In conclusion, an improvement of the risk points should include enhancement of cooperative roles among local communities and volunteers. Guard rails should be installed to prevent crashing with roadside power poles at Ban Nai Thung sharp curve where most crashes frequently occurred. All these measures should be monitored to prevent road accidents accordingly.

Keywords: accident analysis, risk point, risk perception

บทนำ

องค์การอนามัยโลกประมาณการว่าสถานการณ์ผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนทั่วโลกมีประมาณ 1.3 ล้านคน และบาดเจ็บอีกกว่า 20-50 ล้านคน โดยในแต่ละวันจะมีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนมากกว่า 3,000 คน และมีแนวโน้มที่จะพุ่งสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับสาเหตุการเสียชีวิตจากโรคภัยชนิดอื่นๆ เช่น เอชไอวี/เอดส์และมาเลเรีย ซึ่งอุบัติเหตุทางถนนเป็นสาเหตุการตายหลักของคนหนุ่มสาวอายุระหว่าง 15-29 ปี ทั่วโลก¹ นอกจากนี้ ร้อยละ 46 ของการเสียชีวิตทางถนนทั่วโลกเป็นผู้เดินทาง คนใช้จักรยาน และจักรยานยนต์ ซึ่งล้วนแต่เป็นผู้ใช้ถนนที่มีความเสี่ยง สำหรับประเทศไทยจากรายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนนระบุว่า อัตราผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนในประเทศไทย (ค่าประมาณการขององค์การอนามัยโลกอยู่ที่ 36.2 คนต่อแสนประชากร) จัดอยู่ในลำดับที่สองของโลกรองจากประเทศลิเบีย¹ อุบัติเหตุทางถนนเป็นสาเหตุการตายสูงสุดลำดับที่ 2 ของชายไทยและลำดับที่ 6 ในประชากรหญิง ส่วนเมื่อเทียบกับประเทศอื่นๆ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แล้ว ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนสูงที่สุด² ซึ่งเป็นการสูญเสียทรัพยากรมนุษย์และเศรษฐกิจที่มีค่าสำหรับประเทศชาติจากกล่าวได้ว่า ในประเทศไทยมีประชาชนเสียชีวิตจากท้องถนนถึงวันละ 25 คน หรือเฉลี่ยชั่วโมงละหนึ่งคน และทำให้คนหนุ่มสาวต้องเสียชีวิตเกินสัดส่วนที่ควรเป็นเฉลี่ยปีละ 2,509 ราย (คิดเป็นร้อยละ 17.32 ของจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งหมด) เทียบเท่ากับทุกๆ ปีจะมีนักเรียนหายไปปีละ 1 โรงเรียนขนาดใหญ่ หรืออาจกล่าวได้ว่า "มีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนนที่เป็นเด็กและเยาวชนสูงถึงวันละ 7 ราย" หากพิจารณาในประเด็นของมูลค่าความสูญเสีย ส่งผลให้มี

ความสูญเสียทางเศรษฐกิจมากกว่า 232,855 ล้านบาท เท่ากับประมาณร้อยละ 2.81 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมทั้งประเทศ³ รายงานการศึกษามูลค่าอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย ของกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม ระบุว่า ผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุ 1 คน มีมูลค่าความสูญเสียประมาณ 5 ล้านบาท ซึ่งตัวเลขดังกล่าวคิดจากอัตราค่าจ้างแรงงาน 150 บาทต่อวัน และเป็นค่าเฉลี่ยทุกช่วงอายุ ปัจจุบันอัตราค่าจ้างแรงงานอยู่ที่ 300 บาท⁴ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียอาจเพิ่มสูงขึ้นเป็นเท่าตัว และในกรณีที่ผู้เสียชีวิตอายุน้อยหรือมีโอกาสในการประกอบอาชีพที่มีรายได้สูง มูลค่าความสูญเสียจะเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามยังมีความสูญเสียที่ประเมินค่าได้ยาก ได้แก่ ผลกระทบทางจิตใจของครอบครัวผู้เสียชีวิต หลายๆ กรณีพบว่า ผู้เสียชีวิตเป็นบุตรเพียงคนเดียว หรือเป็นกำลังหลักของครอบครัว ผลกระทบที่เกิดขึ้นย่อมทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น จากสถิติการศึกษาของประเทศออสเตรเลียพบว่า ปัจจัยขับเคลื่อนอุบัติเหตุมีด้วยกัน 3 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยด้านคน (ร้อยละ 95) 2) ปัจจัยด้านถนนและสิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 28) และปัจจัยด้านรถ (ร้อยละ 8) ทั้ง 3 ปัจจัยนี้ทำให้เกิดอุบัติเหตุเรียกว่า ห่วงโซ่อุบัติเหตุ ถ้าเราตัดส่วนใดส่วนหนึ่งออกจากวงจรนี้ก็จะลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุลง⁵ จากการศึกษาของศูนย์วิจัยอุบัติเหตุฯ ในปี พ.ศ. 2548 - 2550 ที่ผ่านมา พบว่าปัจจัยจากคนมีสัดส่วนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นๆ แต่องค์ประกอบจากถนนและสิ่งแวดล้อมก็มีสัดส่วนสูงถึงหนึ่งในสาม เมื่อคิดเป็นทั้งองค์ประกอบเดี่ยวและองค์ประกอบรวมโดยทั่วไปแล้ว ถนนเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยปัจจัยทางตรงได้แก่ พื้นผิวถนนไม่สมบูรณ์, โค้งอันตราย, ทางแยกอันตราย, หรือปัญหาบกพร่องที่อาจเกิดกับสัญญาณไฟหรือป้ายจราจร เป็นต้น ส่วนปัญหาทางอ้อมได้แก่อุปกรณ์ข้าง

ทางที่สร้างอันตรายแก่รถที่อาจเสียหลักหลุดออกข้างทาง⁶ ดังนั้น การแก้ปัญหาเรื่องความปลอดภัยทางถนน มีความจำเป็นต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ และวินิจฉัยปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา

อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นอีกหนึ่งอำเภอที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุการจราจรสูงเป็นอันดับที่ 3 ของจังหวัดนครศรีธรรมราช และติด 1 ใน 100 อำเภอของประเทศไทยที่มีอุบัติเหตุทางถนนสูงสุด⁷ ด้วยสภาพถนนบางช่วงมีความโค้งค่อนข้างมาก, สภาพถนนขรุขระ ไม่เรียบ, บริเวณสี่แยกไม่มีสัญญาณไฟจราจรซึ่งตรงกับทางเข้าโรงพยาบาล เป็นต้น ทางผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277 เป็นระยะทางรวมทั้งหมด 30 กิโลเมตร ซึ่งเป็นเส้นทางที่พบอุบัติเหตุได้บ่อยครั้ง โดยผู้วิจัยจะวิเคราะห์อุบัติเหตุทางถนนที่เคยเกิดขึ้นย้อนหลัง 3 ปีที่ผ่านมาตั้งแต่ปี 2558-2560 และศึกษาการรับรู้อันตรายของการเกิดอุบัติเหตุทางถนนเพื่อจะทราบถึงปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ไม่ว่าจะเป็น ปัจจัยด้านบุคคล ปัจจัยด้านถนน/ด้านสิ่งแวดล้อม และปัจจัยด้านรถ ที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ ผลที่ได้จะเป็นข้อมูลสำคัญที่จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการวางแผนเพื่อช่วยลดอุบัติเหตุทางถนนได้ต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277
2. เพื่อศึกษาการรับรู้ความเสี่ยงของปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน

วิธีการศึกษา

ขอบเขตการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277 ย้อนหลัง 3 ปี ระหว่างปี พ.ศ.2558 – พ.ศ. 2560 โดยใช้แบบฟอร์มบันทึกการเกิดอุบัติเหตุทางถนน และใช้แบบสอบถามการรับรู้ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน เก็บข้อมูลระหว่างเดือน 1 กุมภาพันธ์ – 30 พฤษภาคม 2561

รูปแบบการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงพรรณนา แบบภาคตัดขวาง (Cross-sectional descriptive)

ประชากรและกลุ่มเป้าหมาย

ประชากร คือประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 110,417 คน จาก 10 หมู่บ้าน

กลุ่มตัวอย่าง ทำการคำนวณขนาดตัวอย่าง ในกรณีที่ทราบขนาดประชากร และประชากรมีจำนวนมาก โดยใช้วิธีของ Taro Yamane⁸ ได้กำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดระหว่างค่าจริงและค่าประมาณร้อยละ 0.05 จึงได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน จาก 10 หมู่บ้าน อำเภอท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช และทำการสุ่มแบบแบ่งชั้น (Stratified Random Sampling) มีเกณฑ์การคัดเลือกคือ 1) ประชาชนที่ขับขี่ยานพาหนะ บนถนนหลวงหมายเลข 401 อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 2) มีอายุไม่ต่ำกว่า 15 ปีบริบูรณ์ และยินดีเข้าร่วมการวิจัยโครงการ เกณฑ์การคัดออกกลุ่มตัวอย่างที่มีอายุต่ำกว่า 15 ปี

เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 คือแบบบันทึกการเกิดอุบัติเหตุย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ 2558-2560

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามปัจจัยการรับรู้ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม แนวคิดและทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้ส่วนที่ 1 คำถามเกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล ประกอบด้วยข้อคำถาม 13 ข้อ คือ เพศ, อายุ, ศาสนา, สถานภาพ, ระดับการศึกษา, อาชีพหลัก, ใบขับขี่, เหตุผลที่ต้องใช้เส้นทาง, ชนิดของยานพาหนะ, ช่วงเวลาที่ใช้เส้นทาง, ความถี่ในการใช้เส้นทาง, ความเร็วที่ใช้ในการขับขี่ และประสบการณ์การประสบอุบัติเหตุ ส่วนที่ 2 คำถามเกี่ยวกับการรับรู้ปัจจัยเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุ ประกอบด้วยข้อคำถาม 3 ปัจจัย รวมทั้งสิ้น จำนวน 20 ข้อ ได้แก่ 1. ปัจจัยด้านผู้ขับขี่ จำนวน 8 ข้อ คือการขับรถเร็วเกิน, กฎหมายกำหนด, การขับรถหลังจากการดื่มแอลกอฮอล์, การใช้โทรศัพท์มือถือขณะขับรถ, การทำผิดเครื่องหมายจราจร, การขับรถผิดช่องจราจร การขับรถระยะทางไกล, การขับขีมือเดอริไซต์โดยไม่สวมหมวกนิรภัยและการขับรถขณะสภาพอากาศไม่อำนวย 2. ปัจจัยด้านถนนและสภาพแวดล้อม จำนวน 6 ข้อ คือ ถนนเส้นสภาพพื้นถนนไม่เหมาะสม/มีหลุม บ่อ, แสงสว่างไม่เหมาะสม, โค้งอันตราย, ไม่มีป้ายแจ้งเตือนอันตราย, ถนนแคบและแออัด 3. ปัจจัยด้านสภาพรถจำนวน 6 ข้อ คือ สภาพยางไม่สมบูรณ์, ไฟส่องสว่างไม่ทำงาน, สภาพเบรคไม่พร้อมใช้งาน, สัญญาณไฟไม่พร้อมใช้งาน, สัญญาณแตรไม่ทำงาน, รถอยู่ในสภาพ

เก่า/ไม่สมบูรณ์ โดยเป็นลักษณะมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ให้ระดับคำตอบ 5 ระดับ โดยการรับรู้ที่น้อยที่สุด (1คะแนน) ถึง การรับรู้มากที่สุด (5 คะแนน) ซึ่งแบบสอบถามผ่านการตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน วิเคราะห์ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item – objective congruence : IOC) ได้ค่าเท่ากับ 0.86 และค่าความเชื่อมั่นของเครื่องมือด้วยการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's Alpha Coefficient) ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.80

การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. จัดทำเอกสารเพื่อขอการรับรองจริยธรรมในมนุษย์จากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ เลขที่เอกสารรับรอง WUEC-18-010-01
2. ศึกษาทบทวนวรรณกรรมและเก็บข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากหน่วยงานต่างๆย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี 2558-2560
3. นำข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุตั้งแต่ปี 2558-2560 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเพื่อหาจุดเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุพิจารณาว่าจุดใดมีปัญหาแล้วบันทึกเป็นรายการไว้สำหรับออกไปตรวจสอบสถานที่จริง
4. จัดทำแบบสอบถามพร้อมทั้งสัมภาษณ์ผู้ขับขี่บนทางถนนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช จำนวน 400 คน
5. วิเคราะห์สรุปผลข้อมูลทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

การวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติเชิงพรรณนา โดยสถิติที่ใช้วิเคราะห์ได้แก่ ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ผลการศึกษา

1. การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277

จากการรวบรวมข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี 2558 – ปี 2560 บนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277 พบว่าลักษณะการเกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่เป็นลักษณะการชนแบบมีคู่กรณี จำนวน 84 ครั้ง (ร้อยละ61.31), ไม่มีคู่กรณี จำนวน 51 ครั้ง (ร้อยละ37.23), และการชนกับคนเดินเท้า 2 ครั้ง (ร้อยละ 1.46), ช่วงเวลาในการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือ ช่วงเวลากลางวัน จำนวน 85 ครั้ง (ร้อยละ 62.04), ช่วงเวลากลางคืนมีไฟส่องสว่างจำนวน จำนวน 11 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 8.03 และช่วงเวลากลางคืนไม่มีไฟส่องสว่าง จำนวน 41 ครั้ง (ร้อยละ 29.93), สภาพอากาศที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือสภาพอากาศปกติ ถนนไม่เปียก จำนวน 108 ครั้ง (ร้อยละ 78.83), ฝนตก ถนนเปียก จำนวน 29 ครั้ง (ร้อยละ 21.17), ยานพาหนะที่เกิดอุบัติเหตุเยอะที่สุด คือรถจักรยานยนต์เกิดอุบัติเหตุจำนวนทั้งหมด 113 คัน (ร้อยละ 48.50) รองลงมาคือรถยนต์ซึ่งเกิดอุบัติเหตุจำนวนทั้งหมด 106 คัน (ร้อยละ 45.50), รถมอเตอร์ไซด์พ่วงข้างจำนวน 6 คัน (ร้อยละ 2.14), น้อยที่สุดรถตู้โดยสารเกิดอุบัติเหตุจำนวนทั้งหมด 3 คัน (ร้อยละ 1.28), ลักษณะของถนนที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดคือถนนทางตรง จำนวน 56 ครั้ง (ร้อยละ 40.88), รองลงมาคือชนบริเวณสี่แยก จำนวน 42 ครั้ง (ร้อยละ 30.66), บริเวณยูเทิร์นจำนวน 11 ครั้ง (ร้อยละ 8.03) และบริเวณสะพาน จำนวน 5 ครั้ง (ร้อยละ 3.65) ตามลำดับ (Table 1)

Table 1 Characteristics of road accident

Accident characteristics	Number of Registered Accident	Percentage
Collision Mode		
Collisions between vehicles	84	61.31
Collision involving only one vehicle	51	37.23
Collision between a vehicle and a pedestrian	2	1.46
Conditions of Accident Occurrence		
Daylight	85	62.04
Low Brightness	11	8.03
Darkness	41	29.93
Weather Conditions		
Normal / no rain	108	78.83
Rain / slippery Road	29	21.17
Type of Vehicles		
Motorcycle	113	48.50
Car	106	45.50
Sidecar	6	2.58
Truck	5	2.14
Van	3	1.28
Road Configuration		
Alignment	56	40.88
Intersections	42	30.66
Curves	23	16.78
U-Turn	11	8.03
Bridges	5	3.65

2. จุดเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277

การจากวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุ พบว่า ในช่วง 3 ปี ที่ผ่านมา (2558-2560) มีการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 137 ครั้ง ผู้ได้รับบาดเจ็บ จำนวน 142 ราย ผู้เสียชีวิต จำนวน 14 ราย และมีจุดเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 19 จุดเสี่ยง ซึ่งพบว่าจุดเสี่ยงที่มีการอุบัติเหตุมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ จุดที่ 1 จุดเสี่ยงโค้งบ้านในถุ้ง พบอุบัติเหตุทั้งหมด 23 ครั้ง

(ร้อยละ 16.78), บาดเจ็บจำนวน 21 ครั้ง (ร้อยละ 17.79), และเสียชีวิตจำนวน 4 ราย (ร้อยละ 33.33), สำหรับจุดที่ 2 คือ จุดเสี่ยงหน้าโรงพยาบาลท่าศาลาซึ่งเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด 16 ครั้ง (ร้อยละ 11.68), มีผู้บาดเจ็บจำนวน 16 คน (ร้อยละ 11.27), เสียชีวิต จำนวน 2 คน (ร้อยละ 16.07), และจุดที่ 3 คือจุดเสี่ยงสี่แยกลิโพ ซึ่งเกิดอุบัติเหตุทั้งหมด จำนวน 15 ครั้ง (ร้อยละ 10.95), มีผู้บาดเจ็บ 14 ราย (ร้อยละ 9.85), และเสียชีวิตทั้งหมด 3 ราย (ร้อยละ 25) (Table 2)

Table 2 Risk point of road accident

No.	Risk Point	Number of Registered Accident	Number of Injured	Number of fatalities
1	Ban Nai Thung Cruve	23	21	4
2	Thasala Hospital	16	16	2
3	Lipo Intersection	15	14	3
4	Pu Yai Pluem Intersection	14	9	-
5	Thasala Police Station	11	12	-
6	Walailak University	9	4	-
7	Khlong Khoei Junction	8	11	1
8	U-Turn Ban Nai Thung	7	5	-
9	Klay Bridge	5	3	2
10	U-Turn Bangchak Petroleum	4	9	-
11	Bank for Agriculture and Agricultural Cooperatives	4	4	-
12	Caltex Petroleum	4	6	1
13	See a Rutdeen Mosque	3	8	-
14	PTT Petroleum Thasala	3	3	-
15	Natap Intersection	3	2	1
16	SCG Home Solution Thasala	2	3	-
17	Bansrabua School	2	4	-
18	PTT Petroleum Tha-khuen	2	4	-
19	Sa Kaeo Intersection	2	4	-
	Total	137	142	14

3. การรับรู้อันตรายเกี่ยวกับปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277

3.1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า เป็นเพศชาย (ร้อยละ 49.8) และเพศหญิง (ร้อยละ 50.2) ส่วนใหญ่อายุอยู่ระหว่าง 21-30 ปี (ร้อยละ 35.3) รองลงมาคือ อายุ 31-40 ปี (ร้อยละ 32.0) และอายุ 41-50 ปี (ร้อยละ 19.5) ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่นับถือศาสนาอิสลาม (ร้อยละ 52.5) และศาสนาพุทธ (ร้อยละ 47.0) มีสถานภาพ สมรสอยู่ด้วยกัน (ร้อยละ 59.5) โสด (ร้อยละ 30.5) ระดับการศึกษา มัธยมศึกษา/ปวช. (ร้อยละ 43.3) และอนุปริญญา/ปวส (ร้อยละ 19.3) ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพค้าขาย (ร้อยละ 38.5) รองลงมา ประกอบอาชีพรับจ้าง (ร้อยละ 26.5) และเกษตรกร (ร้อยละ 15.8) ตามลำดับ

3.2 ข้อมูลการขับขี่และการใช้เส้นทางบนถนนหลวงแผ่นดินหมายเลข 401 ระหว่างกิโลเมตรที่ 247 ถึง กิโลเมตรที่ 277

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้รถยนต์ (ร้อยละ 31.3) รองลงมา รถจักรยานยนต์ (ร้อยละ 22.8) และรถบรรทุก (ร้อยละ 0.8) โดยส่วนใหญ่มีใบขับขี่ (ร้อยละ 90.7) และไม่มีใบขับขี่ (ร้อยละ 9.3) ทั้งนี้เหตุผลในการใช้เส้นทางคือเพื่อการประกอบอาชีพมากที่สุด (ร้อยละ 85.5) รองลงมาคือติดต่อสื่อสารในหมู่บ้าน (ร้อยละ 31.0) โดยช่วงเวลาที่ใช้เส้นทางมากที่สุดคือ ช่วงเวลาเร่งด่วน (07.00-08.00 และ 16.00-17.00) (ร้อยละ 53.3) รองลงมาคือช่วงบ่าย (ร้อยละ 38.0) และช่วงเช้า (ร้อยละ 37.3) ตามลำดับ โดยมีความถี่ในการใช้เส้นทางมากกว่า 10 ครั้งต่อสัปดาห์ (ร้อยละ 37.5) รองลงมาใช้เส้นทาง 7-9 ครั้งต่อสัปดาห์ (ร้อยละ 37.0) และใช้เส้นทาง 4-6 ครั้งต่อสัปดาห์ (ร้อยละ 23.5) โดยส่วนใหญ่กลุ่มตัวอย่างใช้ความเร็วในการขับขี่อยู่ในช่วง 80-90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ร้อยละ 39.3) ใช้ความเร็วต่ำกว่า 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ร้อยละ 35.0) และใช้ความเร็ว 100-120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ร้อยละ 8.5)

การรับรู้ความเสี่ยงของปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน

ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนนประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านคน พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ปัจจัยด้านคนเกี่ยวกับพฤติกรรมขับขี่ที่ไม่ปลอดภัย และพฤติกรรมที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ การขับรถเร็วเกินกฎหมายกำหนด (\bar{X} = 4.15, S.D = 0.87) การดื่มแอลกอฮอล์ขณะขับรถ (\bar{X} = 4.11, S.D = 0.89) การใช้โทรศัพท์ขณะขับรถ (\bar{X} = 3.77, S.D = 0.99) การขับรถยนต์สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย (\bar{X} = 3.73, S.D = 0.94) และการขับขี่โดยไม่สวมหมวกนิรภัย (\bar{X} = 3.63, S.D = 0.85) (Table 3)

ปัจจัยด้านถนนและสภาพแวดล้อม พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ว่าสภาพถนนและสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัยในการขับขี่ เป็นสาเหตุที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุสูงสุด 5 อันดับแรก ได้แก่ สภาพถนนไม่เหมาะสม เช่น มีหลุม บ่อ (\bar{X} = 3.87, S.D = 0.88) สภาพถนนลื่น (\bar{X} = 3.77, S.D = 0.75) แสงสว่างไม่บนถนนเพียงพอ (\bar{X} = 3.61, S.D = 0.83) ถนนที่มีโค้งอันตราย (\bar{X} = 3.68, S.D = 0.97) และถนนที่แคบ/ แออัด (\bar{X} = 3.39, S.D = 0.77) (Table 4)

ปัจจัยด้านสภาพรถ ผลการศึกษา พบว่า กลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ว่าสภาพรถที่ไม่ปลอดภัยจะเป็นสาเหตุในการก่อให้เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด 5 อันดับแรก ได้แก่ สภาพยางรถไม่สมบูรณ์ (\bar{X} = 3.78, S.D = 0.79) สภาพเบรกไม่พร้อมใช้งาน (\bar{X} = 3.77, S.D = 0.89) สัญญาณไฟส่องสว่างไม่พร้อมใช้งาน (\bar{X} = 3.53, S.D = 0.85) สัญญาณแตรไม่ทำงาน (\bar{X} = 3.51, S.D = 0.93) สัญญาณแจ้งเตือนไม่พร้อมใช้งาน (\bar{X} = 2.99, S.D = 0.94) (Table 5)

Table 3 Risk perception on unsafe acts driving behavior

Unsafe acts driving behavior	(Percentage)					\bar{X}	S.D	Rank
	Level of perception on causes road accident							
	5	4	3	2	1			
Over speed limit	172(43.0)	130(32.5)	86(21.5)	11(2.7)	1(0.3)	4.15	0.87	1
Driving after drinking alcohol	157(39.3)	149(37.2)	76(19.0)	18(4.5)	0(0.0)	4.11	0.89	2
Use of mobile phones	114(28.5)	124(31.0)	119(29.7)	42(10.5)	1(0.3)	3.77	0.99	3
Frequently missing warning signs	17(4.3)	106(26.5)	183(45.7)	87(21.7)	7(1.8)	3.1	0.85	7
Wrong side driving	35(8.7)	127(31.7)	156(39.0)	79(19.8)	3(0.8)	3.28	0.91	6
Driving for long periods	19(4.8)	110(27.5)	139(34.7)	76(19.0)	56(14.0)	2.9	1.1	8
Driving without helmet	64(16.0)	155(38.7)	149(37.2)	31(7.8)	1(0.3)	3.63	0.85	5
Driving when bad weather	92(23.0)	149(37.2)	118(29.5)	40(10.0)	1(0.3)	3.73	0.94	4

Table 4 Risk perception on unsafe road conditions

unsafe road conditions	(Percentage)					\bar{X}	S.D	Rank
	Level of perception on causes road accident							
	5	4	3	2	1			
Slippery Road	66(16.5)	187(46.7)	137(34.3)	10(2.5)	0(0.0)	3.77	0.74	2
Bad road surface/pot holes	119(29.7)	123(30.7)	145(36.3)	13(3.3)	0(0.0)	3.87	0.88	1
Improper road illumination	53(13.3)	170(42.5)	146(36.5)	29(7.2)	2(0.5)	3.61	0.83	3
No warning label	28(7.0)	138(34.5)	155(38.7)	79(19.8)	0(0.0)	3.29	0.86	6
Dangerous curve	93(23.2)	133(33.2)	126(31.5)	47(11.8)	1(0.3)	3.68	0.96	4
Narrow and congested road	38(9.5)	111(27.7)	218(54.5)	33(8.3)	0(0.0)	3.39	0.77	5

Table 5 Risk perception on unsafe vehicle conditions

unsafe vehicle conditions	(Percentage)							
	Level of perception on causes road accident							
	5	4	3	2	1	\bar{X}	S.D	Rank
Defective tires	72(18.0)	184(46.0)	126(31.5)	18(4.5)	0(0.0)	3.78	0.79	1
Inoperative light	58(14.5)	131(32.7)	175(43.8)	36(9.0)	0(0.0)	3.53	0.85	3
Defective braking	96(24.0)	137(34.2)	146(36.5)	19(4.8)	2(0.5)	3.61	0.89	2
Defective turn signal	16(4.0)	122(30.5)	136(34.0)	94(23.5)	32(8.0)	2.99	0.94	5
Inoperative horn	59(14.7)	153(38.2)	123(30.8)	65(16.3)	0(0.0)	3.51	0.93	4
Vehicle in bad shape	25(6.2)	107(26.7)	155(38.8)	63(15.8)	50(12.5)	2.98	0.91	6

สรุปและอภิปรายผล

การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุทางถนน เป็นการค้นหาสาเหตุเพื่อสามารถกำหนดมาตรการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง จากการศึกษาพบว่าลักษณะของถนนที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือ ถนนเส้นทางตรง (ร้อยละ 40.88) รองลงมาเป็นทางแยก (ร้อยละ 30.66) ถนนโค้ง (ร้อยละ 16.78) ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของกฤษณ์ เจ็ดวรรณะ⁹ พบว่าจากการวิเคราะห์ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดเป็นบริเวณถนนทางตรง (ร้อยละ 42.5) รองลงมาเป็นทางโค้ง (ร้อยละ 37.5) ทางแยก (ร้อยละ 15) และสอดคล้องกับการวิเคราะห์สถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนน ปี 2560 ของกระทรวงคมนาคม¹⁰ พบว่า ลักษณะบริเวณที่เกิดอุบัติเหตุส่วนใหญ่เป็นทางตรง (ร้อยละ 75.48) ด้วยปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ถนนทางตรง วิ่งสวนเลน และไม่มีเกาะกลาง จึงสามารถใช้ความเร็วได้สูง อีกทั้ง เส้นทางตรงที่มีระยะทางยาวมักเกิดอุบัติเหตุจากการหลับใน เป็นต้น ลักษณะของผิวถนนแห้งมีอุบัติเหตุมากกว่าถนนเปียก โดยจะมีความสอดคล้องกับการศึกษาของพงษ์สิทธิ์ บุญรักษา¹¹ พบว่า ผิวถนนที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุดคือผิวถนนมีลักษณะแห้ง (ร้อยละ 24.8) เปียกลื่น (ร้อยละ 23.8) และอุบัติเหตุเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวันมากกว่าช่วงเวลาากลางคืน มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gourav Goel¹² พบว่าอุบัติเหตุเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางวัน (ร้อยละ 61) และช่วงเวลาากลางคืน (ร้อยละ 39)

ส่วนการรับรู้ความเสี่ยงของปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน ซึ่งพบว่าทั้ง 3 ได้แก่ ปัจจัยด้านคน ปัจจัยด้านถนนและสภาพแวดล้อม และ ปัจจัยด้านสภาพรถ ในกลุ่มตัวอย่างมีการรับรู้ในระดับสูง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.58 , 3.54 , 3.43 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Chattranusorn A.¹³ พบว่าปัจจัยคนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอุบัติเหตุมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงจุดเสี่ยง ต้องมีการเฝ้าระวังการเกิดอุบัติเหตุอย่างต่อเนื่อง ควรสร้างความร่วมมือของชุมชนจากประชาชนหรืออาสาสมัครในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากประชาชนหรือผู้ใช้ถนนเป็นผู้ที่ทราบสภาพความบกพร่องของถนน จุดเสี่ยง จึงควรมีช่องทางสื่อสารให้กับประชาชนสามารถสื่อสารกับหน่วยงานภาครัฐได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เช่น กล้องรับความคิดเห็น เฟสบุ๊ค ไลน์ เว็บไซต์ เป็นต้น และมีการประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนมีความตื่นตัว และเข้าใจปัญหา อันตรายจากอุบัติเหตุทางถนน รวมทั้งสนับสนุนการบังคับใช้กฎหมายอย่างจริงจัง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ที่สนับสนุนทุนวิจัย ประเภทส่งเสริมวิจัยใหม่และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สถานีตำรวจภูธรท่าศาลาหน่วยงานกู้ภัยอำเภอท่าศาลา และกลุ่มตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- World Health Organization. Road Traffic Injury Prevention Training Manual 2006. [serial online] Available from: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43271/9241546751_eng.pdf;jsessionid=A6657824A18C47DF2E24356A31D0FBD0?sequence=1. Accessed Apr 19, 2019
- สำนักโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2559) สถานการณ์แนวโน้ม การเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน 2559. [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2562]; จาก: <http://www.thaincd.com/2016/mission5>
- กรมทางหลวง. คู่มือการเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหาการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง. กรุงเทพฯ: กระทรวงคมนาคม; 2549.
- กรมทางหลวง. (2551) ผลการศึกษามูลค่าความเสียหายของอุบัติเหตุในประเทศไทย. [สืบค้นเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม 2561]; จาก: <http://trsl.thairoads.org/FileUpload/1230/131208001230.pdf>
- AUSROADS. Road Safety Audit. New South Wales: Australia; 2002.
- มูลนิธิไทยโรดส์และศูนย์วิจัยอุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. รายงานสถานการณ์อุบัติเหตุแห่งประเทศไทย. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย; 2554.
- ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ เพื่อเสริมสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน.(2562) ข้อมูลรับแจ้งเหตุทางถนน. [สืบค้นเมื่อวันที่ 16 มีนาคม 2562]; จาก: <http://www.thairsc.com/>
- Yamane, Taro. Statistics An Introductory Analysis. New York: Harper and Row Publications; 1973.
- กฤษณ์ เจ็ดวรรณะ และคณะ. ลักษณะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอุบัติเหตุของรถโดยสารประจำทางขนาดใหญ่ ระหว่างจังหวัดประเภทรุนแรง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2555.
- สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจรกระทรวงคมนาคม. (2561) รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนน ปี2560. [สืบค้นเมื่อวันที่ 21 เมษายน 2562]; จาก: http://www.otp.go.th/uploads/tiny_uploads/PDF/2561-07/25610726-analyze.pdf
- พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา และคณะ. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุจากการขับรถจักรยานยนต์ของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2555
- Gourav Goel, S.N. Sachdeva. Analysis of road accidents on NH1 between RD 98 km to 148km. Perspectives in Science 2016; 8:392-394.
- Chattranusorn A., Witchyangkoon B. American Transaction on Engineering & Applied Sciences 2014; 3(3):215-222.

ขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพชาติินโบเวอร์เบิร์ดกับความอลวน Satin Bowerbird Optimization Algorithm with Chaos

ธนัชพงษ์ วังคำหาญ

Tanachapong Wangkhamhan

Received: 11 April 2019 ; Revised: 14 June 2019 ; Accepted: 15 July 2019

บทคัดย่อ

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของชาติินโบเวอร์เบิร์ด เป็นขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่พัฒนาโดยขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกซึ่งถูกพัฒนาเมื่อเร็ว ๆ นี้ โดยได้รับแรงบันดาลใจจากนกชาติินโบเวอร์ ที่อาศัยอยู่ในป่าฝนของออสเตรเลียและแหล่งอาศัยอื่น ๆ เช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกอื่น ๆ ปัญหาหลักที่ขั้นตอนวิธีชาติินโบเวอร์เบิร์ดเผชิญอยู่ซึ่งได้รับการพิสูจน์อย่างชัดเจนการติดอยู่ในค่าคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่อย่างง่ายตาย มีความแม่นยำต่ำ และความเร็วในการลู่เข้าแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่ช้า ดังนั้นในความพยายามที่จะเพิ่มความเร็วในการลู่เข้าแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะที่แท้จริง และได้รับประสิทธิภาพที่ดีขึ้นบทความนี้จะนำเสนอทฤษฎีความอลวนในกระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพขั้นตอนวิธีชาติินโบเวอร์เบิร์ด ตัวแปรความวุ่นวายในแมปจะถูกนำมาพิจารณาโดยการนำเสนอวิธีความอลวนกับขั้นตอนวิธีชาติินโบเวอร์เบิร์ด เพื่อที่จะแทนที่ตัวแปรหลัก (α) ซึ่งช่วยในการควบคุมทั้งการสำรวจพื้นที่และการนำไปใช้ประโยชน์ของขั้นตอนวิธีชาติินโบเวอร์เบิร์ด วิธีการที่นำเสนอจะถูกเปรียบเทียบในการทดสอบปัญหา CEC2014 ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนวิธีที่ถูกปรับปรุงด้วยแมปความอลวน โดยเฉพาะในแผนที่แมป สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีชาติินโบเวอร์เบิร์ดดั้งเดิมได้ ซึ่งมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพชาติินโบเวอร์เบิร์ด ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติก ทฤษฎีความอลวน แมปความอลวน

Abstract

The Satin Bowerbird Optimization (SBO) is a recently developed meta-heuristic optimization algorithm which was inspired by the Satin Bowerbirds living in Australia's rainforests and other mesic habitats. Like other meta-heuristic algorithms, the main problem faced by the SBO is that it has been empirically demonstrated to become easily trapped into local optimal solutions, creating low precision and slow convergence speeds. Therefore, in an effort to enhance global convergence speeds and in order to obtain a better performance, this paper introduces the chaos theory into the SBO optimization process. Various chaotic maps were considered in the proposed Chaotic-SBO (CSBO) method in order to replace the main parameter's greatest step size (α), which assists in controlling both exploration and exploitation. The proposed CSBO methods are benchmarked within the CEC2014 test problems. The numerical results show that these novel algorithms improve the chaotic maps, especially in the Tent map, as well as improving the performance of the original Satin Bowerbird Optimization Algorithm. Specifically, the CSBO10(Tent) achieved the best performance.

Keywords: Satin Bowerbird Optimization, Meta-heuristic algorithm, chaos theory, chaotic map.

อาจารย์, คณะบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ อําเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

Lecturer, Faculty of Management Science, Kalasin University, Kalasin 46000, Thailand.

Corresponding author; Tanachapong Wangkhamhan, Faculty of Management Science, Kalasin University, Kalasin 46000, Thailand. tanachapong.w@hotmail.com.

1. Introduction

The optimization problem aims to search for a maximum or minimum of an objective function value in widely varied local optima, under highly complex constraints, and in a reasonable amount of time¹. Consequently, chaotic sequences generated by means of chaotic maps have been used in the development of global optimization techniques. The first introduction of chaos into the optimization challenge was the Chaos Optimization Algorithm (COA) in 1963 by E.N. Lorenz². The COA represents the bounded, unstable, dynamic behavior that exhibits sensitive dependence on its initial conditions³. Uniquely characteristic of chaotic behavior, the COA carries out global exploration searches at higher speeds than stochastic ergodic searches, which are dependent on probabilities⁴. Chaos is a characteristic of several nonlinear systems as motion distributes within a specific range since it possesses degrees of uncertainty, ergodicity, and stochasticity. Many researchers therefore use the characteristics of chaotic ergodicity to solve for the global optimal solution of complex nonlinear multi-peak problems, by weakening the randomness or constant parameters of the metaheuristic optimization algorithm⁵. As a result, most current works are devoted to the improvement of global optimization algorithms to tackle the abovementioned shortcomings. Further interest has been developed in the field of hybrid algorithms, especially in typical and emerging heuristic optimization algorithms; such as the harmony search algorithm [3], migration and merging operation⁴, cuckoo search optimization algorithms⁵, bee colony algorithm⁶, great deluge algorithm⁷, imperialist competitive algorithm⁸, particle swarm optimization^{9,10}, firefly algorithm¹¹, gravitational search algorithm¹², grey wolf optimization algorithm¹³, whale optimization algorithm¹⁴, crow search algorithm^{15,16}, league championship algorithm¹⁷, salp swarm algorithm¹⁸, and the krill herd algorithm¹⁹; all of which were hybridized with the COA. Various simulation results and applications in each of these references have proven the solution diversity and global optimization capacity of each chaos based optimization algorithm.

The standard Satin Bowerbird Optimizer (SBO) was first proposed by S. H. Samareh Moosavi and V. Khatibi Bardsiri²⁰ in 2017 to optimize ANFIS for the purpose of software development effort estimation. Its algorithm was bio-inspired by Satin Bowerbirds living in the rainforests and mesic habitats of Australia. Through the breeding principle of male-attracting-female, the male bowerbird attracts the female with the construction of a specialized bower. The SBO technique, which is population-based on a stochastic optimization algorithm²¹, is very robust, straightforward, and efficient. Details of the original SBO and the literature related to its applications are presented in Sections 4 and 6.

Our principle concern we faced in our research was to introduce the Chaotic Satin Bowerbird Optimizer (CSBO) based methods in ways in which different chaotic systems are used to replace the critical parameters of the SBO. Through this method, we intended to enhance the global searching ability of the SBO, and increase its ability to stick on a local solution. The simulation results demonstrated the improved performance of the CSBO with the application of the deterministic chaotic signals, as opposed to the constant parameters of the SBO.

The remainder of this paper is organized in seven sections. Section 2 briefly describes the original SBO algorithm; Section 3 describes the chaotic maps; the proposed CSBO approach is detailed in Section 4; and the benchmark functions and parameter studies used to test the performance of the CSBO are found in Section 5. The experimental results and discussions are presented in Section 6, and the conclusions and future scope of our research are presented in Section 7.

2. The original SBO algorithm

The SBO algorithm^{20,21} is a population-based algorithm which estimates the global optimum for a given optimization problem. This process starts by creating a population of random uniform distribution, through the consideration of both the lower and upper limit parameters. After that, each position is defined as a dimensional vector of the parameters, which must be optimized. The

probability of such defines the attractiveness of the bower. A female satin bower bird selects a bower (nest) based on its probability, and is able to calculate the probability of each population member through Eqs. (1) and (2), below.

$$\text{Prob}_i = \frac{\text{fit}_i}{\sum_{n=1}^{NB} \text{fit}_n}, \tag{1}$$

$$\text{fit}_i = \begin{cases} \frac{1}{1+f(x_i)}, f(x_i) \geq 0 \\ 1 + |f(x_i)|, f(x_i) < 0, \end{cases} \tag{2}$$

where NB is the population size of the bower, fit_i is the fitness value of the i th solution, and $f(x_i)$ is the fitness value of i th bower. To find the position of the best bower, the SBO algorithm utilizes the concept of Elitism, which allows the best solution to be preserved at each stage of the optimization process. The SBO algorithm uses the concept of birds building their nests using their natural instincts. The male satin bower bird likes all other birds in the mating season, and uses his natural instincts to build his bower and decorate it. We may infer that the male bowers rely upon their experience to influence their creative decisions in building their bower; therefore, more experienced birds will build more attractive bowers (improving their fitness) than others. In this work, the best built bower (best position) is intended as an elite iteration. Since the elite position has the highest fitness, it should be able to influence the other positions. The changes of each new bower, representing a new position determined by the position of the best fit bower (position), are calculated according to Eq. (3).

$$x_{ik}^{new} = x_{ik}^{old} + \lambda_k \left(\left(\frac{x_{jk} + x_{elite,k}}{2} \right) - x_{ik}^{old} \right), \tag{3}$$

where x_i is the i th solution vector (bower), x_j is determined as the target solution among all solutions in the current iteration, λ_k is calculated by the roulette wheel procedure, and x_{ik} is the k th member of this dimensions. x_{elite} indicates the elite position (the best fitness value in the current iteration).

$$\lambda_k = \frac{\alpha}{1 + p_j}. \tag{4}$$

In Eq. (4), determines the attraction power in the goal bower, shown at intervals of α , where α is the greatest step size (constant) and p_j is the probability obtained by Eq. (1) using the goal bower, at intervals of α . In the mutation process, which occurs at the completion of each iteration of the SBO, random changes are applied with a certain probability. Random changes are then applied to x_{ik} , again, with a certain probability. The normal distribution within the mutation process is employed through the average of x_{ik} and the variance of σ^2 , as seen in Eqs. (5)-(7).

$$x_{ik}^{new} \sim N(x_{ik}^{old}, \sigma^2), \tag{5}$$

$$N(x_{ik}^{old}, \sigma^2) = x_{ik}^{old} + (\sigma^* N(0,1)), \tag{6}$$

$$\sigma = Z^* (\text{var}_{\max} - \text{var}_{\min}), \tag{7}$$

where σ is a proportion of space width, and var_{\max} and var_{\min} are the lower and upper bounds assigned to the variables, respectively. The value of the Z parameter is the percent of the difference between the lower and upper limit, which is variable. In the last of stage of each iteration, the newly formed population and the initial population are evaluated, and all populations are combined and sorted by their fitness values. A new population is then created according to the previously defined number, while the others are rejected. The basic steps of the SBO are shown in Algorithm 1.

Algorithm 1 The satin bowerbird optimization algorithm²⁰.

```

1: Initialize the population size of bowers ( $NB$ ), greatest step size ( $\alpha$ ), mutation probability ( $P$ ), percentage of the difference
   between the upper and lower limits ( $Z$ ) and proportion of space width ( $\sigma$ ) calculated by Eq. (7)
2: Generate the population (bower)
3: Evaluate the fitness value of bowers. Let the initialization also be the best bower and assume it as elite
4: While (the end criterion is not satisfied) Do
5:     Calculate the probability of bowers using Eqs. (1) and (2)
6:     For  $i = 1$  to all bower Do
7:         For  $j = 1$  to all element of bower Do
8:             Select one bower randomly using roulette wheel selection
9:             Calculate step size ( $\lambda_k$ ) using Eq. (4)
10:            Update the position of bower using Eqs. (3) and (6)
11:         End for
12:         Evaluate the fitness value of bower.
13:     End for
14:     Sorted bower and by the fitness values
15:     Find the current global best
16: End while
17: Output the best fitness value of bower

```

3. Chaotic maps for the SBO

This section presents the descriptions and equations of ten discrete chaotic maps used within the experiments of the SBO algorithm.

Chaos, as a kind of dynamic behavior within a nonlinear chaotic time series, has raised enormous interest in fields such as scientific applications and engineering systems²²; which have included numerical simulation, chaos control, synchro-nization, pattern recognition, optimization theory, and additional nonlinear sciences. In random-based optimization algorithms, methods employing *chaotic* variables rather than *random* variables are referred to as chaotic optimization algorithms (COA)¹¹. Due to the non-repetition of chaotic behavior, the algorithm is capable of carrying out overall searches at higher speeds than stochastic searches, which are dependent upon their probabilities²³. One-dimensional, non-invertible maps are the simplest systems capable of generating the desired chaotic motion²⁴.

To fulfill this matter within our study, one-dimensional, non-invertible maps are utilized to generate chaotic sets. In Table 1, we review some of the better known one-dimensional maps. Within the ten different chaotic maps presented in this table; k indicates the index of the chaotic sequence, and x_k represents the k th number in the chaotic sequence. Figure 1a - 1j outlines the dynamics of the ten different chaotic maps.

Table 1 The ten chaotic maps^{13,14,16,19}.

No.	Name	Definition
CSBO1	Chebyshev map	$x_{k+1} = \cos(k \cos^{-1}(x_k))$
CSBO2	Circle map	$x_{k+1} = x_k + b - (a - 2\pi) \sin(2\pi x_k) \text{ mod}(1)$ With $a = 0.5$ and $b = 0.2$, it generates a chaotic sequence in $(0, 1)$
CSBO3	Gauss/Mouse map	$x_{k+1} = \begin{cases} 0 & x_k = 0 \\ 1/k \text{ mod}(1) & \text{otherwise} \end{cases} \quad 1/x_k \text{ mod}(1) = \frac{1}{x_k} - \left[\frac{1}{x_k} \right]$
CSBO4	Iterative map	$x_{k+1} = \sin\left(\frac{a\pi}{x_k}\right), a \in (0, 1)$
CSBO5	Logistic map	$x_{k+1} = ax_k(1 - x_k)$
CSBO6	Piecewise map	$x_{k+1} = \begin{cases} \frac{x_k}{P} & 0 \leq x_k < P \\ \frac{x_k - P}{0.5 - P} & P \leq x_k < \frac{1}{2} \\ \frac{1 - P - x_k}{0.5 - P} & \frac{1}{2} \leq x_k < 1 - P \\ \frac{1 - x_k}{P} & 1 - P \leq x_k < 1 \end{cases}$
CSBO7	Sine map	$x_{k+1} = \frac{a}{4} \sin(\pi x_k), 0 < a \leq 4$
CSBO8	Singer map	$x_{k+1} = \mu(7.89x_k - 23.31x_k^2 + 28.75x_k^3 - 13.3028.75x_k^4)$
CSBO9	Sinusoidal map	$x_{k+1} = ax_k^2 \sin(\pi x_k), a = 2.3$ and $x_0 = 0.7$
CSBO10	Tent map	$x_{k+1} = \begin{cases} \frac{x_k}{0.7} & x_k < 0.7 \\ \frac{10}{3}(1 - x_k) & x_k \geq 0.7 \end{cases}$

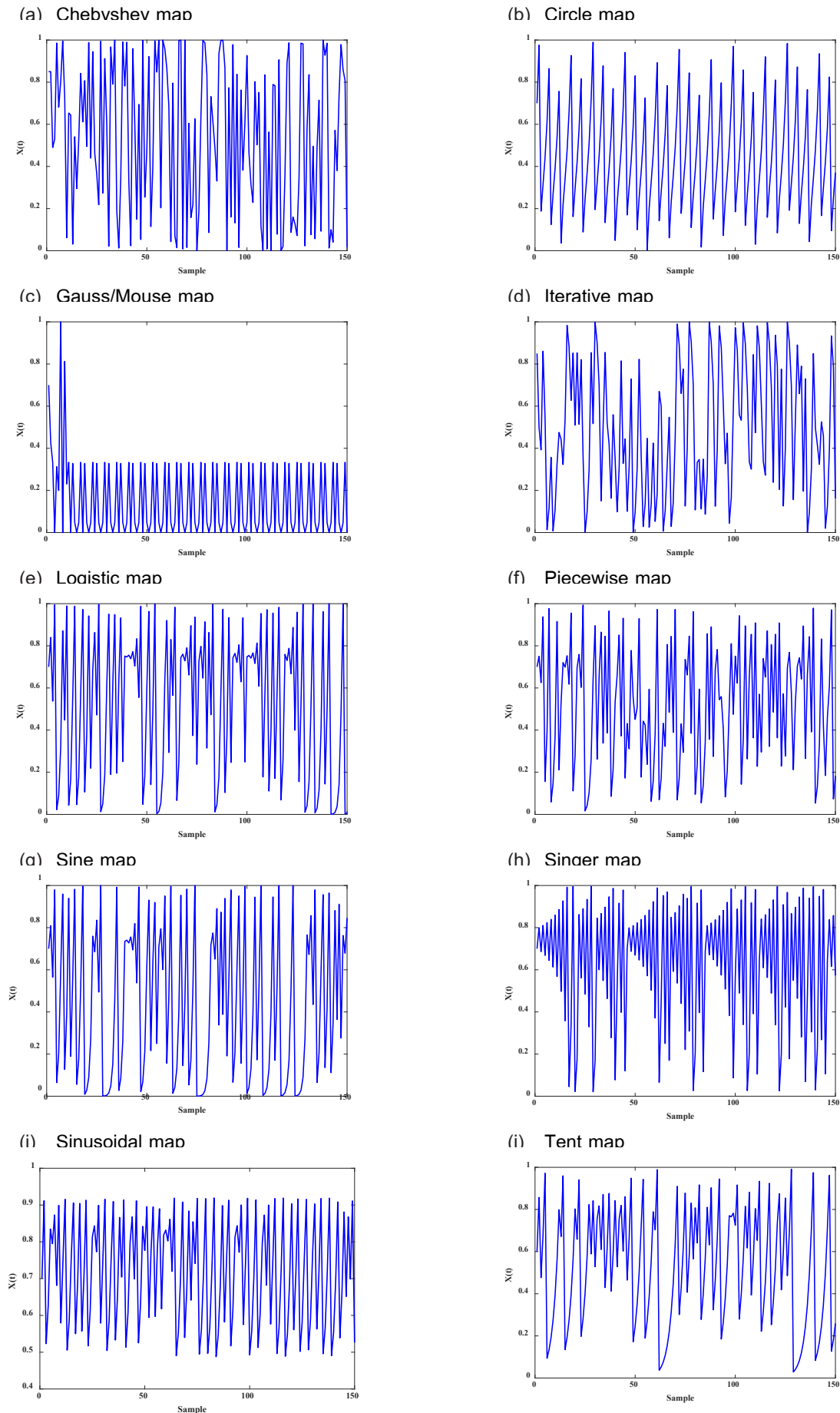


Figure 1 The dynamics of the chaotic maps $\chi^t \in (0, 1)$.

4. The proposed CSBO approach

This section presents a novel Chaotic with Satin Bowerbird Optimization algorithm called the CSBO, which replaces the main parameter and embeds chaos into the existing SBO. While SBOs possess good convergence rates, they still cannot perform sufficiently in finding the global optima, which in turn affects the convergence rate of the algorithm. In order to reduce this effect and to improve its efficiency, the concept of chaos has been introduced into the SBO algorithm.

Chaotic maps are imbedded into the SBO to improve the algorithm's solution quality. One of the main parameters of the SBO is the greatest step size (α), which remains a constant parameter. Here, this value (α) is replaced with ten different chaotic maps in an attempt to improve the performance of the SBO. To implement the maps, all maps are normalized between 0 and 1. Furthermore, the parameter of α , determined by Eq. (4), is modified by the ten different chaotic maps through the following equation, Eq. (8).

$$\lambda_k = \begin{cases} \frac{c^{t+1}}{1+p_j} & \text{mod}(t, NB-1) = 0, \\ \frac{c^{t+1}}{1+p_j} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Where c^{t+1} represents the different chaotic variables, is current iteration ($t = 1, 2, 3, \dots, m$), m represents the maximum iteration number, and is the number of bowers. Eq. (8) produces a design point x_{ik}^{new} , from Eq. (3), which uses the different chaotic variables derived from the chaotic maps, with different initial values.

The pseudo-code of the CSBO algorithm is presented in Algorithm 2. In the first step, the bower population within the search space is initialized randomly. After which, the parameters of the CSBO algorithm involved in controlling the exploration and exploitation mechanisms, specifically the NB , P , Z , σ , and α , are initialized similarly to the SBO. In the second step, the fitness function values of all bowers are initialized in the search space, and evaluated using the various standard benchmark functions. The lower fitness value is assumed to be the elite (the best fitness function value). The chaotic number of the chaotic map is initialized to adjust the parameter of the SBO. In the third step, the CSBO algorithm runs sequentially, in which all bowers will update their positions, resulting in the first position as the optimal solution. The value of parameter is also updated along with the course of each iteration through Eq. (8), where $\text{mod}(t, NB-1) = 0$, t is the current iteration, and is the population size (Algorithm 2, line 19). In the finally step, at the end of the last iteration, the best search agent will be considered as the most optimal solution by the CSBO algorithm.

5. Implementation

5.1 Benchmark numerical experiments

Ten different chaotic SBO variants of this comparative study are presented in the 30 benchmark problems taken from the special session and competition on single objective real-parameter numerical optimization held under the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC) 2014²⁵; available on http://www3.ntu.edu.sg/home/EPNSugan/index_files/CEC2014/CEC2014.htm. The formulation of these benchmark functions are presented in Table 2.

Algorithm 2 The CSBO algorithm.

```

1: Initialize the population size of bowers ( $NB$ ), greatest step size ( $\alpha$ ), mutation probability ( $P$ ), percentage of the difference
   between the upper and lower limits ( $Z$ ), proportion of space width ( $\sigma$ ) and  $NFEs = 0$ 
2: Generate the population  $X_i = (i = 1, 2, 3, \dots, N)$  of  $N$  bowers
3: For  $i = 1$  to  $N$  Do
4:     Evaluate the fitness value of all bowers  $f(X_i)$ 
5:     The best bower ( $X_{best}$ ) and assume it as elite
6:      $NFEs = NFEs + NFEs$  that is consumed by bower
7: End for
// The stage of CSBO
8: Initial iterations  $t = 1$ 
9: Generate the chaotic sequences  $c_1^t \in (0, 1)$ , the description in Section 3 and Table 1 ◁ (1)
10: While ( $NFEs \geq max\_NFEs$ ) Do
11:     For  $k = 1$  to  $N$  Do
12:         Calculate the probability ( $P$ ) of bowers using Eqs. \(1\) and \(2\)
13:     End for
14:     //Generate a new bower ( $X_i^{t+1}$ )
15:     For  $i = 1$  to  $N$  Do
16:         For  $k = 1$  to  $D$  (all element ( $D$ ) of bower) Do
17:             Select one bower ( $X_j^t$ ), where ( $X_j^t$ ) is random using roulette wheel selection
18:             //Calculate step size ( $\lambda_k$ )
19:             If  $mod(t, N - 1) = 0$  Then ◁ (2)
20:                 Calculate step size ( $\lambda_k$ ) using Eq. \(8\) ◁ (3)
21:             Else
22:                 Calculate step size ( $\lambda_k$ ) using Eq. \(4\)
23:             End if
24:             Update the position of bower ( $X_i^{t+1}$ ) using Eq. \(3\)
25:             //Mutation
26:             If  $rand \leq P$  Then
27:                 Update the position of bower ( $X_i^{t+1}$ ) using Eq. \(6\)
28:             End if
29:         End for
30:         Evaluate the fitness value of bower  $f(X_i^{t+1})$ 
31:          $NFEs = NFEs + 1$ 
32:     End for
33:     Sorted bower ( $X_N$ ) and  $f(X_N)$  by the fitness values
34:     Update elite ( $X_{best}$ ) if a bower becomes fitter than the elite
35:      $t = t + 1$ 
36: End while
37: Output the global best fitness value of bower ( $X_{best}$ )

```

Note: The differences between the SBO and CSBO are indicated with lines marked with the symbol ◁ ⁽ⁱ⁾.

Table 2 Description of the CEC2014 benchmark functions [26–28].

Func. #	Function name	Md	Sp	Ro	Sh	Hy	Co	DFVS	DFLB	Opt.	
Unimodal	f_1 Rotated High Conditioned Elliptic Function	U	N	Y	N	N	N	N	N	100	
	f_2 Rotated Bent Cigar Function	U	N	Y	N	N	N	N	N	200	
	f_3 Rotated Discus Function	U	N	Y	N	N	N	N	N	300	
Simple Multimodal	f_4 Shifted and Rotated Rosenbrock's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	400	
	f_5 Shifted and Rotated Ackley's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	500	
	f_6 Shifted and Rotated Weierstrass Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	600	
	f_7 Shifted and Rotated Griewank's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	700	
	f_8 Shifted Rastrigin's Function	M	Y	N	Y	N	N	N	N	800	
	f_9 Shifted and Rotated Rastrigin's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	900	
	f_{10} Shifted Schwefel's Function	M	Y	N	Y	N	N	N	N	1000	
	f_{11} Shifted and Rotated Schwefel's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1100	
	f_{12} Shifted and Rotated Katsuura Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1200	
	f_{13} Shifted and Rotated HappyCat Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1300	
	f_{14} Shifted and Rotated HGBat Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1400	
	f_{15} Shifted and Rotated Expanded Griewank's plus Rosenbrock's Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1500	
	f_{16} Shifted and Rotated Expanded Scaffer's F6 Function	M	N	Y	Y	N	N	N	N	1600	
	Hybrid	f_{17} Hybrid Function 1 (N = 3)	M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	1700
		f_{18} Hybrid Function 2 (N = 3)	M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	1800
		f_{19} Hybrid Function 3 (N = 4)	M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	1900
f_{20} Hybrid Function 4 (N = 4)		M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	2000	
f_{21} Hybrid Function 5 (N = 5)		M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	2100	
f_{22} Hybrid Function 6 (N = 5)		M/U	N	N	N	Y	N	Y	N	2200	
Composition	f_{23} Composition Function 1 (N = 5)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2300	
	f_{24} Composition Function 2 (N = 3)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2400	
	f_{25} Composition Function 3 (N = 3)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2500	
	f_{26} Composition Function 4 (N = 5)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2600	
	f_{27} Composition Function 5 (N = 5)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2700	
	f_{28} Composition Function 6 (N = 5)	M	N	N	N	N	Y	N	Y	2800	
	f_{29} Composition Function 7 (N = 3)	M	N	N	N	N	Y	Y	Y	2900	
	f_{30} Composition Function 8 (N = 3)	M	N	N	N	N	Y	Y	Y	3000	

Node: Features of the 30 benchmark functions (Note: Md: Modality, Sp: Separable, Ro: Rotated, Sh: Shifted, Hy: Hybrid, Co: Composition, DFVS: Different properties for different variables subcomponents, DFLB: Different properties around different local optima, U: Unimodal, M: Simple Multimodal, N: No, Y: Yes.)

5.2 Initialization and parameter settings

In an effort to produce meaningful statistics, the experiment was carried out over 50 different runs for each setting, with the same initial conditions for all algorithms. Moreover, the performance of the CSBO algorithms was measured using statistical measures, such as mean objective function value and the standard deviation. The population size of the SBO and among the CSBO algorithms was, which we felt would be sufficient for most problems. With a fixed population size at each run, the benchmark function test problems were executed with 30 and 50 dimensions of 50 function evaluations. The maximum number of functions evaluated (*NFEs*) were set at $3.0E+5$ and $5.0E+5^{29-31}$, respectively. The percentage of the difference between the upper and lower limits (Z) was considered to be 0.02, the mutation probability (P) was 0.05, the greatest step size (α) was 0.94, and the proportion of space width (σ) was calculated through Eq. (7)^{20,21}.

6. Experiment results and discussion

In this paper, our experiments are coded in MATLAB R2016a, 64 bit, and run on a desktop computer with an Intel® Core™ i7-6770HQ processor, 8.00GB of RAM, 500GB of HD, and Microsoft Windows 10 Professional 64 bit Operating System. The sets of benchmark test functions were employed to demonstrate the effectiveness of the SBO and CSBOs (denoted as CSBO1 to CSBO10), and the 30 test functions with 30 dimensions (30D) and 50 dimensions (50D), via IEEE CEC2014.

The average objective function values (“Avg.Obj”) and standard deviation of the fitness function values (“Std. Dev”) of all runs were recorded. The “Avg.Obj” and “Std. Dev” were considered as two performance metrics to assess the performance of the algorithms. Moreover, Wilcoxon’s rank sum test³² at a 5% significance level was used to test the statistical significance between pairwise algorithms.

The performance of the CSBO with different chaotic maps and their results are discussed in Section 6.1. The qualitative analysis is described in Section 6.2, and the analysis ranked by Friedman rank is described in Section 6.3. Also, the statistical testing by Wilcoxon’s rank sum test of the experiment results is clearly described in Section 6.4.

6.1. Performance assessment of CSBO with different chaotic maps

Within the experiment results, the CSBOs utilized the Chebyshev, Circle, Gauss/Mouse, Iterative, Logistic, Piecewise, Sine, Singer, Sinusoidal and Tent map, respectively; as shown in Table 1 and Figure1. The CSBOs are capable of significantly improving the solution quality through the use of the chaotic maps. The adjustments of the main parameter are implemented with the various chaotic maps, as seen in Section 4. In Tables 3 and 4, the SBO, CSBO1(Chebyshev), CSBO2(Circle), CSBO3-(Gauss/Mouse), CSBO4(Iterative), CSBO5(Logistic), CSBO6(Piecewise), CSBO7(Sine), CSBO8(Singer), CSBO9(Sinusoidal) and CSBO10(Tent) were proven to successfully enhance the performance of the SBO algorithm. However, compared to the CSBO algorithm, the CSBO3(Gauss/Mouse) algorithm produced less satisfying results. The most favorable results, derived from the Wilcoxon’s rank sum test on the 50 independent runs in both 30 and 50 dimensions, were achieved by the CSBO10(Tent) algorithm (Tables 7 and 8). The p -Values clearly depict that this supremacy is statistically significant.

The average running times of the SBO and among the CSBO algorithms were collected and are presented at the end of Tables 3 and 4, in which all methods of the CSBO clearly outperformed the SBO algorithm, and in which the CSBO10(Tent) was the fastest of all algorithms.

Table 3 Comparisons of the CSBO with ten different CSBO variants (CSBO1 to 10) through 50 independent runs on 30 test functions with 30 dimensions, taken from IEEE the CEC2014 using 300,000 NFEs.

#	Criteria	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	Avg.Obj	2954501.4906	2284003.5525	2218097.3380	2257696.9538	2177756.3027	405202.1121	2109640.1369	2208077.6958	2196663.4872	2146540.2880	375480.9475
	Std.Dev.	8.6304E+05	9.2116E+05	9.1281E+05	1.0582E+06	9.4940E+05	2.2039E+05	9.5386E+05	8.6263E+05	8.2349E+05	9.4494E+05	2.0571E+05
f_2	Avg.Obj	537627.9478	12085.0254	11823.4205	12169.4099	11973.1865	11196.4560	11805.0292	11878.8561	11636.9373	11990.3100	11190.3635
	Std.Dev.	7.8532E+04	6.4691E+03	6.2139E+03	7.3587E+03	6.5943E+03	5.8514E+03	6.1463E+03	6.1872E+03	6.0662E+03	6.2673E+03	5.4370E+03
f_3	Avg.Obj	11467.7606	6603.9789	7816.7485	8377.5457	6980.0714	3547.0344	7539.7774	6826.0566	8027.3659	7253.6294	3090.3038
	Std.Dev.	6.2529E+03	5.5419E+03	6.9721E+03	6.5701E+03	6.6878E+03	3.3481E+03	5.2453E+03	5.7181E+03	6.7682E+03	6.3969E+03	2.9297E+03
f_4	Avg.Obj	536.5799	501.6470	495.4016	488.8676	494.3735	453.9734	498.7470	504.0369	496.4601	500.5301	452.9273
	Std.Dev.	2.4539E+01	3.1270E+01	3.5888E+01	3.0808E+01	3.5293E+01	3.2875E+01	3.3522E+01	3.5840E+01	3.2783E+01	3.5856E+01	3.5539E+01
f_5	Avg.Obj	520.8515	520.6840	520.7238	520.8052	520.7045	520.6256	520.6345	520.6531	520.7432	520.6680	520.6225
	Std.Dev.	7.4616E-02	2.3825E-01	2.2421E-01	6.9573E-02	2.5296E-01	2.7599E-01	2.9140E-01	2.6467E-01	2.2863E-01	2.7333E-01	2.9740E-01
f_6	Avg.Obj	628.4728	627.4952	626.7816	627.0822	627.5141	625.1058	627.5297	627.1354	627.4688	627.2582	625.3411
	Std.Dev.	1.2209E+00	2.9655E+00	2.8788E+00	2.9168E+00	3.1261E+00	3.5833E+00	3.0883E+00	2.7242E+00	3.3775E+00	2.8582E+00	3.5974E+00
f_7	Avg.Obj	700.9321	700.1082	700.1147	700.0970	700.1012	700.0735	700.0834	700.1199	700.1389	700.1075	700.0696
	Std.Dev.	3.5790E-02	7.1906E-02	1.1594E-01	3.9728E-02	9.4224E-02	4.4297E-02	3.1915E-02	3.1915E-02	1.0730E-01	1.7225E-01	2.0174E-02
f_8	Avg.Obj	942.9053	936.1531	932.4561	936.1521	938.7979	933.1951	937.3471	936.7560	936.0223	936.5516	932.1518
	Std.Dev.	2.6164E+01	2.4472E+01	2.2606E+01	2.0077E+01	2.3353E+01	1.9875E+01	2.3125E+01	2.5205E+01	2.0723E+01	1.8947E+01	2.4637E+01
f_9	Avg.Obj	1087.7137	1084.5396	1083.9894	1079.8307	1084.7454	1070.46094	1086.0789	1086.5998	1078.4575	1082.9544	1062.2037
	Std.Dev.	2.8292E+01	3.0810E+01	2.6844E+01	3.0946E+01	3.2752E+01	20.5547601	3.1393E+01	2.7940E+01	3.0719E+01	3.1363E+01	1.9629E+01
f_{10}	Avg.Obj	3801.5258	3351.6007	3389.5945	3295.3197	3434.3011	3224.5379	3359.5377	3224.9761	3345.0967	3299.8143	3089.4919
	Std.Dev.	4.9797E+02	4.4743E+02	4.8825E+02	4.7756E+02	4.1815E+02	4.3174E+02	4.2120E+02	4.2120E+02	4.1877E+02	4.7800E+02	2.4836E+02
f_{11}	Avg.Obj	5070.6695	4527.6240	4584.0447	4561.1760	4553.2822	4337.1775	4511.6006	4672.1382	4530.1474	4535.4291	4331.2635
	Std.Dev.	5.8713E+02	4.8492E+02	5.7978E+02	5.0593E+02	4.6154E+02	4.9193E+02	6.4470E+02	5.1047E+02	5.7817E+02	6.3195E+02	2.6978E+02
f_{12}	Avg.Obj	1200.2119	1200.1349	1200.1363	1200.1364	1200.1441	1200.1079	1200.1435	1200.1523	1200.1406	1200.1474	1200.1338
	Std.Dev.	2.1980E-02	4.8660E-02	4.8960E-02	6.1927E-02	5.4431E-02	2.6305E-02	5.9890E-02	6.5807E-02	5.5673E-02	5.6505E-02	5.8079E-02
f_{13}	Avg.Obj	1300.4522	1300.4224	1300.4156	1300.4171	1300.4176	1300.2909	1300.4073	1300.4085	1300.4230	1300.4214	1300.2973
	Std.Dev.	1.0454E-01	9.8495E-02	7.2704E-02	7.5892E-02	8.9786E-02	6.4423E-02	8.7061E-02	8.9102E-02	8.6463E-02	8.7856E-02	5.2780E-02
f_{14}	Avg.Obj	1400.2357	1400.2235	1400.2279	1400.2276	1400.2265	1400.1892	1400.2331	1400.1965	1400.2246	1400.2264	1400.1855
	Std.Dev.	4.8548E-02	5.1892E-02	4.5982E-02	4.1723E-02	4.0404E-02	2.4688E-02	3.9394E-02	3.1739E-02	3.9736E-02	4.6593E-02	3.3341E-02
f_{15}	Avg.Obj	1531.1561	1519.9596	1520.7198	1520.7703	1522.3377	1509.5628	1520.7434	1520.9690	1522.0823	1520.6277	1509.5833
	Std.Dev.	5.8988E+00	4.8345E+00	6.2317E+00	5.4328E+00	5.9087E+00	1.0521E+00	5.8830E+00	5.5143E+00	4.9035E+00	4.8627E+00	8.8795E-01

Table 3 Comparisons of the CSBO with ten different CSBO variants (CSBO1 to 10) through 50 independent runs on 30 test functions with 30 dimensions, taken from IEEE the CEC2014 using 300,000 NFEs. (Continue)

#	Criteria	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_{16}	Avg.Obj	1612.1994	1612.0431	1611.9800	1612.0814	1611.9415	1611.4896	1612.0364	1612.0185	1612.0411	1611.8635	1611.3027
	Std.Dev.	5.4865E-01	5.9309E-01	6.5080E-01	5.8621E-01	6.6894E-01	6.3778E-01	6.7979E-01	6.2530E-01	6.4723E-01	5.3512E-01	7.0681E-01
f_{17}	Avg.Obj	822195.2316	568367.7646	59030.4502	562431.3064	580322.4153	100893.9826	567756.4027	561244.1233	577000.1444	577013.8509	98968.6504
	Std.Dev.	2.7776E+05	2.6939E+05	3.3216E+05	3.2542E+05	3.1016E+05	6.7044E+04	3.2760E+05	3.1896E+05	3.0717E+05	2.9373E+05	7.3983E+04
f_{18}	Avg.Obj	4706.3278	4291.1398	4084.2605	4418.1364	4221.9342	3926.4762	4418.3638	4417.3218	4221.4035	4564.7970	3943.6015
	Std.Dev.	3.3311E+03	3.3801E+03	2.9673E+03	3.4114E+03	3.2616E+03	2.6700E+03	3.4125E+03	3.4111E+03	3.2618E+03	3.2021E+03	2.6935E+03
f_{19}	Avg.Obj	1965.7796	1921.3427	1919.9956	1919.7919	1918.8599	1913.8906	1920.0158	1922.5307	1918.8286	1925.0599	1911.3690
	Std.Dev.	1.6300E+01	1.9360E+01	1.8359E+01	1.7834E+01	1.5972E+01	1.1429E+01	1.7870E+01	2.3953E+01	1.5891E+01	2.7195E+01	1.8608E+00
f_{20}	Avg.Obj	16248.66429	14277.8451	14207.0057	14827.2017	13500.3219	6104.6818	14831.9354	14833.0209	13516.7993	14466.2800	6088.4871
	Std.Dev.	7.8963E+03	6.9697E+03	6.4488E+03	7.0439E+03	6.0350E+03	3.0018E+03	6.8849E+03	7.0615E+03	6.2768E+03	7.4474E+03	3.1874E+03
f_{21}	Avg.Obj	543639.8104	369803.6101	362713.5061	383841.7475	371039.0086	75432.2970	381847.1752	372842.1177	383037.9050	378127.4855	72886.1629
	Std.Dev.	2.6735E+05	2.2066E+05	2.2809E+05	2.4804E+05	2.3117E+05	4.7912E+04	2.6640E+05	2.4205E+05	2.4249E+05	2.3121E+05	4.5934E+04
f_{22}	Avg.Obj	3426.4103	3124.5227	3156.6042	3190.7943	3108.4092	3094.5845	3194.2945	3122.1624	3143.5954	3115.0538	3102.9174
	Std.Dev.	2.0830E+02	2.6283E+02	2.9065E+02	2.5019E+02	3.3152E+02	2.5973E+02	2.2820E+02	2.4963E+02	3.2058E+02	2.5747E+02	2.7208E+02
f_{23}	Avg.Obj	2615.2605	2615.2447	2615.2447	2615.2449	2615.2447	2615.2447	2615.2450	2615.2449	2615.2447	2615.2447	2615.2447
	Std.Dev.	1.7565E-03	4.7607E-04	5.9109E-04	7.5238E-04	5.2702E-04	4.6189E-04	9.6308E-04	9.8819E-04	5.1321E-04	6.7484E-04	4.4453E-04
f_{24}	Avg.Obj	2650.9373	2638.9357	2639.8083	2641.3553	2641.9886	2632.0145	2636.6127	2636.7461	2640.0860	2637.7172	2631.9794
	Std.Dev.	1.7631E+01	1.7006E+01	1.4293E+01	1.7025E+01	1.5397E+01	1.4615E+01	1.2515E+01	1.2235E+01	1.7051E+01	1.1974E+01	1.4797E+01
f_{25}	Avg.Obj	2736.1301	2727.4144	2726.7907	2727.3267	2727.1638	2725.3447	2728.1289	2727.6877	2727.9906	2727.0872	2725.3759
	Std.Dev.	4.8677E+00	6.3964E+00	6.1640E+00	6.5673E+00	6.4363E+00	6.4855E+00	6.4405E+00	6.9534E+00	7.1484E+00	6.2015E+00	5.8665E+00
f_{26}	Avg.Obj	2780.1235	2746.3333	2746.3304	2746.3370	2744.3717	2744.3423	2744.3531	2748.3248	2746.3250	2742.3604	2740.3507
	Std.Dev.	4.0301E+01	5.0244E+01	5.0219E+01	5.0211E+01	5.0023E+01	5.0024E+01	5.0006E+01	5.0345E+01	5.0225E+01	4.9723E+01	4.9367E+01
f_{27}	Avg.Obj	3820.3126	3626.3675	3643.3680	3642.8716	3641.6163	3580.7270	3622.4255	3630.8999	3643.7984	3640.0523	3542.3573
	Std.Dev.	2.2162E+02	4.0708E+02	3.8345E+02	4.0206E+02	3.8722E+02	3.6460E+02	3.8957E+02	3.9212E+02	3.8732E+02	3.9983E+02	3.6342E+02
f_{28}	Avg.Obj	7565.6498	6648.7526	6728.3243	6683.4976	6699.6037	6326.5310	6748.4478	6713.0450	6701.8127	6686.1776	6250.0076
	Std.Dev.	6.8329E+02	6.7414E+02	6.7526E+02	5.5294E+02	6.2433E+02	3.2681E+02	5.0195E+02	6.3611E+02	6.0382E+02	5.4873E+02	4.3900E+02
f_{29}	Avg.Obj	2628931.7834	226253.0709	404713.7310	4272.7752	4235.3147	3986.3597	226271.0231	4316.7656	4250.0500	4231.8687	4231.4484
	Std.Dev.	4.5078E+06	1.5699E+06	1.9939E+06	4.6714E+02	4.6579E+02	2.4049E+02	1.5699E+06	4.8755E+02	4.8357E+02	4.6671E+02	2.3208E+02
f_{30}	Avg.Obj	6235.7902	5847.9366	5832.5031	5858.0177	5899.4723	5234.2711	5860.7970	5828.5558	5929.6560	5794.0718	5340.3091
	Std.Dev.	6.1930E+02	5.9070E+02	7.8411E+02	7.9001E+02	8.1078E+02	5.8965E+02	7.5649E+02	8.5105E+02	7.6738E+02	8.0145E+02	5.4975E+02
Avg. Time		47.06	46.50	45.90	46.73	45.45	44.65	46.77	46.12	44.97	44.57	44.52

Table 4 Comparisons of the CSBO with ten different CSBO variants (CSBO1 to 10) through 50 independent runs on 30 test functions with 30 dimensions, taken from IEEE the CEC2014 using 500,000 NFEs.

#	Criteria	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	Avg.Obj	4468231.8068	3566524.7076	3572070.2958	3580252.6082	3485492.8735	1311712.8167	3441468.6327	3645022.8968	3542794.3668	3548704.9319	1341800.6218
	Std.Dev.	1.0064E+06	9.3177E+05	1.0385E+06	1.0270E+06	9.5192E+05	3.3924E+05	9.6758E+05	1.0258E+06	1.0258E+06	8.9002E+05	3.2025E+05
f_2	Avg.Obj	7834638.3851	207996.9719	216515.3278	210173.7167	219930.5476	195243.0860	211904.5081	217223.1631	221034.6058	225208.4669	192055.6357
	Std.Dev.	7.0538E+05	5.7026E+04	6.1608E+04	4.5640E+04	5.3825E+04	2.3078E+04	4.3302E+04	5.4010E+04	4.7133E+04	4.9089E+04	2.7752E+04
f_3	Avg.Obj	7731.6111	4648.8149	4574.0084	5054.6544	5025.1417	1360.2328	4242.7835	4686.0038	4955.3314	4619.8579	1272.0111
	Std.Dev.	3.5901E+03	2.8455E+03	2.3448E+03	2.8016E+03	2.7668E+03	6.8397E+02	2.3305E+03	2.5117E+03	2.7103E+03	2.2496E+03	6.1448E+02
f_4	Avg.Obj	597.1506	544.6468	556.6786	549.9348	551.3595	487.3989	545.7996	536.7114	547.5235	545.6787	490.2048
	Std.Dev.	4.4552E+01	4.3862E+01	5.0614E+01	4.6240E+01	4.3665E+01	4.6155E+01	4.5688E+01	4.4097E+01	4.3541E+01	3.9737E+01	4.4169E+01
f_5	Avg.Obj	521.0520	520.9868	521.0062	520.9869	521.0094	520.8996	520.9961	520.9824	520.9703	520.9544	520.9071
	Std.Dev.	3.1402E-02	1.3788E-01	1.7996E-01	5.0745E-02	1.6392E-01	1.4783E-01	1.4422E-01	1.6028E-01	1.3095E-01	1.8143E-01	1.9725E-01
f_6	Avg.Obj	656.0078	653.6947	652.8843	653.6553	652.9476	641.6717	653.3993	654.1231	653.1250	653.2944	641.7580
	Std.Dev.	2.8107E+00	3.3489E+00	3.9502E+00	3.5725E+00	4.2675E+00	4.6114E+00	3.7435E+00	3.4581E+00	3.6556E+00	3.8704E+00	4.4044E+00
f_7	Avg.Obj	701.1191	700.5497	700.5628	700.5558	700.5661	700.5095	700.5559	700.5504	700.5580	700.5577	700.5103
	Std.Dev.	9.7072E-03	7.9532E-02	9.4539E-02	1.1260E-01	1.0226E-01	1.3281E-01	9.3046E-02	9.8790E-02	1.1044E-01	9.4711E-02	8.1794E-02
f_8	Avg.Obj	1099.8578	1087.1715	1082.2656	1085.8130	1083.1418	1081.7064	1087.0080	1087.2987	1084.0895	1083.2526	1064.2131
	Std.Dev.	3.4908E+01	2.8784E+01	3.4996E+01	3.2971E+01	3.6873E+01	3.3088E+01	3.6327E+01	3.8572E+01	3.5933E+01	3.1990E+01	2.3714E+01
f_9	Avg.Obj	1318.5125	1283.8737	1291.5648	1280.5302	1286.9681	1278.1345	1284.7326	1278.5045	1279.9505	1290.2672	1276.6274
	Std.Dev.	3.5148E+01	5.6557E+01	4.6193E+01	5.1029E+01	6.0512E+01	5.1858E+01	5.0314E+01	5.2137E+01	4.5629E+01	4.8973E+01	5.4355E+01
f_{10}	Avg.Obj	6209.1124	5388.9733	5562.6941	5579.6667	5628.5034	5461.4489	5689.5142	5471.2140	5589.3747	5461.1946	5247.1737
	Std.Dev.	7.3454E+02	6.4005E+02	5.8023E+02	6.3134E+02	5.4631E+02	7.0631E+02	5.5772E+02	7.2492E+02	5.6777E+02	6.0122E+02	5.0984E+02
f_{11}	Avg.Obj	8268.0729	7684.8324	7658.7485	7872.9371	7951.1424	7648.1166	7654.6474	7650.9491	7753.2547	7729.5731	7542.1847
	Std.Dev.	7.8569E+02	7.7937E+02	8.6152E+02	7.6233E+02	6.3876E+02	8.2830E+02	8.7300E+02	8.2695E+02	7.5978E+02	7.7326E+02	8.4183E+02
f_{12}	Avg.Obj	1200.5104	1200.1703	1200.1467	1200.1693	1200.1625	1200.1453	1200.1595	1200.1766	1200.1521	1200.1625	1200.1425
	Std.Dev.	5.2559E-02	5.6566E-02	3.6377E-02	5.5906E-02	4.0272E-02	3.3953E-02	4.9758E-02	5.5321E-02	5.4753E-02	5.0034E-02	4.2965E-02
f_{13}	Avg.Obj	1300.5702	1300.5270	1300.5166	1300.5204	1300.5155	1300.4213	1300.5150	1300.5104	1300.5210	1300.5213	1300.4190
	Std.Dev.	6.1996E-02	8.0362E-02	7.7947E-02	9.4696E-02	7.6679E-02	6.8006E-02	8.2841E-02	7.6509E-02	7.4990E-02	8.2556E-02	5.3808E-02
f_{14}	Avg.Obj	1400.3233	1400.3100	1400.3088	1400.3017	1400.3061	1400.2167	1400.3007	1400.3014	1400.2999	1400.3070	1400.2207
	Std.Dev.	3.2112E-02	3.4766E-02	3.5193E-02	3.4550E-02	3.3486E-02	2.5870E-02	3.0496E-02	3.0682E-02	3.6545E-02	3.7363E-02	2.5043E-02
f_{15}	Avg.Obj	1546.1797	1538.8718	1540.4127	1536.9560	1538.2024	1525.2999	1539.1468	1538.0265	1539.4516	1539.0304	1525.0345
	Std.Dev.	6.2357E+00	8.3285E+00	7.5809E+00	7.0513E+00	7.1699E+00	1.1348E+00	7.4981E+00	7.2065E+00	8.0294E+00	7.9007E+00	1.2177E+00

Table 4 Comparisons of the CSBO with ten different CSBO variants (CSBO1 to 10) through 50 independent runs on 30 test functions with 30 dimensions, taken from IEEE the CEC2014 using 500,000 NFEs. (Continue)

#	Criteria	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_{16}	Avg.Obj	1621.6403	1621.1993	1621.3845	1621.3210	1621.2901	1619.8254	1621.4207	1621.3882	1621.3995	1621.1946	1619.9312
	Std.Dev.	7.1383E-01	7.7318E-01	6.4918E-01	6.1428E-01	7.6126E-01	7.3523E-01	6.0711E-01	6.6645E-01	6.8881E-01	7.4991E-01	5.8796E-01
f_{17}	Avg.Obj	1204758.7599	930858.0412	973729.3922	970350.9345	1005058.1999	116922.1230	960655.5956	952845.5130	1014125.9405	984460.0284	130321.9319
	Std.Dev.	3.3170E+05	3.7188E+05	3.9557E+05	3.5464E+05	3.6108E+05	5.1520E+04	3.4673E+05	3.3937E+05	3.6321E+05	3.4726E+05	4.7015E+04
f_{18}	Avg.Obj	5769.0266	3859.4904	4212.3281	3968.2543	3803.0662	3287.0203	3968.6996	3964.9416	3805.9809	3662.9572	3262.1020
	Std.Dev.	1.2376E+03	1.4781E+03	1.4121E+03	1.4697E+03	1.5489E+03	1.3675E+03	1.4663E+03	1.4640E+03	1.5463E+03	1.4658E+03	1.4043E+03
f_{19}	Avg.Obj	1968.1094	1956.2054	1956.5324	1957.7725	1955.7178	1922.0968	1958.4278	1957.5544	1954.7934	1963.4405	1923.2066
	Std.Dev.	3.1111E+01	3.1237E+01	3.2534E+01	3.2195E+01	3.0535E+01	3.2719E+00	3.2062E+01	3.1985E+01	3.0570E+01	3.1417E+01	8.5602E+00
f_{20}	Avg.Obj	9837.7746	6893.7886	6754.2900	6772.8073	6461.7068	2612.4487	7012.0433	6857.3274	6713.3070	6914.6229	2653.0545
	Std.Dev.	4.7445E+03	3.8124E+03	4.1005E+03	4.1320E+03	3.8761E+03	4.2191E+02	4.4531E+03	4.0422E+03	3.9583E+03	4.1219E+03	5.0937E+02
f_{21}	Avg.Obj	830680.1880	695003.6057	683325.3955	693627.2561	725864.4488	107289.5323	664926.0213	661220.0060	676380.3968	679189.6473	95856.9225
	Std.Dev.	3.2473E+05	2.6990E+05	2.6380E+05	2.8770E+05	3.1124E+05	4.6760E+04	2.4799E+05	2.4913E+05	2.3851E+05	2.4553E+05	4.1897E+04
f_{22}	Avg.Obj	4208.1099	4063.9731	3891.2790	3907.4388	3959.5429	3731.3831	3950.8289	3970.2595	3941.6170	4093.9408	3695.2999
	Std.Dev.	3.2813E+02	3.6835E+02	3.3355E+02	3.6252E+02	4.5082E+02	2.7952E+02	4.1802E+02	3.2647E+02	4.0802E+02	3.7339E+02	2.5273E+02
f_{23}	Avg.Obj	2644.0924	2644.0061	2644.0059	2644.0060	2644.0060	2644.0056	2644.0058	2644.0059	2644.0061	2644.0058	2644.0058
	Std.Dev.	7.3895E-03	8.8980E-04	8.3452E-04	7.2954E-04	6.0704E-04	4.2775E-04	6.3798E-04	7.0625E-04	6.8976E-04	5.1336E-04	5.8747E-04
f_{24}	Avg.Obj	2702.8048	2701.1678	2698.6987	2695.8638	2699.8626	2686.9508	2696.8633	2695.2002	2697.3540	2695.1365	2682.8046
	Std.Dev.	2.6180E+01	2.2831E+01	2.6327E+01	1.5413E+01	1.9808E+01	1.7974E+01	1.7585E+01	1.5246E+01	1.6286E+01	1.5743E+01	1.8151E+01
f_{25}	Avg.Obj	2763.3809	2759.3736	2759.9331	2762.2377	2761.0264	2752.1710	2760.8928	2760.3395	2761.0379	2762.4270	2750.0479
	Std.Dev.	8.7552E+00	1.2748E+01	1.2820E+01	1.5465E+01	1.1495E+01	9.7819E+00	1.3373E+01	1.3797E+01	1.2715E+01	1.4710E+01	1.0510E+01
f_{26}	Avg.Obj	2798.1987	2784.4872	2778.4889	2787.8363	2782.4912	2777.3282	2783.7303	2785.6958	2789.1061	2789.4850	2754.2627
	Std.Dev.	1.4108E+01	3.7033E+01	4.1872E+01	5.5993E+01	3.8653E+01	4.1758E+01	5.8002E+01	5.6678E+01	5.2787E+01	5.2807E+01	5.0222E+01
f_{27}	Avg.Obj	4721.1860	4715.9723	4693.7173	4695.2241	4676.3828	4270.3327	4692.2391	4671.1345	4670.3474	4684.7051	4284.3435
	Std.Dev.	2.1927E+02	1.4407E+02	1.3787E+02	1.4093E+02	1.3162E+02	1.4704E+02	1.4107E+02	1.4562E+02	1.1796E+02	1.4515E+02	2.2539E+02
f_{28}	Avg.Obj	12274.1713	11353.9419	11245.5390	11295.1513	11426.0850	10706.9324	11270.3343	11136.0587	11392.7079	11277.8010	10469.0137
	Std.Dev.	1.2712E+03	1.0280E+03	9.8242E+02	1.0285E+03	9.2493E+02	8.9628E+02	9.1204E+02	8.3419E+02	1.1201E+03	9.3164E+02	7.7053E+02
f_{29}	Avg.Obj	3770881.0725	1743941.9285	1704986.7471	1633138.8079	1610903.9546	10774.5470	1750795.9958	1743892.2413	1734367.5073	1887934.7471	10718.7712
	Std.Dev.	1.2994E+07	8.6069E+06	8.4125E+06	8.0676E+06	7.9528E+06	2.2256E+03	8.6401E+06	8.6069E+06	8.5607E+06	9.3833E+06	2.0744E+03
f_{30}	Avg.Obj	17874.7858	17041.0865	17300.8074	17119.2179	16838.9417	15384.2701	17057.8306	17200.4780	17266.5241	16954.8482	15500.4421
	Std.Dev.	2.4934E+03	1.3978E+03	1.9548E+03	1.8601E+03	2.0225E+03	1.0900E+03	1.6155E+03	1.6087E+03	1.7371E+03	1.2672E+03	1.2102E+03
Avg. Time		163.50	157.89	159.57	160.54	160.82	159.09	163.35	161.73	156.33	158.81	157.43

6.2. Qualitative analysis

In this Section, we present the qualitative analysis of the CSBO algorithms based on the 30 benchmark functions employed for an effective evaluation. The sample of the convergence progress of the solution values of the 50 iterations for 30 benchmark functions over each run with the CSBO algorithm are shown in Figure 2a - 2j. The results clearly present the convergence speed rates of the algorithms, in which the picture agent of 30 benchmark functions are represented as f_1 , f_9 , f_{17} , f_{21} , and f_{28} , respectively.

The Unimodal function, shown in Figure 2a and 2f shows the optimization values for the f_1 function. The CSBO10(Tent) clearly demonstrated has the best performance for this benchmark. The CSBO5-(Logistic) also worked very well, as it ranked second among 11 algorithms.

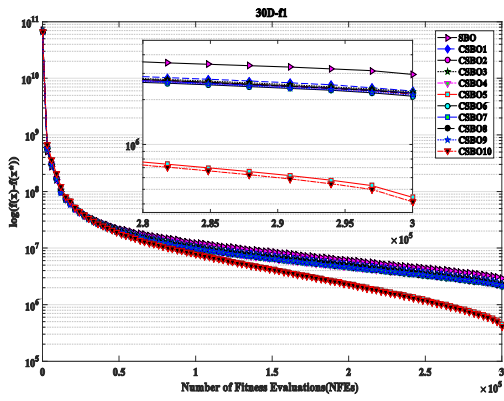
The Simple multimodal function, show in Figure 2b and 2g, shows the optimization values for the f_9 function. The figures reveal that while the differences in performance between the CSBO10(Tent) and CSBO5(Logistic) were slight, the CSBO10(Tent) yielded the better results for this problem, as shown in Tables 3 and 4. Notably, the convergence to the value of the CSBO5(Logistic) was very close to that of the CSBO10(Tent). Contrastingly, the SBO, CSBO1(Chebyshev), CSBO2(Circle), CSBO3-(Gauss/Mouse), CSBO4(Iterative), CSBO6(Piecewise), CSBO7(Sine), CSBO8(Singer), and CSBO9-(Sinusoidal) did not succeed in this benchmark function.

The hybrid function, shown in Figure 2c, d, h, and i, shows the optimization values for the f_{17} and f_{21} functions; in which the CSBO10(Tent) and CSBO5-(Logistic) yielded the fastest convergence rates of all other methods. Where both were able to more quickly find the optimal solution, the other algorithms, upon completion, failed to find the best solution in this benchmark function.

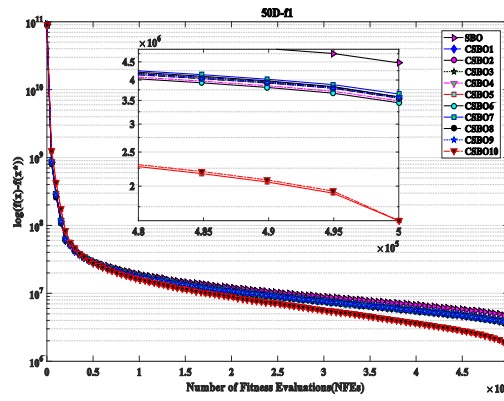
In the composition function, found in Figure 2e and j, all CSBO algorithms demonstrated better search capabilities in finding the optimal solution of each benchmark function. Each algorithm presented sufficient reliability and stability, and was able to search much deeper than the standard SBO algorithm. While they were all capable of converging much faster than the standard algorithm, only the CSBO10(Tent) was able to find the optimal solutions.

Fifty iterations were conducted in order to analyze the convergence curves of the CSBOs on various chaotic maps. Tables 3 and 4 show that on average, the CSBO10(Tent) outperformed the SBO, CSBO1(Chebyshev), CSBO2(Circle), CSBO3-(Gauss/Mouse), CSBO4(Iterative), CSBO5(Logistic), CSBO6(Piecewise), CSBO7(Sine), CSBO8(Singer), and CSBO9(Sinusoidal) algorithms on 21 of the 30 benchmark functions in 30D ($f_1 - f_5, f_7 - f_{11}, f_{14}, f_{16}, f_{17}, f_{19} - f_{21}, f_{23}, f_{24}, f_{26} - f_{28}$), and 17 out of the 30 benchmark functions in 50D ($f_2, f_3, f_8 - f_{13}, f_{15}, f_{18}, f_{21}, f_{22}, f_{24} - f_{26}, f_{28}, f_{29}$), when searching for the optimal function minimum. The CSBO5(Logistic) provided the second best map, performing best on 10 out of 30, and 13 out of 30 benchmark functions; based on 30D ($f_6, f_{12}, f_{13}, f_{15}, f_{18}, f_{22}, f_{23}, f_{25}, f_{29}, f_{30}$) and 50D ($f_1, f_4 - f_7, f_{14}, f_{16}, f_{17}, f_{19}, f_{20}, f_{23}, f_{27}, f_{30}$), respectively.

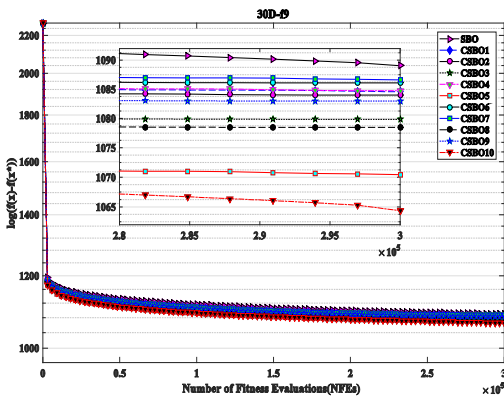
(a) f_1 : Rotated High Conditioned Elliptic in 30D



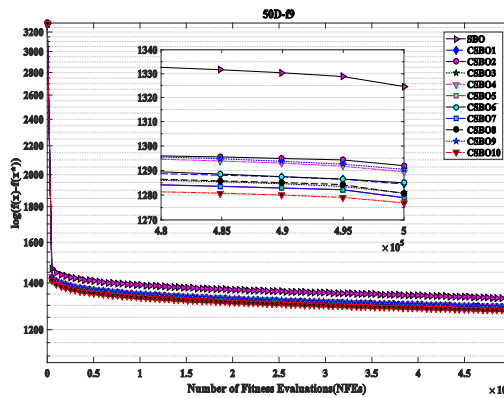
(f) f_1 : Rotated High Conditioned Elliptic in 50D



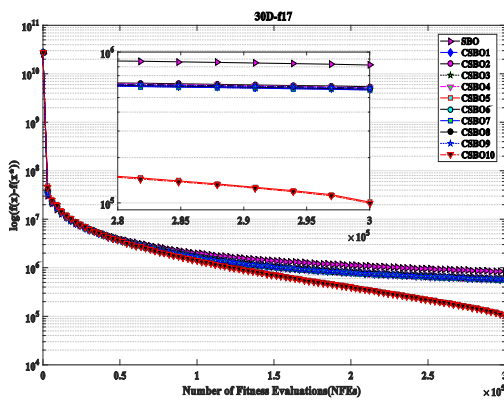
(b) f_9 : Shifted and Rotated Rastrigin's in 30D



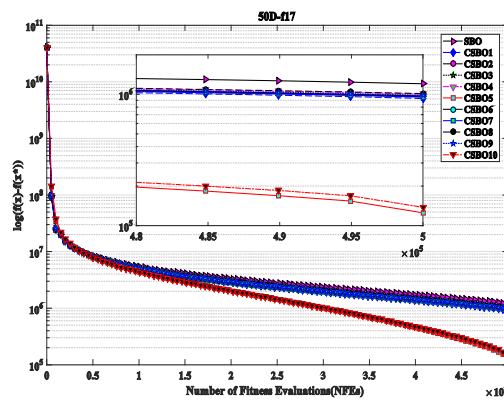
(g) f_9 : Shifted and Rotated Rastrigin's in 50D



(c) f_{17} : Hybrid 1 (N = 3) in 30D



(h) f_{17} : Hybrid 1 (N = 3) in 50D



(d) f_{21} : Hybrid 1 (N = 5) in 30D



(i) f_{21} : Hybrid 1 (N = 5) in 50D



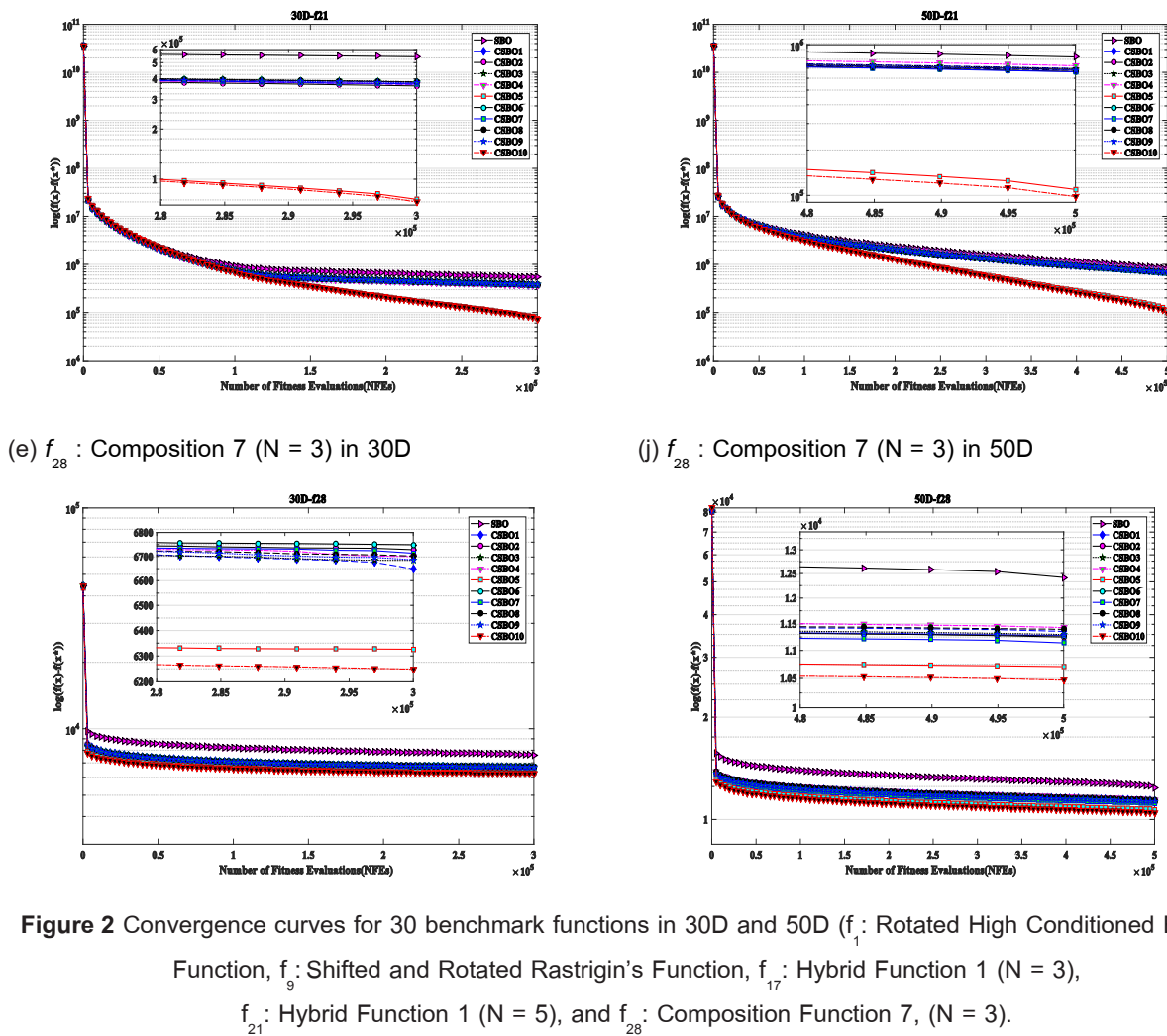


Figure 2 Convergence curves for 30 benchmark functions in 30D and 50D (f_1 : Rotated High Conditioned Elliptic Function, f_9 : Shifted and Rotated Rastrigin's Function, f_{17} : Hybrid Function 1 (N = 3), f_{21} : Hybrid Function 1 (N = 5), and f_{28} : Composition Function 7, (N = 3).

6.3. Analysis based on the Friedman rank test

The Friedman rank analyses, presented in Tables 5 and 6, reports the performance of the SBO and CSBO algorithms based on the averages of the objective function values of 30 benchmark functions, in both 30 and 50 dimensional cases. Each algorithm was ranked according to their performance using an average Friedman rank competition ranking scheme. In competition ranking, algorithms are put in the same rank if their performances are the same. In the simulation results of the average Friedman ranks, the CSBO10(Tent) clearly outperformed all other algorithms.

Within the 30D problems, the results of the chaotic maps on all benchmark functions displayed the following order: CSBO10(Tent)<CSBO5(Logistic)< CSBO9(Sinusoidal)<CSBO1(Chebyshev)<CSBO2(Circle)<CSBO4(Iterative)<CSBO8(Singer)<

CSBO7(Sine)<CSBO6(Piecewise)<CSBO3(Gauss-/Mouse). Within the 50D problems, the results of the chaotic maps on all the benchmark functions displayed the order:CSBO10(Tent)<CSBO5(Logistic)<CSBO7(Sine)<CSBO6(Piecewise)<CSBO2(Circle)<CSBO8(Singer),CSBO9(Sinusoidal)<CSBO4-(Iterative)<CSBO1(Chebyshev)<CSBO3(Gauss-/Mouse). The CSBO10(Tent) exhibited the best (minimum) results, whereas the CSBO3(Gauss/Mouse) yielded the worst (maximum) results. The underlying reason behind the superior performance of CSBO10(Tent) using the Tent chaotic map is that it provides better exploration and local optima avoidance capability. In other words, the Tent map brings different patterns of search behavior to the SBO, resulting in higher exploration capability.

Table 5 Rank table for the mean values of 30 dimensional cases (Friedman rank).

#	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	11.00	10.00	8.00	9.00	5.00	2.00	3.00	7.00	6.00	4.00	1.00
f_2	11.00	9.00	5.00	10.00	7.00	2.00	4.00	6.00	3.00	8.00	1.00
f_3	11.00	3.00	8.00	10.00	5.00	2.00	7.00	4.00	9.00	6.00	1.00
f_4	11.00	9.00	5.00	3.00	4.00	2.00	7.00	10.00	6.00	8.00	1.00
f_5	11.00	6.00	8.00	10.00	7.00	2.00	3.00	4.00	9.00	5.00	1.00
f_6	11.00	8.00	3.00	4.00	9.00	1.00	10.00	5.00	7.00	6.00	2.00
f_7	11.00	7.00	8.00	4.00	5.00	2.00	3.00	9.00	10.00	6.00	1.00
f_8	11.00	6.00	2.00	5.00	10.00	3.00	9.00	8.00	4.00	7.00	1.00
f_9	11.00	7.00	6.00	4.00	8.00	2.00	9.00	10.00	3.00	5.00	1.00
f_{10}	11.00	7.00	9.00	4.00	10.00	2.00	8.00	3.00	6.00	5.00	1.00
f_{11}	11.00	4.00	9.00	8.00	7.00	2.00	3.00	10.00	5.00	6.00	1.00
f_{12}	11.00	3.00	4.00	5.00	8.00	1.00	7.00	10.00	6.00	9.00	2.00
f_{13}	11.00	9.00	5.00	6.00	7.00	1.00	3.00	4.00	10.00	8.00	2.00
f_{14}	11.00	4.00	9.00	8.00	7.00	2.00	10.00	3.00	5.00	6.00	1.00
f_{15}	11.00	3.00	5.00	7.00	10.00	1.00	6.00	8.00	9.00	4.00	2.00
f_{16}	11.00	9.00	5.00	10.00	4.00	2.00	7.00	6.00	8.00	3.00	1.00
f_{17}	11.00	6.00	10.00	4.00	9.00	2.00	5.00	3.00	7.00	8.00	1.00
f_{18}	11.00	6.00	3.00	8.00	5.00	1.00	9.00	7.00	4.00	10.00	2.00
f_{19}	11.00	8.00	6.00	5.00	4.00	2.00	7.00	9.00	3.00	10.00	1.00
f_{20}	11.00	6.00	5.00	8.00	3.00	2.00	9.00	10.00	4.00	7.00	1.00
f_{21}	11.00	4.00	3.00	10.00	5.00	2.00	8.00	6.00	9.00	7.00	1.00
f_{22}	11.00	6.00	8.00	9.00	3.00	1.00	10.00	5.00	7.00	4.00	2.00
f_{23}	11.00	4.00	4.00	8.50	4.00	4.00	10.00	8.50	4.00	4.00	4.00
f_{24}	11.00	6.00	7.00	9.00	10.00	2.00	3.00	4.00	8.00	5.00	1.00
f_{25}	11.00	7.00	3.00	6.00	5.00	1.00	10.00	8.00	9.00	4.00	2.00
f_{26}	11.00	8.00	7.00	9.00	5.00	3.00	4.00	10.00	6.00	2.00	1.00
f_{27}	11.00	4.00	9.00	8.00	7.00	2.00	3.00	5.00	10.00	6.00	1.00
f_{28}	11.00	3.00	9.00	4.00	6.00	2.00	10.00	8.00	7.00	5.00	1.00
f_{29}	11.00	8.00	10.00	6.00	4.00	1.00	9.00	7.00	5.00	3.00	2.00
f_{30}	11.00	6.00	5.00	7.00	9.00	1.00	8.00	4.00	10.00	3.00	2.00
Avg. ranking	11.00	6.20	6.27	6.95	6.40	1.83	6.80	6.72	6.63	5.80	1.40
Ranking	11.00	4.00	5.00	10.00	6.00	2.00	9.00	8.00	7.00	3.00	1.00

Table 6 Rank table for the mean values of 50 dimensional cases (Friedman rank).

#	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	11.00	7.00	8.00	9.00	4.00	1.00	3.00	10.00	5.00	6.00	2.00
f_2	11.00	3.00	6.00	4.00	8.00	2.00	5.00	7.00	9.00	10.00	1.00
f_3	11.00	6.00	4.00	10.00	9.00	2.00	3.00	7.00	8.00	5.00	1.00
f_4	11.00	4.00	10.00	8.00	9.00	1.00	6.00	3.00	7.00	5.00	2.00
f_5	11.00	6.00	9.00	7.00	10.00	1.00	8.00	5.00	4.00	3.00	2.00
f_6	11.00	9.00	3.00	8.00	4.00	1.00	7.00	10.00	5.00	6.00	2.00
f_7	11.00	3.00	9.00	5.00	10.00	1.00	6.00	4.00	8.00	7.00	2.00
f_8	11.00	9.00	3.00	7.00	4.00	2.00	8.00	10.00	6.00	5.00	1.00
f_9	11.00	6.00	10.00	5.00	8.00	2.00	7.00	3.00	4.00	9.00	1.00
f_{10}	11.00	2.00	6.00	7.00	9.00	4.00	10.00	5.00	8.00	3.00	1.00
f_{11}	11.00	6.00	5.00	9.00	10.00	2.00	4.00	3.00	8.00	7.00	1.00
f_{12}	11.00	9.00	3.00	8.00	6.50	2.00	5.00	10.00	4.00	6.50	1.00
f_{13}	11.00	10.00	6.00	7.00	5.00	2.00	4.00	3.00	8.00	9.00	1.00
f_{14}	11.00	10.00	9.00	6.00	7.00	1.00	4.00	5.00	3.00	8.00	2.00
f_{15}	11.00	6.00	10.00	3.00	5.00	2.00	8.00	4.00	9.00	7.00	1.00
f_{16}	11.00	4.00	7.00	6.00	5.00	1.00	10.00	8.00	9.00	3.00	2.00
f_{17}	11.00	3.00	7.00	6.00	9.00	1.00	5.00	4.00	10.00	8.00	2.00
f_{18}	11.00	6.00	10.00	8.00	4.00	2.00	9.00	7.00	5.00	3.00	1.00
f_{19}	11.00	5.00	6.00	8.00	4.00	1.00	9.00	7.00	3.00	10.00	2.00
f_{20}	11.00	8.00	5.00	6.00	3.00	1.00	10.00	7.00	4.00	9.00	2.00
f_{21}	11.00	9.00	7.00	8.00	10.00	2.00	4.00	3.00	5.00	6.00	1.00
f_{22}	11.00	9.00	3.00	4.00	7.00	2.00	6.00	8.00	5.00	10.00	1.00
f_{23}	11.00	9.50	5.50	7.50	7.50	1.00	3.00	5.50	9.50	3.00	3.00
f_{24}	11.00	10.00	8.00	5.00	9.00	2.00	6.00	4.00	7.00	3.00	1.00
f_{25}	11.00	3.00	4.00	9.00	7.00	2.00	6.00	5.00	8.00	10.00	1.00
f_{26}	11.00	6.00	3.00	8.00	4.00	2.00	5.00	7.00	9.00	10.00	1.00
f_{27}	11.00	10.00	8.00	9.00	5.00	1.00	7.00	4.00	3.00	6.00	2.00
f_{28}	11.00	8.00	4.00	7.00	10.00	2.00	5.00	3.00	9.00	6.00	1.00
f_{29}	11.00	8.00	5.00	4.00	3.00	2.00	9.00	7.00	6.00	10.00	1.00
f_{30}	11.00	5.00	10.00	7.00	3.00	1.00	6.00	8.00	9.00	4.00	2.00
Avg. ranking	11.00	6.65	6.45	6.85	6.63	1.63	6.27	5.88	6.58	6.58	1.47
Ranking	11.00	9.00	5.00	10.00	8.00	2.00	4.00	3.00	6.50	6.50	1.00

6.4. The non-parametric Wilcoxon's rank sum test

To evaluate the performance of proposed CSBO algorithms, we employed the Wilcoxon's rank sum test, in order to determine the statistical difference of the results achieved by each algorithm. The nonparametric Wilcoxon's rank sum test was conducted for the results obtained by both the SBO and CSBO algorithms, as shown in Tables 7 and 8. The Wilcoxon's rank sum test returns a p -Value, which represents the minimal significance level for detecting differences. The level

of significance considered was five percent. If the p -Value is less than 0.05, it definitively indicates that, in each case, the better result achieved by the best algorithm is statistically significant, and not obtained by chance.

Within the Tables 7 and 8, *N/A* indicates "not applicable", denoting the best objective function value in this current function. In the comparison the SBO and CSBO algorithms, it is generally considered that a p -Value of less than 0.05 is sufficient indication of the null hypothesis. The best results are highlighted in bold face, and the

p -Values (greater than 0.050 are underlined).

The comparison summaries of the SBO and among the CSBO in both the 30D and 50D test problems are presented in Tables 3 and 4. From these tables, it is clear that the number of problems in which better average

objective fitness values were obtained by the CSBO10(Tent) algorithm were superior to all other algorithms, with the exception of the CSBO5(Logistic). However, the CSBO10-(Tent) results are believed to be biased.

Table 7 Evaluating the results of Table 3 using Wilcoxon's rank sum test.

#	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	7.69E-06	2.23E-09	2.51E-09	3.65E-08	5.06E-09	7.56E-10	6.38E-09	9.63E-10	1.56E-09	3.57E-09	N/A
f_2	1.39E-08	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_3	1.67E-07	1.56E-09	1.27E-08	1.31E-08	4.78E-09	7.56E-10	9.07E-10	1.38E-09	1.88E-08	4.51E-09	N/A
f_4	2.35E-09	8.03E-10	7.56E-10	7.56E-10	8.03E-10	7.56E-10	7.56E-10	1.11E-09	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_5	4.55E-06	1.91E-07	3.35E-06	2.93E-08	2.62E-05	1.88E-08	8.31E-07	1.32E-07	6.05E-05	2.09E-06	N/A
f_6	4.79E-09	1.20E-08	2.36E-09	1.27E-08	8.21E-08	N/A	5.95E-08	3.37E-09	6.99E-08	1.13E-08	1.66E-09
f_7	7.91E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.54E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_8	2.96E-09	1.38E-09	7.56E-10	7.56E-10	1.02E-09	7.56E-10	8.03E-10	9.07E-10	7.56E-10	8.03E-10	N/A
f_9	6.72E-03	<u>2.49E-01</u>	<u>9.40E-02</u>	<u>2.30E-02</u>	<u>3.37E-01</u>	<u>4.55E-01</u>	<u>2.73E-01</u>	<u>3.18E-01</u>	5.04E-03	<u>8.14E-02</u>	N/A
f_{10}	1.10E-08	7.56E-10	9.63E-10	7.56E-10	8.03E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_{11}	9.33E-06	5.34E-08	4.64E-06	4.34E-07	8.66E-08	9.00E-09	3.05E-06	1.70E-05	1.12E-06	2.78E-06	N/A
f_{12}	1.85E-08	9.63E-10	6.76E-09	4.01E-09	1.38E-09	N/A	4.78E-09	1.88E-08	2.82E-09	4.25E-09	2.99E-09
f_{13}	3.20E-06	7.12E-05	8.39E-06	4.43E-06	7.41E-05	N/A	5.01E-04	4.03E-04	1.43E-05	2.03E-05	7.78E-08
f_{14}	3.47E-07	<u>2.53E-01</u>	<u>5.08E-01</u>	<u>6.96E-01</u>	<u>4.96E-01</u>	<u>2.51E-01</u>	<u>6.54E-01</u>	3.92E-07	<u>3.47E-01</u>	<u>6.06E-01</u>	N/A
f_{15}	2.27E-04	2.51E-09	1.26E-07	1.59E-08	1.24E-06	N/A	5.95E-08	1.07E-07	1.77E-08	4.25E-09	7.56E-10
f_{16}	3.24E-07	2.91E-06	4.79E-08	6.81E-07	2.12E-07	1.56E-09	2.30E-06	2.60E-07	1.17E-06	6.38E-09	N/A
f_{17}	1.05E-07	4.07E-08	1.06E-06	1.72E-07	3.37E-07	7.56E-10	2.35E-07	1.26E-07	1.91E-07	1.40E-07	N/A
f_{18}	1.48E-03	1.57E-04	4.72E-05	6.67E-04	2.89E-04	N/A	6.44E-04	6.44E-04	2.89E-04	8.23E-04	6.39E-06
f_{19}	1.86E-09	2.51E-09	1.86E-09	1.76E-09	1.38E-09	7.55E-10	1.66E-09	3.09E-08	1.38E-09	6.63E-08	N/A
f_{20}	3.54E-08	3.57E-09	1.86E-09	1.56E-09	8.03E-10	7.56E-10	1.76E-09	2.79E-09	1.09E-09	4.51E-09	N/A
f_{21}	1.30E-09	8.66E-08	7.78E-08	7.91E-07	2.12E-07	7.56E-10	3.35E-06	4.80E-07	6.74E-07	1.72E-07	N/A
f_{22}	3.54E-09	4.51E-09	9.53E-09	6.38E-09	1.07E-08	N/A	6.38E-09	2.66E-09	5.34E-08	2.99E-09	1.30E-09
f_{23}	1.07E-06	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10
f_{24}	2.84E-07	8.36E-05	7.67E-06	2.89E-04	1.84E-04	8.66E-08	1.47E-07	1.72E-07	7.72E-05	2.12E-07	N/A
f_{25}	2.86E-08	3.17E-09	2.23E-09	5.37E-09	9.00E-09	N/A	1.01E-08	1.77E-08	2.48E-08	2.10E-09	1.56E-09
f_{26}	1.50E-04	4.84E-04	4.84E-04	4.84E-04	2.06E-04	2.06E-04	2.06E-04	1.12E-03	4.84E-04	8.71E-05	N/A
f_{27}	7.09E-04	<u>1.24E-01</u>	<u>2.37E-01</u>	<u>1.94E-01</u>	<u>1.04E-01</u>	<u>9.79E-01</u>	<u>5.06E-02</u>	<u>1.24E-01</u>	<u>1.46E-01</u>	<u>1.81E-01</u>	N/A
f_{28}	1.59E-06	9.07E-10	9.07E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.53E-10	7.56E-10	8.53E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_{29}	7.30E-05	<u>1.04E-01</u>	4.11E-03	2.54E-02	<u>1.12E-01</u>	N/A	<u>1.28E-01</u>	6.21E-03	<u>1.04E-01</u>	<u>1.57E-01</u>	<u>5.04E-01</u>
f_{30}	6.38E-04	2.62E-08	2.78E-06	1.23E-06	2.78E-06	N/A	5.31E-07	1.90E-06	5.84E-06	5.87E-07	7.56E-10

Table 8 Evaluating the results of Table 4 using Wilcoxon's rank sum test.

#	SBO	CSBO1	CSBO2	CSBO3	CSBO4	CSBO5	CSBO6	CSBO7	CSBO8	CSBO9	CSBO10
f_1	8.07E-08	6.28E-08	6.81E-07	6.17E-07	3.45E-08	N/A	5.64E-08	1.59E-06	4.34E-07	6.28E-08	7.56E-10
f_2	3.86E-09	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.49E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_3	4.66E-08	1.02E-07	7.16E-09	3.26E-07	1.13E-07	7.56E-10	3.17E-09	3.65E-08	7.38E-08	4.25E-09	N/A
f_4	1.81E-05	5.04E-03	<u>2.59E-01</u>	2.19E-02	4.73E-02	N/A	2.24E-02	4.03E-04	8.53E-03	8.53E-03	<u>2.10E-01</u>
f_5	3.49E-09	8.03E-09	1.90E-06	7.56E-10	1.01E-06	N/A	2.47E-07	3.45E-08	4.01E-09	9.14E-08	9.02E-10
f_6	8.13E-06	1.01E-08	7.16E-09	1.01E-08	2.82E-09	N/A	1.13E-08	2.61E-08	5.37E-09	1.50E-08	7.56E-10
f_7	5.95E-05	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.54E-10
f_8	1.11E-09	1.56E-09	4.01E-09	1.56E-09	1.07E-08	1.02E-09	3.78E-09	1.34E-08	4.25E-09	2.10E-09	N/A
f_9	1.63E-07	1.56E-05	3.38E-05	1.90E-06	2.49E-04	1.23E-06	5.33E-06	1.36E-06	5.31E-07	3.38E-05	N/A
f_{10}	2.13E-07	8.03E-10	8.03E-10	8.03E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	8.53E-10	8.03E-10	N/A
f_{11}	4.26E-09	7.12E-05	8.52E-04	1.23E-06	1.41E-08	3.89E-04	3.00E-04	4.34E-04	1.20E-05	2.98E-05	N/A
f_{12}	7.91E-06	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.55E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_{13}	8.17E-09	6.72E-03	<u>1.28E-01</u>	<u>1.06E-01</u>	<u>1.21E-01</u>	<u>9.14E-01</u>	<u>2.01E-01</u>	<u>2.82E-01</u>	1.44E-02	<u>5.53E-02</u>	N/A
f_{14}	2.54E-04	<u>6.15E-01</u>	<u>8.51E-01</u>	<u>1.84E-01</u>	<u>5.85E-01</u>	N/A	<u>1.44E-01</u>	<u>2.26E-01</u>	<u>1.44E-01</u>	<u>6.26E-01</u>	<u>7.56E-01</u>
f_{15}	1.20E-08	1.23E-06	5.58E-06	2.51E-09	5.64E-08	7.56E-10	3.62E-07	5.95E-08	1.81E-06	1.64E-06	N/A
f_{16}	4.65E-08	1.12E-06	1.94E-05	3.92E-07	2.98E-05	N/A	3.14E-05	9.18E-06	1.11E-04	1.32E-07	7.56E-10
f_{17}	1.18E-09	1.77E-04	4.17E-05	7.67E-06	4.64E-06	N/A	1.00E-05	1.10E-05	2.53E-06	2.65E-06	7.56E-10
f_{18}	4.95E-04	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.54E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A
f_{19}	1.02E-07	1.76E-09	3.17E-09	3.57E-09	2.23E-09	N/A	4.52E-09	4.51E-09	1.09E-09	1.20E-08	7.56E-10
f_{20}	9.26E-07	2.12E-05	1.43E-05	1.84E-04	1.25E-05	N/A	4.71E-04	7.72E-05	5.57E-05	1.25E-05	7.56E-10
f_{21}	5.21E-07	3.37E-09	1.66E-09	4.25E-09	1.39E-08	7.56E-10	1.38E-09	1.23E-09	1.30E-09	1.30E-09	N/A
f_{22}	3.39E-04	<u>8.58E-01</u>	3.39E-03	1.07E-02	<u>2.42E-01</u>	<u>1.30E-01</u>	<u>8.14E-02</u>	<u>7.33E-02</u>	<u>1.04E-01</u>	<u>3.22E-01</u>	N/A
f_{23}	1.20E-04	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.54E-10	N/A	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10
f_{24}	4.65E-07	<u>4.54E-01</u>	2.24E-02	1.26E-02	2.61E-02	<u>5.84E-01</u>	2.03E-02	1.05E-03	<u>5.41E-02</u>	1.79E-03	N/A
f_{25}	1.68E-08	1.68E-08	4.07E-08	1.81E-06	1.77E-08	8.53E-10	7.78E-08	9.14E-08	1.07E-07	2.09E-06	N/A
f_{26}	4.23E-04	1.04E-02	<u>1.69E-01</u>	2.48E-02	3.10E-02	<u>6.83E-01</u>	<u>1.38E-01</u>	<u>6.31E-02</u>	2.48E-02	8.29E-03	N/A
f_{27}	1.51E-09	8.03E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	N/A	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	7.56E-10	<u>2.26E-01</u>
f_{28}	3.49E-04	1.86E-09	1.23E-09	2.51E-09	1.09E-09	7.54E-10	8.53E-10	9.63E-10	7.16E-09	1.38E-09	N/A
f_{29}	3.86E-04	3.61E-04	2.11E-03	1.11E-04	2.89E-04	7.56E-10	3.61E-04	4.92E-05	1.35E-04	2.28E-04	N/A
f_{30}	5.76E-08	7.56E-10	5.41E-09	1.56E-09	2.99E-09	N/A	7.56E-10	7.56E-10	8.53E-10	7.56E-10	7.56E-10

7. Conclusions and future scope

In the present paper, we present a novel, and improved meta-heuristic SBO using chaotic maps to solve complex optimization problems. Ten different chaotic maps were investigated to tune the main parameter, the greatest step size (α), of the standard SBO; in which a wide variety of chaotic maps were utilized. In the comparison of several different chaotic SBO algorithms, those utilizing the Tent map were selected as the greatest step size (α); and through the comparisons of the various chaotic SBO variants, the best CSBO10(Tent) was formed. The simulations demonstrated that the usage of deterministic chaotic signals rather than linearly decreasing values represents an important modification of the SBO method. The experimental results indicated that the tuned SBO significantly enhances the reliability of the global optimality and the quality of the solutions of the newly formed algorithm, due to the application of the deterministic chaotic signals in place of constant values. In order to evaluate an algorithm with its original (SBO) and improved (CSBO) variants, other mathematical benchmark examples were employed. The statistical results and success rates of the CSBO10(Tent) suggest that the tuned algorithms clearly improve the reliability of the global optimality, and further enhance the quality of the results.

The CSBO proved to be simple and easy to implement within all of our applied (and similar type) applications. In future works, we intend to investigate the further capabilities of the CSBO algorithm in solving real-world engineering problems, as well as discrete optimization problems.

Appendix

The Satin Bowerbird Optimizer (SBO) codes used within this paper were retrieved from the resource: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/62009-satin-bowerbird-optimizer--sbo-2017->

References

1. Yang D, Liu Z, Zhou J. Chaos optimization algorithms based on chaotic maps with different probability distribution and search speed for global optimization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2014;19:1229–46.
2. Lorenz EN. Deterministic Nonperiodic Flow. *Journal of the Atmospheric Sciences* 1963;20:130–41.
3. Yuan X, Zhao J, Yang Y, Wang Y. Hybrid parallel chaos optimization algorithm with harmony search algorithm. *Applied Soft Computing* 2014;17:12–22.
4. Yuan X, Zhang T, Xiang Y, Dai X. Parallel chaos optimization algorithm with migration and merging operation. *Applied Soft Computing* 2015;35:591–604.
5. Huang L, Ding S, Yu S, Wang J, Lu K. Chaos-enhanced Cuckoo search optimization algorithms for global optimization. *Applied Mathematical Modelling* 2016; 40:3860–75.
6. Alatas B. Chaotic bee colony algorithms for global numerical optimization. *Expert Systems with Applications* 2010;37:5682–7.
7. Baykasoglu A. Design optimization with chaos embedded great deluge algorithm. *Applied Soft Computing* 2012;12:1055–67.
8. Talatahari S, Farahmand Azar B, Sheikho-leslami R, Gandomi AH. Imperialist competitive algorithm combined with chaos for global optimization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2012;17:1312–9.
9. Pluhacek M, Senkerik R, Davendra D. Chaos particle swarm optimization with Ensemble of chaotic systems. *Swarm and Evolutionary Computation* 2015;25:29–35.
10. Gandomi AH, Yun GJ, Yang XS, Talatahari S. Chaos-enhanced accelerated particle swarm optimization. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2013;18:327–40.
11. Gandomi AH, Yang XS, Talatahari S, Alavi AH. Firefly algorithm with chaos. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2013;18:89–98.

12. Mirjalili S, Gandomi AH. Chaotic gravitational constants for the gravitational search algorithm. *Applied Soft Computing* 2017; 53:407–19.
13. Kohli M, Arora S. Chaotic grey wolf optimization algorithm for constrained optimization problems. *Journal of Computational Design and Engineering* 2017.
14. Kaur G, Arora S. Chaotic whale optimization algorithm. *Journal of Computational Design and Engineering* 2018:275–84.
15. Problems O, Hassanien AE, Bhattacharyya S, Hassanien AE. Chaotic Crow Search Algorithm for Fractional Optimization Problems. *Applied Soft Computing* 2018.
16. Sayed GI, Hassanien AE, Azar AT. Feature selection via a novel chaotic crow search algorithm. *Neural Computing and Applications* 2017:1–18.
17. Wangchamhan T, Chiewchanwattana S, Sunat K. Efficient algorithms based on the k-means and Chaotic League Championship Algorithm for numeric, categorical, and mixed-type data clustering. *Expert Systems with Applications* 2017;90:146–67.
18. Sayed GI, Khoriba G, Haggag MH. A novel chaotic salp swarm algorithm for global optimization and feature selection. *Applied Intelligence* 2018:1–20. doi:10.1007/s10489-018-1158-6.
19. Wang GG, Guo L, Gandomi AH, Hao GS, Wang H. Chaotic Krill Herd algorithm. *Information Sciences* 2014;274:17–34.
20. Samareh Moosavi SH, Khatibi Bardsiri V. Satin bowerbird optimizer: A new optimization algorithm to optimize ANFIS for software development effort estimation. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2017;60:1–15.
21. Chintam J, Daniel M. Real-Power Rescheduling of Generators for Congestion Management Using a Novel Satin Bowerbird Optimization Algorithm. *Energies* 2018; 11:1–16.
22. Przystalka P, Moczulski W. Methodology of neural modelling in fault detection with the use of chaos engineering. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 2015;41:25–40.
23. Hatamlou A, Abdullah S, Hatamlou M. Data Clustering Using Big Bang-Big Crunch Algorithm. *Innovative Computing Technology* 2011;241:383–8.
24. Xu Q, Wang S, Zhang L, Liang Y. A novel chaos danger model immune algorithm. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2013;18:3046–60.
25. J.J Liang, B-Y. Qu, P.N. Suganthan. "Problem Definitions and Evaluation Criteria for the CEC 2014 Special Session and Competition on Single Objective Real-Parameter Numerical Optimization." Technical Report 201311, Computational Intelligence Laboratory, Zhengzhou University, Zhengzhou, China and Technical Report, Nanyang Technological University, Singapore, December 2013.
26. Ghambari S, Rahati A. An improved artificial bee colony algorithm and its application to reliability optimization problems. *Applied Soft Computing* 2018;62:736–67.
27. Li MD, Zhao H, Weng XW, Han T. A novel nature-inspired algorithm for optimization: Virus colony search. *Advances in Engineering Software* 2016;92:65–88.
28. Liu T, Jiao L, Ma W, Shang R. Quantum-behaved particle swarm optimization with collaborative attractors for nonlinear numerical problems. *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat* 2017;44:167–83.
29. Cui L, Li G, Zhu Z, Lin Q, Wong KC, Chen J, et al. Adaptive multiple-elites-guided composite differential evolution algorithm with a shift mechanism. *Information Sciences* 2018;422:122–43.
30. Tighzert L, Fonlupt C, Mendil B, Fonlupt C, Mendil B. A Set of New Compact Firefly Algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation* 2018;40:92–115.
31. Sallam KM, Elsayed SM, Sarker RA, Essam DL. Landscape-based adaptive operator selection mechanism for differential evolution. *Information Sciences* 2017;418–419: 383–404.
32. Frank Wilcoxon. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* 1945; 1:80–3.

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคต

Development of Information Technology to Support Smart Grid System in the Future

อิทธิศักดิ์ ศรีดำ

Idhisak Sridam

Received: 11 April 2019 ; Revised: 24 June 2019 ; Accepted: 15 July 2019

บทคัดย่อ

ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid) หรือสายส่งอัจฉริยะ เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ ไมโครกริด หรือการพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาด โดยเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Information and Communication Technology: ICT) ระบบเซ็นเซอร์ ระบบเก็บข้อมูล และเทคโนโลยีทางด้านควบคุมอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ารับรู้ข้อมูลสถานะต่าง ๆ นำมาใช้ในการตัดสินใจอย่างอัตโนมัติและเป็นโมเดลที่ใช้ในการแก้ปัญหาพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในอนาคต เป็นระบบนวัตกรรมที่ใช้การบริหารจัดการด้วยการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาควบคุมการผลิต ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสามารถรองรับการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานทุกชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ซึ่งจะมีความเหมาะสมกับการนำมาใช้แก้ปัญหาแหล่งพลังงานที่มีอยู่น้อยและไม่เพียงพอกับการพัฒนาประเทศไทย ในทุกภาคส่วนทั้งการอยู่อาศัย พาณิชยกรรมหรืออุตสาหกรรม หน่วยงานภาครัฐและสถาบันต่าง ๆ ซึ่ง จะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจ เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าในอนาคตมีอัตราการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยคาดว่าระบบสมาร์ทกริดจะเป็นการจัดการพลังงานที่ถูกนำมาใช้ในการกำหนดเป็นนโยบายที่เป็นรูปธรรมต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: เทคโนโลยีสารสนเทศ ระบบสมาร์ทกริด พลังงานไฟฟ้า การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานไฟฟ้าในอนาคต

Abstract

Smart Grid system or Intelligent Transmission is the cumulative development continued from Microgrid or developing electrical system. Smart Grid intelligently responds to operation by applying information and communication technology (ICT), sensing system, data storage system and automatic control technology. It enables electrical system to acknowledge statuses which apply to automatic decision and it likes the model for electrical energy solutions in Thailand's future. The management information technology is an innovation system to control electrical production, transmission and distribution. It efficiently supports connections from every type of energy source which will maximize benefits, equipped with stability, safety, reliability, international standardized electrical quality suitable for solution of few energy sources and insufficiency for development in Thailand; habitation, commerce and industry in government agencies and various institutions. It is the most important factor for economy driving. Due to the increasing use of electricity in the future at the time, Smart Grid system is expected to be the energy management that has been used in the formulation of the concrete policy in the future.

สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์และระบบสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพฯ. 10330.

E-mail: idhisak@pit.ac.th

Department of Software Engineering and Information System, Faculty of Science and Technology, Pathumwan Institute of Technology, Bangkok, Thailand. 10330.

E-mail: idhisak@pit.ac.th

Keywords: information technology, Smart Grid system, electrical energy, electrical energy management, electrical energy usage in future

บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศไทย เนื่องจากการเป็นปัจจัยการผลิตในทุกภาคส่วน ประกอบด้วย การอยู่อาศัย พาณิชยกรรมหรืออุตสาหกรรม หน่วยงานภาครัฐและสถาบันต่าง ๆ ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งพลังงานอยู่หลายประเภทแต่มีปริมาณน้อย จึงต้องมีการจัดหาพลังงานให้มีปริมาณที่เพียงพอ มีคุณภาพที่ดีและมีราคาเหมาะสม รวมทั้งมีการใช้พลังงานทดแทนมาเป็นส่วนเสริม เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือ ลม เป็นต้น พลังงานทุกประเภทเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอนาคต ซึ่งการบริหารไฟฟ้ามีหลักในการดำเนินงานได้แก่ ความต้องการใช้ไฟและกำลังการผลิต ซึ่งต้องมีการพยากรณ์ล่วงหน้า เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นตลอดเวลา¹

ระบบสมาร์ทกริด ใช้การบริหารจัดการด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศมาควบคุมการผลิต ส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้าที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อจากแหล่งพลังงานทุกแห่งได้อย่างมีประสิทธิภาพให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ความอัจฉริยะเกิดจากการผสมผสานเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า ระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่ายในการสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกันโดยอาศัยความก้าวหน้าจากนวัตกรรมเทคโนโลยีให้เกิดผลลัพธ์ใน 3 ด้าน ได้แก่ 1) Smart Energy: การใช้พลังงานอย่างชาญฉลาดและรู้คุณค่า 2) Smart Life: เพื่อชีวิตที่สะดวกสบาย และ 3) Smart Community: สุขสังคมและโลกที่น่าอยู่ในอนาคต²

พลังงานไฟฟ้ามีความสำคัญมากที่สุดเพราะมีผู้ใช้เป็นจำนวนมากและการที่จะให้เกิดความมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล มีเสถียรภาพและมีต้นทุนต่ำที่สุด มีความยืดหยุ่นจะต้องใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการแบบผสมผสานของนวัตกรรมของระบบสมาร์ทกริดที่มีความชาญฉลาดที่เรียกว่าเป็น “ระบบสมาร์ทกริด (Smart Grid System)” โดยจะต้องมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศสมัยใหม่เข้ามาดำเนินการและควบคุมด้วยระบบอัตโนมัติ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังได้รับรู้ข้อมูล สถานะหรือสถานการณ์ต่าง ๆ และใช้ในการตัดสินใจซึ่งระบบนี้ในประเทศไทย ยังไม่มีความชัดเจนในด้านนโยบายของหน่วยงานที่รับผิดชอบว่าจะมีการดำเนินการพัฒนาอย่างไร เพราะระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดจะสามารถตอบสนองได้เป็นอย่างดีจากการพัฒนาเทคโนโลยี

สารสนเทศให้เข้ามาทำงานร่วมกันครอบคลุมระบบไฟฟ้าทั้งหมด ตั้งแต่ระบบการผลิตไฟฟ้า การส่ง การจำหน่าย ไปจนถึงภาคส่วนของผู้บริโภค³ โดยแผนแม่บทในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 ได้สนับสนุนการลงทุนโดยนำเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยให้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเกิดการบูรณาการใช้งานร่วมกับระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เช่น ระบบการบริหารจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System; HEMS) ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System; BEMS) และระบบบริหารจัดการพลังงานในโรงงาน (Factory Energy Management System; FEMS) ซึ่งเป็นการปฏิรูประบบการจัดการด้านพลังงานทั้งหมด โดยมีกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart Meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator/Controller) เพื่อให้การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเกิดประโยชน์และผลสัมฤทธิ์มากที่สุด จะทำให้การใช้พลังงานมีคุณค่าเพื่อชีวิตที่สะดวกสบาย สุขสังคมและโลกที่น่าอยู่ในอนาคต ไม่ว่าจะเป็ในแง่ของการผลิต และส่งจ่ายพลังงานสู่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Supply Side) รวมทั้ง ด้านของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side) ความสำคัญของระบบสมาร์ทกริดจะเป็นการสร้างโอกาสใหม่ในการยกระดับขีดความสามารถทางการแข่งขันให้สูงขึ้น เน้นการจัดสรรการใช้พลังงานได้อย่างยั่งยืนและมีประสิทธิภาพสูงสุด ลดต้นทุนการดำเนินการแต่ปัญหาใหญ่และสำคัญมากคือขาดการบูรณาการในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศของแต่ละองค์กรร่วมกัน

กระทรวงพลังงานมีข้อมูลที่แสดงถึงนโยบายพลังงานของประเทศไทย ควรมีการเร่งรัดการจัดการพลังงานให้มีปริมาณเพียงพอกับความต้องการ⁴ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีข้อมูลแสดงว่าเทคโนโลยีสารสนเทศจะทำให้ระบบสมาร์ทกริดทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบัน จะช่วยในการปรับการรักษาสมดุลระหว่างกำลังผลิตและความต้องการใช้ไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ ได้อย่างทันทั่วถึงและอย่างประหยัด ลดค่าใช้จ่ายในการจัดหาพลังงานในช่วงที่ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูง ทำให้ลูกค้าผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ได้รับประโยชน์ในรูปแบบที่หลากหลาย แตกต่างจากเดิม ได้มีส่วนร่วมกับการไฟฟ้า เช่น การมีข้อมูลสามารถรับรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้แบบเวลาจริง รับรู้ช่วงเวลาที่มีการใช้

ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ทันที ผ่านระบบแสดงผลบนหน้าจอที่ติดตั้งไว้ สามารถอ่านค่าได้เองจึงเป็นทางเลือกในการประหยัดโดยการลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยมีราคาแพงที่สุด (peak)⁵ เทคโนโลยีสารสนเทศ มีความจำเป็นต่อระบบสมาร์ทกริดเพราะเป็นกลจักรสำคัญ หากไม่พัฒนา ก็จะเป็นการยากที่จะผลิตและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพคุ้มค่าและยั่งยืนได้จริง รวมทั้งยังเอื้ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยสามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติทั้งสถานะปกติและสถานะฉุกเฉิน สามารถตรวจวัดสถานะของระบบ ณ เวลาจริง สื่อสารข้อมูลโต้ตอบกับบุคคล อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และระบบงานต่าง ๆ ดังนั้นในการส่งและกระจายพลังงานไฟฟ้าจากทั้ง 3 การไฟฟ้าเป็นหลัก ทั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT), การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) ให้มีประสิทธิภาพ ต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศและระบบสื่อสาร เช่น Optical Fiber, SCADA (System Control and Data Acquisition)/ DMS (Distribution Management System), GIS (Geographic Information System) เป็นต้น

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับระบบสมาร์ทกริดในประเทศไทยจึงต้องมีการจัดตั้งคณะกรรมการประสานงาน โดยมีหน่วยงานที่เข้ามาทำงานร่วมกัน ได้แก่ สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand: EGAT) การไฟฟ้านครหลวง (Metropolitan Electricity Authority: MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (Provincial Electricity Authority: PEA) และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) และมียุทธศาสตร์ ในการพัฒนาทางที่เหมาะสมซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการแบบผสมผสานของนวัตกรรมเทคโนโลยีในอนาคตของระบบสมาร์ทกริดในการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ให้มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) มีความปลอดภัย (Security) มีความยั่งยืน (Durability) และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Sustainability is Environmentally Friendly) อันจะนำมาซึ่งประโยชน์สูงสุดกับผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายทั้งผู้ใช้ไฟฟ้า ผู้ให้บริการไฟฟ้า สังคม เศรษฐกิจและประเทศไทยชาติ อย่างยั่งยืน ต่อไป

การวิเคราะห์บริบทของการใช้ไฟฟ้าในประเทศไทย โดยระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ

กระทรวงพลังงานมีรายงานวาระระบบไฟฟ้าของประเทศไทย ได้ถูกออกแบบและพัฒนามาจากแนวคิดการบริหารระบบไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ (Centralized) เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกระจายและส่งเสริมการใช้พลังงานตามนโยบายของรัฐบาล เพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้อย่างยั่งยืน [6] แต่ปัญหาการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ไม่สัมพันธ์กับปริมาณที่จัดหาได้ จะส่งผลต่อปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและความเสี่ยงต่อการเกิดไฟฟ้ดับ ทำให้การส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าไม่สามารถทำได้อย่างเต็มที่จากขีดจำกัดของสายส่งและปัญหากำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับทิศทาง เป็นต้น

ในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตเพื่อรองรับการใช้ด้านพลังงานอย่างยั่งยืน จะประกอบด้วย 1) ด้านระบบไฟฟ้าทั้งระบบผลิต ระบบส่ง ระบบจำหน่ายและการรองรับการปฏิบัติงานร่วมกันของหน่วยงานการไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานร่วมกันของรัฐวิสาหกิจไฟฟ้าเพื่อการปฏิบัติงานทางด้านระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) ด้านผู้ใช้ไฟฟ้าในการรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้นในระยะยาวและมีระบบการปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพพร้อมกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อช่วยให้มีการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ 3) ด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน จะเป็นการจัดหาพลังงานที่ยั่งยืนและมีประสิทธิภาพพร้อมกับการใช้งานเทคโนโลยีอื่น ๆ ควบคู่ไปกับการรักษาสิ่งแวดล้อม⁷

การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยจะมีการใช้มากเกินไปที่ผลิตได้จึงต้องมีการให้ความสำคัญกับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดในอนาคตมากยิ่งขึ้น ซึ่งรัฐบาลได้กำหนดเป็นนโยบายสำคัญในเรื่องการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่า ลดการสูญเสียจากการผลิตส่วนเกิน กำหนดจุดดูแลสภาพความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคในอนาคตที่จะทำให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด ซึ่งการใช้พลังงานจะมีการเพิ่มขึ้นทุกปีจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ระบบเศรษฐกิจและสังคมที่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน ทำให้ต้องมีการบริหารจัดการพลังงาน ให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด เพื่อให้เกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน ในการพัฒนารูปแบบการจัดการในขณะนี้ควรเป็นการใช้ระบบสมาร์ทกริดทั้งระบบเพื่อให้เกิดรูปแบบการจัดการที่ดีในอนาคตและมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด⁸

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบ สมาร์ตกริดในอนาคตสำหรับประเทศไทย

ในอนาคตประเทศไทยจะประสบปัญหาวิกฤตการณ์พลังงานที่มีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นและทวีความรุนแรงมากขึ้น การพัฒนาระบบสมาร์ตกริดจะเป็นทางเลือกที่ให้ผลตอบแทนในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่ดีที่สุดทุกฝ่ายจึงมีความจำเป็นต้องเร่งวิจัยและพัฒนาในเรื่องนี้เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานให้เพียงพอและสามารถรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้ ซึ่งการพัฒนาสมาร์ตกริดให้เป็นโครงข่ายระบบไฟฟ้าที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการเป็นการพัฒนาจากระบบพื้นฐาน (Infrastructure) 2 ระบบ ได้แก่ 1) Electrical Infrastructure และ 2) Intelligence Infrastructure (Communication and IT) โดยมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1) Distributed Intelligence 2) Broadband Communications และ 3) Automated Control System ในการผลิต ส่งจ่าย และจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งในระบบสมาร์ตกริด จะเป็นการสร้างความสมดุลระหว่างช่วง On Peak และ Off Peak ที่จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและคุณภาพไฟฟ้าด้วยการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ นำไปสู่การลดต้นทุนและราคาพลังงานไฟฟ้าให้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและให้บริการได้อย่างเพียงพอทั่วถึง มั่นคง มีคุณภาพได้ตามมาตรฐานสากลอย่างประหยัดและยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น จอภาพคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์และอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิด และจะเป็นการสื่อสาร 2 ทาง โดยมีคุณสมบัติรองรับและส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ Real Time ทำให้เกิดการรับรู้สถานการณ์ใช้ไฟฟ้า ณ เวลานั้น มีการควบคุมและจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากทางไกลได้ ทำให้มีการเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดได้มีการพัฒนาโครงการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก เช่น โครงการ PEA Call Center 1129 (Out Sources) โครงการระบบคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์สำหรับธุรกิจหลัก (CBS Project) โครงการติดตั้งซอฟต์แวร์ระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) โครงการ Automatic Meter Reading (AMR) T&D Operation จัดทำระบบ SCADA, DMS (Distribution Management System) T & D Planning & Engineering ระบบ System Planning, Maintenance Management (PM Module ใน ISU-SAP) ระบบ Asset Management ระบบ Asset Database System Distribution Management System ระบบ GIS (Geographic Information System) และ OMS (Outage Management System) หรือ

ระบบบริหารไฟฟ้าขัดข้อง ส่วน MWM (Mobile Workforce Management) ซึ่งเป็นการลงทุนตามนโยบายในการบริหารสินทรัพย์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้มาตรฐานสากล⁹ และจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางเทคโนโลยีสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และระบบฝังตัว เทคโนโลยีระบบควบคุมอัตโนมัติและเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ให้สามารถจัดการพลังงานส่งถึงผู้ใช้ไฟฟ้าและสามารถประมวลผลส่งสัญญาณไปใช้วิเคราะห์ประเมินผลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ให้ดีขึ้นอยู่ตลอดเวลา

ในประเทศไทยมีการพัฒนาด้านการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้ามาเป็นเวลานานแต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถจ่ายกำลังงานให้กับโหลดได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นระบบสมาร์ตกริดจะเข้ามาช่วยจัดการพลังงานทุกประเภทให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบที่มีอยู่และของผู้ใช้ไฟฟ้าส่งเข้ามาประมวลผลและส่งสัญญาณบอกไปที่ผู้ใช้ถึงสถานการณ์ที่กำลังดำเนินอยู่ ซึ่งจะทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น เกิดเสถียรภาพและควมมีประสิทธิภาพมากขึ้น¹⁰ ซึ่งแนวทางที่จะบรรลุเป้าหมายในการจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอเพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มสูงขึ้น จะต้องมีการจัดการในด้านการผลิต การส่ง การจำหน่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ถึงแม้ว่าอัตราการขยายตัวของการผลิตไฟฟ้ามีแนวโน้มที่สูงขึ้น แต่ยังมีอัตราส่วนที่น้อยมาก อีกทั้งยังมีความไม่แน่นอนในเรื่องของแหล่งผลิตและความไม่ต่อเนื่องหรือสม่ำเสมอ ดังนั้นการที่จะเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าที่มีมากขึ้นเข้าไปในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีโครงสร้างพิเศษที่ใช้เชื่อมต่อประสานงานดังกล่าว ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดจะทำให้เกิดผลสำเร็จในเรื่องนี้ได้อย่างยั่งยืน¹¹

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีข้อมูลที่แสดงว่าระบบสมาร์ตกริดสามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่กระจายอยู่ทั่วไปและให้บริการกับผู้เชื่อมต่อกับโครงข่ายผ่านมิเตอร์อัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีมาตรฐานสากล เป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล¹² ซึ่งประกอบด้วย 1) Smart Energy เป็นการใช้พลังงานให้มีความมั่นคง ปลอดภัย มีคุณภาพ พร้อมใช้งานตลอดเวลาและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน 2) Smart Life เป็นการสร้างวิถีชีวิตของผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการไฟฟ้าได้มากขึ้นเหมาะกับวิถีชีวิตของตนเอง สามารถเลือกใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์เพื่ออำนวยความสะดวกทั้งที่บ้านอยู่อาศัย ที่ทำงานและสถานที่พักผ่อน และ 3) Smart Community ที่มีการดำเนินกิจกรรมในทุกภาคส่วน ได้แก่

ครัวเรือน กิจการค้า การพาณิชย์ และอุตสาหกรรม โดยใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Electrical Power System) สามารถทำงานได้เองโดยอัตโนมัติ จากการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตรวจวัดสถานะของระบบ ณ เวลาจริงหรือจะประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิดที่มีสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงสามารถควบคุมการใช้งานได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบพกพา หรือผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เช่น มือถือ PDA Smart Phone Tablet ระบบอินเทอร์เน็ตในที่ทำงานหรือร้านอินเทอร์เน็ตทั่วไป เป็นต้น ในสังคมโลกอนาคต ที่ทุกคนสามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้โดยอิสระผ่านเครือข่ายดิจิทัล (Digital Network) มีระบบการบริหารจัดการที่ดี ถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การใช้พลังงานไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพ สามารถจัดการทุกอย่างได้และหากมีการเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม เพื่อเป็นพลังงานทดแทนที่จะใช้ในการลดการใช้ น้ำมันและก๊าซเชื้อเพลิงลดการ นำเข้า น้ำมันและก๊าซธรรมชาติได้อีกด้วย²

ในการพัฒนาประเทศไทย ให้เป็นเมืองที่มีสิ่งอำนวยความสะดวก น่าอยู่ และได้รับคุณภาพชีวิตที่ดี มีการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเชื่อมโยงระบบโครงสร้างพื้นฐานของเมืองผ่านระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เพื่อให้การบริหารจัดการเมืองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริด จะเป็นการจัดการที่ต้องเริ่มจากนโยบายภาครัฐ และเศรษฐกิจศาสตร์สังคม ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านการผลิต การซื้อขายและการบริโภคไฟฟ้า ซึ่งในกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะถูกส่งเสริมและแทนที่ด้วยระบบนี้มากขึ้น ในทุกพื้นที่จะต้องมีการจัดส่งไฟฟ้า ต้องมีการพัฒนาระบบบริหารจัดการเพื่อเพิ่มศักยภาพของสายส่งให้มีความมั่นคง ยืดหยุ่น และคุ้มค่าทางด้านการลงทุน การจ่ายไฟฟ้าในระบบส่งที่ตอบสนองความต้องการได้อย่างแท้จริงมากที่สุดเพื่อลดการสูญเสียในสายส่งไฟฟ้า สามารถบูรณาการแหล่งพลังงานทุกแห่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ตามความต้องการและจะเป็นอนาคตสำหรับระบบไฟฟ้าในประเทศไทย¹³

การจัดการเทคโนโลยีสมาร์ทกริด เป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่รวมเทคโนโลยีแห่งอนาคตเข้าด้วยกันเช่นแหล่งจ่ายไฟฟ้า มาตรวัดอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ อาคารอัจฉริยะหรือเครื่องจักรอัจฉริยะและสามารถบริหารจัดการ ควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ ผู้ใช้ไฟจะมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น เช่น บ้านอัจฉริยะ ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าหลากหลายชนิด ที่มีสมองกลฝังตัว ซึ่งจะ

ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงไม่ก่อปัญหาภาวะ สามารถควบคุมการใช้งานได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบพกพา หรือผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เช่น มือถือ อินเทอร์เน็ต ในที่ทำงาน ร้านอินเทอร์เน็ต สมาร์ทกริดในอนาคตจะเป็นระบบการอ่านมาตรแบบก้าวหน้าจะมีประโยชน์ จากการมีปฏิสัมพันธ์กันโดยมีมิเตอร์ไฟฟ้าเป็นตัววัดติดตามตรวจสอบแบบตามเวลาการใช้งานจริงซึ่งจะให้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจ เช่น ความต้องการใช้ เวลาใช้งาน ค่าแรงดันไฟฟ้าและข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า มิเตอร์ตอบสนองงานได้ ส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้งานในช่วงของเวลาการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการควบคุมโดยตรงของการบริหารจัดการความต้องการ การดำเนินการควบคุมทั้งระบบส่วนสำคัญคือการวัดอันเป็นกุญแจสำคัญที่สุดช่วยให้รู้ถึงคุณภาพของอุปกรณ์และการจัดส่งไฟฟ้าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดการควบคุมไฟฟ้า ตรวจจับภาคสนามแบบไร้สายเป็นตัวกลางในการสื่อสารส่งข้อมูลและสัญญาณไปยังระบบ แต่ตัวระบบจะเพิ่มต้นทุน จึงมีข้อจำกัดในเรื่องจำนวนตัวตรวจจับที่ใช้งานเนื่องจากมีการขยายการใช้งานเพิ่มขึ้น ตัวตรวจจับอาจมีปัญหาในอนาคต ประโยชน์ของสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในการใช้พลังงาน จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้า มีเทคโนโลยีตรวจสอบที่ทันสมัยเช่น ตัวตรวจจับแบบไร้สาย ตัววัดเฟสเซอร์ สมาร์ทมิเตอร์เพื่อหลีกเลี่ยงช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดเมื่อรวมการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเข้าด้วยกันจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินการในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจสนับสนุนการลดต้นทุนของผลผลิตและผลิตภัณฑ์ การทำงานของเซนเซอร์ทั้งอาคารซึ่งวัดผลและส่งข้อมูลประมวลผลผ่านแผงวงจรการควบคุมหรือแอปพลิเคชัน เช่น วัดปริมาณแสง อุณหภูมิภายใน และภายนอกอาคาร เพื่อใช้สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน ปรับส่วนประกอบของตัวควบคุม เช่น ตัวหรีไฟ แอร์ เป็นต้น เมื่อติดตั้งทั้งระบบจะสามารถกำหนดค่าในการทำงานร่วมกันได้ และต้องมีการรับรู้ถึงประโยชน์ ความง่ายต่อการใช้งาน การรับรู้ความเสี่ยง เช่น ภัยคุกคามต่อความปลอดภัยในโลกไซเบอร์ ความน่าเชื่อถือของประสิทธิภาพของสมาร์ทมิเตอร์ ความกังวลจากการแผ่ออกมาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวสมาร์ทมิเตอร์ เพราะการจัดการพลังงานจะต้องมีการพิจารณาปัจจัยด้านการรับรู้ความเสี่ยงจากการใช้งาน

เทคโนโลยีโครงข่ายสมาร์ทกริด จะช่วยให้บริหารจัดการการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเกิดการบูรณาการที่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยมีอุปกรณ์ตรวจวัดและระบบควบคุม อุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติทำงานร่วมกันเกิดประโยชน์และผล

สัมฤทธิ์มากที่สุด ระบบสมาร์ทกริดเป็นการใช้พลังงานอย่างชาญฉลาดและรู้คุณค่าทั้งในด้านการผลิตจนถึงการจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟฟ้าให้ชีวิตที่สะดวกสบายกับคนในสังคมอนาคต การมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟ เช่นการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้และอุปกรณ์ไฟฟ้า จะเป็นการสื่อสาร 2 ทางทั้งรับและส่งแบบ Real Time มีการควบคุมและจัดการจากทางไกลสามารถรับรู้เรื่องไฟฟ้าขัดข้อง เพราะสมาร์ทกริดประกอบด้วย เทคโนโลยีด้านการตรวจวัด การรับส่งสัญญาณและการทำงานร่วมกับอุปกรณ์อื่น เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร การผลิตพลังงานไฟฟ้า การส่งจ่ายไฟฟ้า การควบคุมโครงข่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ และมีเตอร์อัจฉริยะและเป็นการรวบรวมผสมผสานหลายเทคโนโลยีเข้าด้วยกันแต่ต้องมีการพัฒนาความเชื่อมั่นและประสิทธิภาพของการจัดส่งไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟ การลดต้นทุนให้กับทุกฝ่ายแบบอัจฉริยะครบวงจร เช่น อาคารอัตโนมัติหรือระบบควบคุมอาคาร จะประกอบด้วย ระบบการจัดการพลังงานในอาคารการป้องกันทางกายภาพ ความปลอดภัยด้านเพลิงไหม้ ลิฟต์ กล้องวงจรปิด ระบบความร้อน การหมุนเวียนอากาศและเครื่องปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง เครื่องทำความเย็น เครื่องทำความร้อนการจัดการพลังงานในอาคารประกอบด้วย ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ระบบการจัดการพลังงานในอาคารเข้ากับระบบสมาร์ทกริด และ ความปลอดภัยในการใช้งาน ที่พักอาศัยอัจฉริยะ ได้แก่ บ้านเดี่ยว ทาวน์เฮ้าส์ อาคารพาณิชย์ อพาร์ทเมนต์และคอนโดมิเนียมหากจะทำให้เป็นอัจฉริยะจะต้องติดตั้งระบบอัตโนมัติเพื่อความสะดวกสบาย ซึ่งรวมถึงการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและมีระบบสะสมพลังงานเพื่อใช้เองมีระบบบริหารจัดการพลังงานที่จะสร้างความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพที่สุดมีการตั้งค่าไฟฟ้าไว้และรับทราบข้อมูลเมื่อระบบเกิดการสูญเสียหรือด้อยประสิทธิภาพ โดยผ่านการควบคุมทางระบบ แต่ต้องมีการออกแบบและพัฒนา ระบบสมาร์ทกริดที่มีระบบจัดการพลังงานและส่งสัญญาณไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพสร้างต้นแบบสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานทดแทนที่สามารถจัดการพลังงานและติดต่อกับผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถประมวลผลส่งสัญญาณไปทางผู้ใช้ไฟฟ้า วิเคราะห์ประเมินผลระบบผลิตไฟฟ้าพลังงาน ซึ่งจะเป็นการบริหารจัดการสั่งการพลังงานแบบ Digital Control สื่อสารแบบไร้สาย สั่งการได้ในเวลาอันรวดเร็วจากแหล่งผลิตไฟไปยังที่ต้องการใช้ไฟฟ้าทำให้การบริหารจัดการทรัพยากรสินได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีต้นทุนน้อยที่สุดตามต้องการ มีการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพที่ทำให้มั่นใจว่า Smart Grid ช่วยให้การบริหารพลังงานมีประสิทธิภาพสูง ช่วยลดการสูญเสียและเสริมความมั่นคงด้านพลังงาน สิ่งสำคัญคือการออกแบบระบบไมโครกริด สร้าง

โมเดลจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อทดสอบระบบ พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการบริหารจัดการพลังงาน ระบบฐานข้อมูล website ระบบสื่อสารข้อมูล และ algorithm ที่ใช้วิเคราะห์การใช้และการผลิตกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งทดสอบระบบควบคุมแรงดันและกำลังไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินในระบบไฟฟ้า มีการจัดทำขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมและป้องกันอย่างละเอียดทุกขั้นตอน

ระบบสมาร์ทกริดจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายผ่านมิเตอร์อัจฉริยะได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าระบบสารสนเทศ ระบบสื่อสาร เข้าไว้ด้วยกันเป็นโครงข่าย ซึ่งจะสนับสนุนการทำงานซึ่งกันและกัน โดยอาศัยความก้าวหน้าจากนวัตกรรมเทคโนโลยี มีความมั่นคง ปลอดภัย เชื่อถือได้ มีคุณภาพไฟฟ้าได้มาตรฐานสากล ต้องมีการกำหนดมาตรฐานของอุปกรณ์ในระบบที่ผสมผสานการทำงานร่วมกัน เนื่องจากนวัตกรรมจากอุปกรณ์ใหม่ ๆ เป็นจำนวนมากจะต้องมีการรับส่งข้อมูลต่อกันตลอดเวลา การรวมทุกอุปกรณ์ในระบบเข้าด้วยกันต้องใช้มาตรฐานรูปแบบเดียวกันและต้องมีการเชื่อมต่อพลังงานทดแทนที่เข้าสู่ระบบต้องมีความง่าย ส่งเข้าสู่ระบบได้ทันที ด้วยเทคโนโลยี ICT เพราะสมาร์ทกริดเทคโนโลยีเป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่เชื่อมเทคโนโลยีสารสนเทศเข้ากับสายส่งไฟฟ้าและนำการสื่อสารมาบริหารจัดการ ควบคุมการผลิต การจัดส่งพลังงานไฟฟ้า สามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ มาควบคุมสายส่งไฟฟ้าจากผู้ผลิตและให้บริการไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟได้อย่างแม่นยำ ทำให้การบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าทั้งกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีการติดตั้งโปรแกรมพร้อมอุปกรณ์ที่ตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าได้ตามเวลาการใช้งานจริง ทำให้รู้ว่ามีการใช้ไฟฟ้าเท่าไรที่จุดไหนบ้างเพื่อคำนวณการแจกจ่ายกระแสไฟ มีความเสถียรเพื่อทำให้เป็นเมืองอัจฉริยะและการสื่อสารที่รวดเร็วการตรวจจับในความเป็นจริงจะทำให้เกิดการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้การตัดสินใจมีความชาญฉลาดมากขึ้น ช่วยในการตอบสนองที่มากขึ้น ในระบบเก่าเป็นการควบคุมแบบรวมศูนย์ที่ใช้กันมานานหลายทศวรรษ แต่การประสานงานการควบคุมของสมาร์ทกริดสามารถควบคุมบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าเองได้ ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่จะใช้ในระบบตามด้วย

การขับเคลื่อนให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดในอนาคต

ระบบสมาร์ตกริดเกิดจากความสามารถของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ที่มีการพัฒนาไปอย่างมาก การเข้าถึงจากการใช้งานอินเทอร์เน็ตหรือผ่านระบบโทรศัพท์มือถือ ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย การเข้าถึงเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่าง ๆ ซึ่งมีความหลากหลาย ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง อีกทั้งระบบสายส่งส่วนใหญ่ผ่านการใช้งานเกินอายุการใช้งาน การลดต้นทุนจากการสร้างสายส่งใหม่ หรือ ทดแทนระบบเดิม จึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถของสายส่งให้มีประโยชน์มากขึ้น สำหรับปัจจัยหลักสำคัญในระบบสมาร์ตกริด มีดังต่อไปนี้¹⁴

1. สมาร์ตมิเตอร์ (Smart meter) เป็นอุปกรณ์วัดที่ทันสมัยสามารถระบุอัตราการใช้พลังงานที่มีความละเอียดกว่าที่ใช้งานทั่วไป สามารถแสดงการใช้พลังงานที่แท้จริง ณ เวลานั้น รวมทั้งมีความสามารถในการสื่อสารข้อมูลกับระบบส่งระหว่างผู้ใช้งานกับผู้ผลิต ทำให้ระบบส่งมีความสามารถในการสื่อสารแบบสองทางได้ โดยทั้งสองฝั่งจะได้รับข้อมูลเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการควบคุมและบริหารจัดการระบบส่ง

2. อุปกรณ์วัดเฟส (Phasor metering unit: PMU) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดรูปแบบคลื่นไฟฟ้าบนระบบสายส่งไฟฟ้าวัดที่แหล่งกำเนิดที่เวลาเดียวกันกับระบบส่งเพื่อในการซิงค์เข้าระบบ ณ เวลานั้น การวัดคลื่นให้ตรงกันกับสายส่งที่เวลาจริง ซึ่งจะทำให้การวัดร่วมกันหลาย ๆ จุดบนระบบส่ง เช่น เซอร์ความเร็วสูงที่เรียกว่า PMUs กระจายไปทั่วเครือข่ายระบบส่งสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบสถานะของระบบไฟฟ้า เฟสเซอร์เป็นเครื่องมือแสดงขนาดและเฟสของแรงดันไฟฟ้าสลับที่จุดในเครือข่าย การใช้ PMU มันเป็นเรื่องง่ายในการตรวจสอบความผิดปกติของรูปร่างของคลื่นที่มีประโยชน์เพื่อการตรวจสอบความผิดปกติของรูปร่างคลื่นในระบบ เวลาข้อมูลที่ตรงกันในการเชื่อมโยงเข้ากับสายส่ง ทราบถึงพฤติกรรมของสายส่งแบบไดนามิกและอัตราการส่งข้อมูลสูงและต่ำผ่านการคำนวณ

เทคโนโลยีสมาร์ตกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุก ๆ ที่และทุกเวลา เทคโนโลยีสมาร์ตกริดได้มีการศึกษาและพัฒนากันอย่างกว้างขวางในทุกมุมของโลกโดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น และผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศโลก โดยเกิดแนวความคิด

ในการนำเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศ เข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้โลกนี้อยู่ได้อย่างยั่งยืน

การนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การใช้ พลังงาน เพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงานของระบบต่าง ๆ ในอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศ (Air Conditions) ระบบเครื่องทำความเย็น (Chiller Air Compressor) ระบบควบคุมไฟฟ้ากำลัง (Power Monitoring) ระบบควบคุมไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting Control) ระบบควบคุมสาธารณูปโภค (Utility Control) โดยระบบการบริหารพลังงานนี้ทำหน้าที่วางแผนและควบคุมการใช้พลังงานของอาคาร ให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยใช้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด พลังงานที่ใช้ในอาคารส่วนใหญ่จะเป็น 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานทดแทนในรูปพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ไม่ว่าการใช้พลังงานในรูปแบบใดก็คงมีราคาสูงมาก การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยประหยัดพลังงานได้ โดยปริมาณพลังงานที่ประหยัดได้ส่วนหนึ่งเกิดจากการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานในสภาพต่าง ๆ ในอาคาร การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ใช้หลอดไฟ LED รวมทั้งการออกแบบอาคารให้สามารถปรับเปลี่ยนให้เข้ากับสภาพแวดล้อม เช่น การใช้ที่บังแดดที่สามารถปรับเปลี่ยนการบังแดดตามองศาของดวงอาทิตย์สามารถทำให้อาคารประหยัดพลังงานได้ นับเป็นวิธีการประหยัดพลังงานได้วิธีหนึ่ง ในระบบบริหารพลังงาน BEMS ที่มีความสามารถมาก ๆ นั้น สามารถนำข้อมูลประวัติการใช้พลังงานในอาคารมาวิเคราะห์แล้วสั่งให้ระบบต่าง ๆ ทำงาน เช่น กำหนดการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยระบบบริหารพลังงานจะช่วยตรวจสอบ ดูแลและถ่วงดุลให้ระบบทั้งหมดทำงานอย่างประสานกัน เช่น ระบบเครื่องทำน้ำเย็นหลัก ระบบเป่าลมเย็น ระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบลิฟต์ ระบบตรวจจับเพลิงไหม้ ฯลฯ ระบบย่อย ๆ เหล่านี้ได้รับการดูแลให้ทำงานได้อย่างกลมกลืน และสามารถตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายใน และภายนอกที่เปลี่ยนไปผ่านระบบควบคุมกลาง เป็นการทำงานร่วมกับระบบบริหารอาคารทำให้ได้ทั้งความสะอาดสบายของผู้ใช้ และประหยัดพลังงานสูงสุดอย่างอัตโนมัติ

สมาร์ตกริดสามารถถูกจัดให้เป็นระดับชั้นโครงข่ายได้แก่ โครงข่ายภายในบ้าน HAN (Home Area Network), โครงข่ายในย่านบริเวณใกล้เคียง NAN (Neighborhood Area Network), และโครงข่ายบริเวณกว้าง WAN (Wide Area Network) ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้งานกับการบริโภคไฟฟ้าโดยจะส่งข้อมูล

การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ ไปยังสมาร์ตมิเตอร์ด้วยการช่วยเหลือของโครงข่ายภายในบ้าน HAN (Home Area Network) และด้วยข้อมูลจากสมาร์ตมิเตอร์และราคาตลาดในเวลาจริงของค่าไฟฟ้าจากส่วนกลาง จะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตและจ่ายไฟฟ้า Home Energy Management System (HEMS) จะช่วยในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานรวมทั้งหมดด้วยข้อมูลจากสมาร์ตมิเตอร์ภายในบ้านเรือนและอาคาร โดยมี บรอดแบนด์ เพาเวอร์ไลน์คอมมูนิเคชัน (Broadband power line communication : BB-PLC), อีเทอร์เน็ต (Ethernet), ซิกบี (ZigBee) (IEEE802.15.4) และไวไฟ Wi-Fi (IEEE802.11) เป็นเทคโนโลยีที่แข่งขันในการใช้งานสื่อสารระหว่างสมาร์ตมิเตอร์และเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ภายในบ้านและอาคาร

ข้อมูลจากสมาร์ตมิเตอร์ทั้งหลายจะถูกจัดเก็บผ่าน Neighborhood Area Network (NAN) โครงข่าย โดยมีโครงข่ายโทรศัพท์มือถือ Cellular อย่าง GSM และ CDMA เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารที่แข่งขันกันสำหรับโครงข่าย NAN การพิจารณาเลือกเทคโนโลยีสำหรับ HAN ก็สามารถถูกใช้สำหรับ NAN ได้ด้วย อย่างไรก็ตาม transmission range ควรถูกนำมาพิจารณา

Table 1 Communication Technologies for Smart Power Grid

Type	Applications	Data collection	Latency	Communication technology
HAN	HEMS	Every 1 minute	~ several seconds	BB-PLC, Wi-Fi, ZigBee, Ethernet, Bluetooth
	Home Automation			
NAN	AMI	Every 15 minutes or 1 hour	~ 10 seconds	BB & NB- PLC, Wireless Mesh, ZigBee
WAN	Phasor Measurement Unit (PMU)	Every 1 second	~ 0.1 second	Optical communication Cellular network

ข้อมูลที่ถูกจัดเก็บมาจากสมาร์ตมิเตอร์จะถูกส่งไปยังศูนย์กลางการควบคุมส่วนกลางผ่าน Wide Area Network (WAN) เทคโนโลยีที่ได้ใช้สำหรับ WAN ควรถูกเลือกพิจารณาตามความต้องการของ ความกว้างของย่านในการครอบคลุมพื้นที่ เวลา Latency และอัตราการส่งข้อมูล หน้าที่ของการเฝ้าระวังตามเวลาจริง และควบคุม จะดำเนินการด้วยการสนับสนุนของ WAN ซึ่งจะส่งเสริมระบบไฟฟ้าจากการเชื่อมโยงและควบคุมการผลิตไฟฟ้าจากทุกแหล่งผลิต เช่นจาก

โรงไฟฟ้าทุกประเภทและระบบสายส่งไฟฟ้าที่มีการควบคุมแบบเวลาจริง ทำให้มีความน่าเชื่อถือสูงถึง 99 % อันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพจากความสูญเสียในระบบส่ง เพิ่มคุณภาพของกระแสไฟฟ้าในระบบด้วยสถานีไฟฟ้าแบบดิจิทัล (AIS or GIS) ที่จะมีการประมวลผลสัญญาณแบบบูรณาการ จากอุปกรณ์ที่ทันสมัย มีความน่าเชื่อถือ ทำให้เกิดระบบจัดการพลังงานที่ควบคุมการส่งได้ในแบบตารางเวลาในการผลิตได้ล่วงหน้าและแม่นยำ รวมทั้งเป็นการควบคุมแบบอัตโนมัติ ที่ครอบคลุมถึงระบบการจัดจำหน่าย อันจะส่งผลต่อบริหารจัดการให้มีประสิทธิภาพ สามารถตรวจสอบข้อมูลได้อย่างรวดเร็วผ่านสมาร์ตมิเตอร์ เกิดการจัดการได้ตามเวลาจริง ทั้งการจัดจำหน่ายหรือการจัดเก็บพลังงาน ไฟฟ้า¹⁵

ระบบสมาร์ตกริดจะช่วยให้ผู้ใช้งานมีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างชาญฉลาด มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และลดค่าใช้จ่ายจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่ลดลงรวมทั้งการจัดการไฟฟ้าของผู้ผลิตมีการสูญเสียน้อยลง ซึ่งจะสอดคล้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศที่ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว และหากมีการนำระบบนี้มาใช้จริงอย่างจริงจังจะมีความเสี่ยงสูง จึงต้องมีการเตรียมความพร้อมหลายอย่าง เพื่อความมั่นคงและรองรับความหลากหลายในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าทั้งหมดที่มีอยู่ในปัจจุบันอีกด้วย¹⁶

จากที่กล่าวมาแล้วว่าเทคโนโลยีสมาร์ตกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุกที่และทุกเวลา ในทุกมุมของโลกได้มีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีสมาร์ตกริดกันอย่างกว้างขวาง โดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น โดยมีแนวความคิดในการผสมผสานเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศเข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความยั่งยืน

การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ จะทำให้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าและให้บริการได้อย่างเพียงพอ ทว่าถึง มั่นคงมีคุณภาพได้มาตรฐานสากลอย่างประหยัดและยั่งยืน โดยการมีส่วนร่วมของผู้ใช้ไฟ ที่มีการใช้มิเตอร์อัจฉริยะต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น จอภาพคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ และจะเป็นการสื่อสาร 2 ทางโดยมีคุณสมบัติรองรับและส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบ Real Time ทำให้เกิดการรับรู้

สถานการณ์ใช้ไฟฟ้า ณ. เวลานั้น มีการควบคุมและจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้าจากทางไกลได้ ทำให้มีการเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาที่เหมาะสมเพิ่มขึ้น

นวัตกรรมอัจฉริยะในการสร้างสรรค์จากการผสมผสานเทคโนโลยีเข้าด้วยกันเพื่อช่วยพัฒนาความเชื่อมั่นและประสิทธิภาพของการจัดหาและจัดส่งไฟฟ้า เทคโนโลยีนี้จะช่วยในการลดต้นทุนผลิตไฟฟ้าและจัดส่งไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ ด้วยระบบโครงข่ายในการส่งไฟฟ้าแบบอัจฉริยะครบวงจร โดยใช้เทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการควบคุมซึ่งสมาร์ทกริดเทคโนโลยี ทำหน้าที่นี้จากผู้ผลิตและให้บริการไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ ซึ่งช่วยให้สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแบบการจัดการระบบสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในอนาคตจะมีความแตกต่างกันไปตามคุณลักษณะของระบบไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐาน ความพร้อมของโครงข่ายไฟฟ้าระบบการบริหารจัดการ ซึ่งจะสามารถแบ่งแนวคิดได้เป็น 4 กลุ่มประเภทหลัก ๆ ได้แก่ เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ เพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้สามารถรองรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนในปริมาณสูงได้ เพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของความต้องการไฟฟ้าอย่างรวดเร็วและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับรูปแบบการจัดการแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดเทคโนโลยีในอนาคต

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อการพัฒนาประเทศไทย ทำให้มีความต้องการมากขึ้นและมากเกินกว่าการผลิตจากแหล่งพลังงาน ที่จะให้การสนับสนุนได้อย่างเพียงพอ กับความต้องการ ดังนั้นทุกฝ่ายจึงต้องให้ความสำคัญต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากการพัฒนาพลังงานไฟฟ้า รัฐบาลได้กำหนดให้เป็นนโยบายแห่งชาติ และกำหนดแนวทางการผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งเรื่องการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ เช่น การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริด ทำให้เกิดความคุ้มค่า ลดการสูญเสียในระบบ กำหนดจุดดูแลสภาพความต้องการใช้พลังงานระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคสูงสุด ซึ่งทำให้เกิดประโยชน์ได้สูงสุดกับทุกฝ่าย

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดเป็นวิวัฒนาการด้านพลังงานที่สำคัญของโลกในยุคโลกาภิวัตน์ (Globalization) ซึ่งเป็นผลมาจากการพัฒนาเทคโนโลยีสื่อสารโทรคมนาคมควบคู่ไปกับเทคโนโลยีสารสนเทศ ทำให้สามารถตอบสนองต่อข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่าง

รวดเร็วถูกต้องแม่นยำในทุกที่และทุกเวลา การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดได้มีการศึกษาและพัฒนากันอย่างกว้างขวาง ในทุกมุมของโลกโดยคำนึงถึงปัญหาความมั่นคงด้านพลังงาน ความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น โดยเป็นการผสมผสานเทคโนโลยีสื่อสารและสารสนเทศเข้ามารวมกับระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงาน และไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเพื่อให้เกิดความยั่งยืน

เทคโนโลยีสมาร์ทกริดเป็นโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะที่รวมเทคโนโลยีแห่งอนาคตหลายส่วนเข้าด้วยกันเช่นแหล่งจ่ายไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน รถไฟฟ้ามาตรฐานอัจฉริยะ บ้านอัจฉริยะ โทรศัพท์อัจฉริยะ ให้สามารถสื่อสารข้อมูลกันได้ในทุกส่วนของโครงข่ายและสามารถบริหารจัดการและควบคุมการทำงานได้ตามที่ต้องการ ด้วยยุทธศาสตร์การจัดการตามความต้องการ (Demand Response Strategy) ซึ่งการสื่อสารข้อมูลทั้งหมดในโครงข่ายสามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารทั้งในรูปแบบไร้สายและแบบมีสายหรือสมาร์ทกริดในรูปแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี WiFi ซึ่งมีมาตรฐานรองรับและใช้กันอย่างกว้างขวาง การพัฒนานั้น นอกจากเป็นการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิมให้มีประสิทธิภาพการใช้งานให้ดีขึ้นเพื่อรองรับการประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ในระยะยาวจากการเปลี่ยนแปลงตามสภาพเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบันและอนาคตแล้ว ยังถือเป็นการเพิ่มและเปิดโอกาสในการพัฒนาต่อยอดด้านต่าง ๆ ให้ดียิ่งขึ้นไปอีก ได้แก่

1. การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดนี้สามารถใช้เป็นโครงการนำร่องเพื่อเป็นตัวดึงดูดความสนใจจากนักลงทุนในการสร้างโอกาสส่งเสริมฐานการผลิตและการส่งออกทางด้านเทคโนโลยีของประเทศไทยได้
2. การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าที่ผู้ใช้บริการจะได้รับ รวมทั้งเป็นการสร้างความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย
3. เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ทกริดจะช่วยในพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้าให้ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ และเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชนและแก้ปัญหามาตรฐานการเข้าถึงได้ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคต หากไม่มีการวางแผนไว้ล่วงหน้าอย่างรอบคอบ

ผลของการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดจะเป็นรูปแบบการจัดการแหล่งพลังงานไฟฟ้าในขนาดของประเทศไทย เช่น ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร หรือเทคโนโลยีการตอบสนองของโหลดจะช่วยเพิ่มทางเลือกให้กับภาครัฐที่จะส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การลดการใช้พลังงาน และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพได้มากขึ้น ดังนั้น การจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (EEDP) ในอนาคต จะสามารถคาดหวังสัดส่วนการลดความเข้มข้นของ การใช้พลังงานที่สูงขึ้นได้ และสามารถกำหนดมาตรการส่งเสริมการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพได้หลากหลายมากขึ้น อันจะส่งผลให้ช่วยลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของประเทศ

แนวทางสำคัญเกี่ยวกับยุทธศาสตร์ส่งเสริมพลังงาน ซึ่งกระทรวงพลังงานได้วางกรอบแผน บูรณาการพลังงานแห่งชาติที่มีความสำคัญ ซึ่งต้องอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดมาเป็นองค์ประกอบช่วยในการขับเคลื่อนเพื่อใช้บริหารจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

การพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อรองรับระบบสมาร์ตกริดในอนาคตของประเทศไทย ตามความแตกต่างกันตามคุณลักษณะของระบบไฟฟ้า โครงสร้างพื้นฐาน ความพร้อมของโครงข่ายไฟฟ้า ระบบการบริหารจัดการ ซึ่งจะเพิ่มความเชื่อถือของระบบไฟฟ้าให้สามารถรองรับการผลิตไฟฟ้าในปริมาณสูงได้และรองรับการเพิ่มขึ้นของความต้องการใช้ไฟฟ้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกฝ่าย จะต้องมีการพิจารณาให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ รวมทั้งสอดคล้องกับสถานการณ์ เพื่อให้เกิดความมีประสิทธิภาพผลมากที่สุด ในการทำประโยชน์ให้กับประชาชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2561). ระบบไฟฟ้าอัจฉริยะกับอนาคตประเทศไทย. ได้จาก: URL: <https://bualuang.fund/archives/3736/smart-grid/> 27 มกราคม 2561
2. Amir Hosein Ghaffarian Hosein, Nur Dalilah Dahlan, Umberto Berardi, Ali Ghaffarian Hoseini and Nastaran Makaremi. 2013. The essence of future smart houses: From embedding ICT to adapting to sustainability principles. Available from: URL:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001342> June 27, 2017
3. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2561. สถานการณ์พลังงาน. ได้จาก: URL: <http://www.teenet.chula.ac.th/energy/detail1-1.asp?id=339.html> 24 มกราคม 2561
4. กระทรวงพลังงาน. การบริหารระบบจัดการพลังงาน. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน; 2560.
5. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. ปริมาณการจัดหาพลังงานจำแนกตาม แหล่งพลังงาน พ.ศ. 2560-2564. ได้จาก: URL: http://service.nso.go.th/nso/nso_center/project/search_center/ 18 มีนาคม 2561
6. กระทรวงพลังงาน. 2561. ยุทธศาสตร์พลังงาน. ได้จาก: URL: <http://www.energy.go.th/energy-strategic.html>. 15 มกราคม 2561
7. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2561. อุปสงค์อุปทานการผลิตเอทานอล. ได้จาก: URL: http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/urs/bers/gasohol_2008/510623_Demand_Supply.pdf 27 มกราคม 2561
8. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. โครงการประหยัดไฟ ก้าว 2 ต่อ. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรุงเทพ; 2559
9. Cosmi C, Leo SD, Loperte S, Macchiato M, Pietrapertosa F, Salvia M, Cuomo VA. model for representing the Italian energy system: The NEEDS-TIMES experience, Renewable and Sustainable Energy Reviews 2007; 13(4): 763-766
10. สำนักงานพลังงานสากล. 2561. ก๊าซชีวภาพ: พลังงานทางเลือก. ได้จาก: URL: <http://www.biotech.or.th/biotechnology-th/newsdetail.asp?id=3307> 3 มีนาคม 2561
11. Bazilian M, Welsch M. Smart and Just Grids: Opportunities for Sub-Saharan Africa, Imperial London: College London; 2011.
12. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียนขนาดเล็กมาก. กรุงเทพฯ: การไฟฟ้านครหลวง; 2560
13. ไทยออยล์, บริษัท จำกัด (มหาชน) สถานการณ์ราคาน้ำมัน. ได้จาก: URL: <http://www.thaioil.co.th/news/oilprice.php> 24 มกราคม 2561

14. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน.
2561. ราคาน้ำมันวันนี้รายงานโดยส่วนปิโตรเลียม สนพ.
ได้จาก: URL: http://www.eppo.go.th/retail_prices.html
8 มกราคม 2561
15. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงาน
พลังงานของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน;
2560
16. Chris BL. 2010. Smart Grid for Dummies. Available
from: URL: https://www.smartgrid.gov/files/Smart_Grids_for_Dummies_201005.pdf October 20, 2015
[mies_201005.pdf](https://www.smartgrid.gov/files/Smart_Grids_for_Dummies_201005.pdf) October 20, 2015

ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ ณ สหกรณ์โคนมโคกก่อ จังหวัดมหาสารคาม

An Information System for a Milk Collection Center at Khok-kho Cooperative, Mahasarakham

มนกานต์ อินทรกำแหง¹

Manakant Intrakamhaeng¹

Received: 2 May 2019 ; Revised: 19 July 2019 ; Accepted: 16 August 2019

บทคัดย่อ

ศูนย์รวมน้ำนมดิบเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมน้ำนมดิบจากเกษตรกร ทำหน้าที่ตรวจวัดปริมาณและคุณภาพเพื่อนำไปคำนวณเงินค่านมให้เกษตรกร ในแต่ละวันจะต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำนมที่ได้รับจากเกษตรกรแต่ละราย ณ ศูนย์รับน้ำนม เช่น การตกตะกอนของแอลกอฮอล์ ตรวจการเปลี่ยนสีของเมธิลีนบลู ตรวจปริมาณโซมาติกเซลล์ในน้ำนมด้วยวิธี CMT นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมในห้องปฏิบัติการ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อน และคุณภาพด้านองค์ประกอบน้ำนม โดยเฉพาะปริมาณของแข็งรวม (Total Solid : TS) และปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาว (Somatic Cell Count : SCC) การบันทึกข้อมูลปริมาณและคุณภาพน้ำนมดิบในปัจจุบันเป็นการบันทึกด้วยมือลงบนกระดาษแล้วจึงนำไปบันทึกผ่านคอมพิวเตอร์ไว้ในไฟล์ Excel เพื่อนำไปคำนวณเงินค่านมให้เกษตรกรต่อไป ปัญหาสำคัญยิ่งที่เกิดขึ้นคือ ความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลด้วยมือ ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการคำนวณเงินค่านมให้เกษตรกรเนื่องจากต้องมาติดตามแก้ไขข้อมูลย้อนหลัง การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่สำคัญสองประการ คือ 1) การสร้างนวัตกรรมสำหรับศูนย์รวมน้ำนมดิบโดยนำระบบสารสนเทศมาใช้ในการบันทึกข้อมูล 2) ลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลและลดเวลาในการบันทึกข้อมูล โดยได้พัฒนาระบบสารสนเทศตามหลักสถาปัตยกรรม Model View Control (MVC) ซึ่งอำนวยความสะดวกในการพัฒนาระบบสารสนเทศให้เป็นไปอย่างรวดเร็วและที่สำคัญยิ่งไปกว่านั้นคือมีความยืดหยุ่นสามารถรองรับการขยายตัว (Scalability) ของระบบในอนาคต ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การบันทึกข้อมูลสะดวก แม่นยำ สามารถลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล และลดเวลาในการบันทึกข้อมูลอย่างมีนัยยะสำคัญ

คำสำคัญ: ศูนย์รวมน้ำนมดิบ การตรวจสอบคุณภาพน้ำนม การควบคุมคุณภาพน้ำนม ระบบสารสนเทศ

Abstract

Milk collection centers collect raw milk from farmers and measure both its quantity and quality. Both data are used to calculate payments to farmers. Daily operations at the center include quality assessment, i.e. alcohol test, methylene blue test and somatic cell count. Laboratory assessment includes pasteurized count, total solid and somatic cell count. At present, the results of assessment are manually recorded on paper and are then inserted into an Excel file for money calculation. The serious problem with this method is that their errors occur during manual recording, delaying the calculation process because the workers must trace back and correct the errors. This research aims at 1) developing an innovation for milk collection centers by deploying information technology, and 2) reduce error and time during the data collection. We developed an information system following Model View Control (MVC) architecture, which allows for rapid development of the system, and, more importantly, support further scalability in the future. The developed system provides both convenience and precision in the data recording process, and helps reduce errors and time consumption significantly.

Keywords: Milk collection center, milk quality assessment, milk quality control, Information System.

¹ Assistant Professor, The Food Contaminants Research Unit (FCRU), Faculty of Veterinary Science, Mahasarakham University, Muang District, Mahasarakham Province 44000, Thailand.

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว มีโปรแกรมประยุกต์ (Application) ใช้งานในด้านต่างๆ มากมาย รวมทั้งมีอุปกรณ์ต่างๆ ที่ถูกพัฒนาให้รองรับการใช้งานกับโปรแกรมประยุกต์เพิ่มมากขึ้น ในยุคที่เทคโนโลยีทันสมัย ระบบสารสนเทศมีบทบาทอย่างมากในการปรับรูปแบบการบันทึกข้อมูลจากกระดาษสู่การบันทึกข้อมูลแบบดิจิทัลหรือการบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ทำให้เกิดความสะดวกสบายและลดปัญหาการจดบันทึกความผิดพลาดได้เป็นอย่างมาก การบันทึกปริมาณน้ำนมดิบที่รับซื้อจากเกษตรกรในแต่ละวันและผลการวิเคราะห์คุณภาพนั้นเป็นชุดข้อมูลซึ่งมีความสำคัญต่อทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนมและการแปรรูปน้ำนมดิบ เกษตรกรต้องการทราบปริมาณน้ำนมดิบที่ตนนำไปจำหน่ายในแต่ละวัน ผลการทดสอบคุณภาพน้ำนมเบื้องต้น เช่น ผลการตรวจจำนวนโซมาติกเซลล์ในน้ำนมด้วยการใช้น้ำยาซีเอ็มที (CMT test) ผลการทดสอบด้วยเมธิลีนบลู (Methylene blue test) ผลการทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol test) เป็นต้น ตลอดจนผลการทดสอบคุณภาพน้ำนมในห้องปฏิบัติการ เช่น ปริมาณของแข็งในน้ำนมหรือเนื้อมนม (%TS) ของแข็งในน้ำนมไม่รวมไขมันหรือเนื้อมนมไม่รวมไขมันเนย (%SNF) โปรตีนในน้ำนม (%Protein) ไขมันในน้ำนม (%Fat) แลคโตส (%Lactose) จำนวนโซมาติกเซลล์ (SCC count) เป็นต้น ซึ่งที่ผ่านมาศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบมีการบันทึกข้อมูลทั้งด้วยการเขียนบันทึก การจัดเก็บเอกสารผลการตรวจจากห้องปฏิบัติการ แต่ข้อมูลทั้งหมดเป็นเอกสารซึ่งไม่อยู่ในรูปแบบที่สามารถวิเคราะห์ได้ทันที รวมทั้งยังบางครั้งไม่ได้ถ่ายเอกสารส่งต่อข้อมูลไปยังเกษตรกร เกษตรกรจึงไม่สามารถทราบข้อมูลคุณภาพน้ำนมเพื่อการพัฒนาฟาร์มของตนเองให้มีความปลอดภัยยิ่งขึ้น

ปริมาณน้ำนมดิบและผลการวิเคราะห์คุณภาพรายฟาร์มเป็นข้อมูลที่สหกรณ์โคนมทุกแห่งใช้ในการคำนวณราคาซื้อน้ำนม โดยสรุปปริมาณน้ำนมทั้งหมดในหนึ่งเดือน จากนั้นให้ราคาเพิ่มหรือลดจากราคามาตรฐาน 17.50 บาทต่อกิโลกรัม ตามผลเกณฑ์การวิเคราะห์คุณภาพที่สหกรณ์โคนมแต่ละแห่งกำหนด ตัวอย่างเช่น จำนวนโซมาติกเซลล์มาตรฐานที่เกรด 4 ($4.01-5.00 \times 10^5$ เซลล์) หากน้ำนมมีจำนวนโซมาติกเซลล์ต่ำกว่ามาตรฐานทุกๆ 1×10^5 เซลล์ จะได้ราคาน้ำนมเพิ่มขึ้น 0.20 บาทต่อกิโลกรัม และกรณีเนื้อมนมไม่รวมไขมันมาตรฐานที่เกรด 3 (8.35-8.49%) หากน้ำนมมีเนื้อมนมไม่รวมไขมันสูงกว่าเกรดมาตรฐาน เช่น 8.50-8.69% จะได้ราคาน้ำนมเพิ่มขึ้น 0.30 บาทต่อกิโลกรัม เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้ นอกจากการสะท้อนกลับไปให้เกษตรกรในมิติของราคาซื้อ

น้ำนมหรือจำนวนเงินที่เกษตรกรได้รับแล้ว ยังเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรในการพัฒนาการเลี้ยงโคนมให้ได้น้ำนมที่มีคุณภาพยิ่งขึ้นอีกด้วย ตัวอย่างเช่น เกษตรกรสามารถปรับไขมันในน้ำนมให้เพิ่มขึ้นโดยการจัดการปรับคุณภาพอาหารหยาบให้มีคุณภาพดีมากขึ้น หรือจัดการปรับปรุงพันธุ์ให้มีลักษณะแสดงออกด้านไขมันในน้ำนมที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ ข้อมูลเหล่านี้ยังเป็นประโยชน์ต่อระดับนโยบายของสหกรณ์โคนม ตลอดจนระดับนโยบายของรัฐ ในการเป็นฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) สามารถสร้างกระบวนการวิเคราะห์เชิงข้อมูลของทุกสหกรณ์และทุกฟาร์ม ค้นหารูปแบบความสัมพันธ์ของข้อมูลต่างๆ เพื่อการสังเคราะห์แนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการส่งเสริมอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนม ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มรายได้เกษตรกรจากการที่มีปริมาณและคุณภาพน้ำนมที่ดีขึ้น

สหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม โคกก่อ จำกัด มีสำนักงานตั้งอยู่เลขที่ 175 หมู่ที่ 1 ตำบลโคกก่อ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เริ่มตั้งสหกรณ์ในปี พ.ศ. 2540 มีเกษตรกรสมาชิกกระจายอยู่ในอำเภอต่างๆ ของจังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อำเภอบรบือ อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอแกดำ และอำเภอนาเชือก ปัจจุบันฟาร์มเกษตรกรสมาชิกของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อที่ส่งน้ำนมดิบมีทั้งสิ้นประมาณ 69 ราย จำนวนโคทั้งหมด 2,136 ตัว ผลิตน้ำนมดิบได้วันละ 12 ตันต่อวัน มีศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ 2 แห่ง ได้แก่ ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบโนนราษี และศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบโคกก่อ โดยสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม โคกก่อ จำกัด เป็นสหกรณ์ที่มีวิสัยทัศน์ในการพัฒนาอาชีพการเลี้ยงโคนมให้ได้มาตรฐานและผลิตน้ำนมที่มีคุณภาพ ในปี 2560 สหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม โคกก่อ จำกัด ได้รับการถ่ายทอดเทคโนโลยีในการจัดการฟาร์มโคนมด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และโปรแกรมการจัดการฟาร์ม ซึ่งสนับสนุนโดยงานคลินิกเทคโนโลยีกระทรวงวิทยาศาสตร์ และมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัจจุบันมีโปรแกรมประยุกต์หรือแอปพลิเคชันสำหรับเกษตรกรทุกรายที่เป็นสมาชิกของสหกรณ์ฯ ใช้บันทึกข้อมูลจำนวนตัวสัตว์และบันทึกเหตุการณ์การผลิตต่างๆ ที่เกิดขึ้นในฟาร์ม ดังนั้นจึงสนใจที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศของศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบเพื่อการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพน้ำนมเป็นรายฟาร์มได้ต่อไป ช่วยให้เกษตรกรแก้ไขปัญหาการจัดการฟาร์มและส่งเสริมให้เกษตรกรประสบความสำเร็จในการเลี้ยงโคนมโดยยกระดับประสิทธิภาพการผลิตหรือเพิ่มผลิตภาพ (Productivity) ตามแนวทาง Smart Farm Flagship ในภาคการเกษตร ตลอดจนเป็นต้นแบบในการนำนวัตกรรมทางเทคโนโลยีมาใช้ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงโคนม

การวิจัยนี้ มีจุดประสงค์สองประการ คือ

1. เพื่อวิจัยและพัฒนานวัตกรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยสอดคล้องกับความต้องการของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม ส่งเสริมเศรษฐกิจในชุมชนผู้เลี้ยงโคนม เกิดความสำเร็จในการพัฒนามาตรฐานศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบและการควบคุมคุณภาพน้ำนมดิบ
2. เพื่อลดความผิดพลาด และลดเวลาในการบันทึกข้อมูลปริมาณและคุณภาพน้ำนม

องค์ความรู้และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบเป็นศูนย์กลางในการรวบรวมน้ำนมดิบจากเกษตรกร ตามมาตรฐานสินค้าเกษตรด้านการปฏิบัติที่ดีสำหรับศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ (มกษ. 6401-2558) ได้นิยามศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ (milk collection center) ว่า หมายถึง สถานประกอบการที่รับและรวบรวมน้ำนมดิบจากสมาชิกเพื่อนำน้ำนมมาลดอุณหภูมิ และส่งมอบน้ำนมดิบแก่โรงงานแปรรูปหรือศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบอื่นต่อไป การควบคุมอุณหภูมิต้องไม่ให้เกิน 4 องศาเซลเซียส ก่อนการขนส่ง ช่วงเวลาการรับน้ำนมดิบ แบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเช้า 07.00-09.00 น. และช่วงเย็น 16.30-18.30 น. ศูนย์รวมน้ำนมดิบของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโลกก้อ จำกัด ทำหน้าที่รวบรวมน้ำนมดิบจากเกษตรกรสมาชิกประมาณ 69 รายต่อวัน รวมน้ำนมดิบวันละมากกว่า 12 ตันต่อวัน ในแต่ละวัน นอกจากศูนย์รวมน้ำนมดิบจะต้องตรวจสอบคุณภาพน้ำนมจากเกษตรกรแต่ละราย ยังต้องบริหารถึงรับน้ำนมดิบให้เพียงพอกับปริมาณน้ำนมดิบที่รับซื้อจากสมาชิก และต้องควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่ให้เกิน 4 องศาเซลเซียสอีกด้วย ศูนย์รวมน้ำนมดิบเป็นหน่วยควบคุมมาตรฐานคุณภาพน้ำนมดิบให้กับโรงงานแปรรูป เนื่องจากมาตรฐานน้ำนมดิบของโรงงานแปรรูปจะถูกส่งผ่านไปยังศูนย์รวมน้ำนมดิบ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการจัดซื้อน้ำนมดิบจากเกษตรกร ดังนั้นศูนย์รวมน้ำนมดิบจึงต้องพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ที่ดีในการผลิต (GMP) ให้สอดคล้องกับมาตรฐานน้ำนมดิบของโรงงานแปรรูปซึ่งผ่านการรับรองมาตรฐาน GMP และ HACCP ภารกิจของศูนย์รวมน้ำนมดิบในแต่ละวันจึงมีมากและต้องปฏิบัติตามเกณฑ์มาตรฐานไปควบคู่กัน สุกัลรัตน์ และคณะ (2546) รายงานว่าค่าเฉลี่ยของเวลาในการรวบรวมน้ำนมดิบต่อจำนวนสมาชิกทั้งหมด ใช้เวลาประมาณ 1.96 - 4.33 นาทีต่อฟาร์ม โดยแต่ละช่วงเวลาของเช้าและเย็น ศูนย์รวมน้ำนมดิบจะมีแผนการเก็บตัวอย่างน้ำนมดิบจากแต่ละฟาร์ม เพื่อวิเคราะห์ตามเกณฑ์คุณภาพน้ำนมที่กำหนดไว้ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์

รวบรวมน้ำนมดิบจะต้องใช้เวลาในการเทน้ำนมและชั่งน้ำหนักนม ตรวจการตกตะกอนของแอลกอฮอล์ ตรวจการเปลี่ยนสีของเมธิลีนบลูหรือเรชาซูริน ตรวจปริมาณโซมาติกเซลล์ในน้ำนมด้วยวิธี CMT รวมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำนมเพื่อตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมในห้องปฏิบัติการเป็นการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ปนเปื้อนและคุณภาพด้านองค์ประกอบน้ำนมโดยเฉพาะปริมาณของแข็งรวม (Total Solid : TS) ซึ่งกำหนดมาตรฐานที่ระดับ 12.25% และมาตรฐานปริมาณเซลล์เม็ดเลือดขาว (Somatic Cell Count : SCC) เกณฑ์มาตรฐานไม่เกิน 500,000 เซลล์/ซีซี ตามแผนการพัฒนาโครงการอาหารเสริม (นมโรงเรียน) ข้อมูลผลการวิเคราะห์ทั้งหมดมีความสำคัญต่อสหกรณ์ฯ ในการประเมินราคาซื้อน้ำนมประจำเดือน และมีความสำคัญต่อเกษตรกรในการพัฒนาฟาร์มให้ได้คุณภาพน้ำนมที่ดีมากขึ้น

ในด้านการสร้างมาตรฐานของการปฏิบัติงานในศูนย์รวมน้ำนมดิบ วินัย พุทธิกุล (2547) ได้พัฒนาสร้างแบบแผนประเมิน และคู่มือการใช้แบบประเมิน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ (GMP) ของศูนย์รวมน้ำนมดิบ ซึ่งสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตร (มกอช.) ได้นำมาใช้เป็นมาตรฐานของศูนย์รวมน้ำนมดิบในปัจจุบัน การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการจัดการสมัยใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำนมดิบมีการศึกษาที่สหกรณ์โคนมวังน้ำเย็น จำกัด จังหวัดสระแก้ว โดย สาธิต และคณะ (2555) สอบถามทัศนคติเกี่ยวกับการจัดการศูนย์รับน้ำนมดิบพบว่าศูนย์รับน้ำนมดิบในปัจจุบันของสหกรณ์ฯ มีความสัมพันธ์กับหลักการจัดการสมัยใหม่ด้านรัฐประศาสนศาสตร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับมาก ทั้ง 5 ด้านโดยด้านการจัดการสหกรณ์ภายใต้หลักเศรษฐกิจพอเพียง ด้านธรรมาภิบาล ด้านการจัดการสหกรณ์ภายใต้หลักการบริหารทรัพยากรมนุษย์ ด้านการจัดการสหกรณ์ภายใต้หลักนโยบายสาธารณะ และด้านการจัดการสหกรณ์ ภายใต้หลักการมีส่วนร่วมของประชาชน ในด้านการออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศูนย์รวมน้ำนมดิบนั้น สุชาติดา เกตุดี (2548) ได้พัฒนาระบบสารสนเทศโดยมีการบันทึกข้อมูลพื้นฐาน รับน้ำนม ตรวจสอบคุณภาพน้ำนม เบิก/จ่ายสินค้าและบริการ คำนวนรายรับ/รายจ่ายสมาชิก ส่งน้ำนม บันทึกประวัติโรคโคนม และการจัดทำรายงาน แต่พบข้อจำกัดว่าสามารถจัดการข้อมูลสำหรับสนับสนุนงานของศูนย์รวมน้ำนมเท่านั้น ยังไม่สามารถสนับสนุนงานการจัดการในระดับฟาร์มโคนมได้

การศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาแนวความคิดต่อยอดจากการสร้างโปรแกรมประยุกต์ “สมาร์ต ดี ฟาร์มเมอร์ แอปพลิเคชัน” ซึ่งสนับสนุนโดยงานคลินิกเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ภายใต้ความร่วมมือของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งผู้วิจัยและคณะได้พัฒนาในปี พ.ศ.2560 ที่สหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จำกัด จังหวัดมหาสารคาม มีข้อมูลการเลี้ยงโคนมและการผลิตน้ำนมจากเกษตรกรสมาชิกจำนวน 69 ราย ตั้งอยู่ในอำเภอต่างๆ ของจังหวัดมหาสารคาม ได้แก่ อำเภอบรบือ อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอแกดำ และอำเภอนาเชือก มีการบันทึกข้อมูลของฟาร์มโคนมที่สำคัญ ได้แก่ บันทึกพันธุ์ประวัติโค ข้อมูลการผสมพันธุ์ การคลอด การตรวจความสมบูรณ์ของร่างกาย การตรวจการเป็นสัด การกำหนดระยะเวลาพักการรีดนม บันทึกการเคลื่อนย้ายโค เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ยังนำไปสู่การบันทึกข้อมูลในระดับศูนย์รวมน้ำนมดิบตามแนวปฏิบัติที่ดีทางการเกษตร (Good agricultural practices) สำหรับศูนย์รวมน้ำนมดิบ โดยโครงการนี้มีศูนย์รวมน้ำนมดิบ 2 แห่งของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จำกัด จังหวัดมหาสารคาม เป็นสถานที่พัฒนาระบบสารสนเทศ การบันทึกข้อมูลหลักของศูนย์รวมน้ำนมดิบ ได้แก่ ปริมาณน้ำนมดิบของเกษตรกรในช่วงเช้าและช่วงเย็นของแต่ละวัน คุณภาพน้ำนมดิบเบื้องต้นที่ทดสอบโดยเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์รวมน้ำนม คุณภาพน้ำนมดิบในห้องปฏิบัติการที่วิเคราะห์โดยศูนย์ปฏิบัติการต่างๆ การวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจราคารับซื้อน้ำนมจากเกษตรกรแต่ละรายประจำเดือน โดยข้อมูลระหว่างศูนย์รวมน้ำนมดิบและข้อมูลการเลี้ยงโคนมในฟาร์มมีความสำคัญต่อการพัฒนาทั้งศูนย์รวมน้ำนมดิบและฟาร์มโคนมในการสะท้อนผลการพัฒนาคุณภาพน้ำนม สามารถพัฒนาคุณภาพน้ำนมของเกษตรกรสมาชิกให้เพิ่มขึ้นได้

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ศึกษาปัญหาและความต้องการของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนม และผู้ปฏิบัติงานในศูนย์รวมน้ำนม ประชุมเพื่อวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งาน
2. ออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศ (Interface) ที่สะดวกต่อผู้ใช้งานศึกษาขั้นตอนการทำงานของระบบ ออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศในการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างศูนย์รวมน้ำนมดิบ สหกรณ์โคนม และเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนม
3. พัฒนาซอฟต์แวร์และติดตั้งระบบ พัฒนาซอฟต์แวร์บนอุปกรณ์และเชื่อมต่อข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต พัฒนาระบบการบันทึกปริมาณและคุณภาพน้ำนมดิบ ที่มีเจ้าหน้าที่ประจำ

ศูนย์รวมน้ำนมดิบเป็นผู้ใช้งาน

4. ทดสอบระบบการบันทึกปริมาณและคุณภาพน้ำนมดิบ ที่มีเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์รวมน้ำนมดิบเป็นผู้ใช้งาน
5. พัฒนาระบบการนำเข้าข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ และการจัดทำรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพน้ำนม ทดสอบระบบการนำเข้าข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ และการจัดทำรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพน้ำนม
6. มีการใช้ประโยชน์ร่วมกับโปรแกรมการจัดการฟาร์มของเกษตรกร ทดสอบเชื่อมต่อข้อมูลจากการจัดการฟาร์มผ่านซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้
7. สัตวแพทย์มีการใช้ประโยชน์จากระบบการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนม สัตวแพทย์ทดสอบการวิเคราะห์คุณภาพน้ำนม เพื่อการพัฒนาหรือแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำนม
8. ประเมินผลการอำนวยความสะดวกและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ทดสอบผลการอำนวยความสะดวกและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน การลดเวลาการทำงาน ประสิทธิภาพการจัดทำรายงาน การใช้ประโยชน์ของรายงาน

ผลการวิจัย

การพัฒนาที่สำคัญของโครงการวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์สำหรับการใช้งานในศูนย์รวมน้ำนมดิบ องค์ประกอบของงานวิจัยมีสามส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลการวิเคราะห์ระบบ ขั้นตอนการทำงานของเจ้าหน้าที่ ส่วนที่เป็นสถาปัตยกรรมของระบบ และส่วนที่เป็นองค์ประกอบของระบบ ซึ่งประกอบด้วยสามส่วนเช่นกัน ได้แก่ ส่วนผู้ดูแลระบบ ส่วนผู้ใช้ระบบ ส่วนการคำนวณ

โครงสร้างการทำงานในระบบสารสนเทศศูนย์รับน้ำนมดิบ

ผลการออกไปสำรวจรวบรวมข้อมูลการทำงานการคำนวณค่าน้ำนมดิบของศูนย์รับน้ำนมดิบสหกรณ์โคกก่อพบว่ามีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วน คือ การบันทึกข้อมูลในฟาร์ม (ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้แอปพลิเคชัน Zyan Diary หรือ Smart D Farmer) ข้อมูลปริมาณน้ำนม ซึ่งได้จากการบันทึกน้ำหนักจากการส่งนมประจำวัน ณ ศูนย์รับน้ำนม และข้อมูลคุณภาพน้ำนม ณ ห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพน้ำนม โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญสองข้อ คือ

- 1) ข้อมูลส่วนที่สองและส่วนที่สามจะต้องสัมพันธ์และเชื่อมโยงกัน ทั้งในแง่ของเกษตรกรเจ้าของนม วันเวลาที่ส่งนม
- 2) การบันทึกคุณภาพน้ำนมจะต้องมีความยืดหยุ่นแต่แม่นยำ สามารถบันทึกคุณลักษณะทางเคมี ชีววิทยา โภชนาการ และสาธารณสุขได้ตามความต้องการที่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ณ เวลาหนึ่งๆ อาจมีความต้องการเปลี่ยนแปลง

รายละเอียดข้อมูลตามสถานการณ์ความจำเป็น

เมื่อผลการตรวจคุณภาพน้ำนมได้ผลเป็นที่น่าพอใจ น้ำนมจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป ส่วนข้อมูลปริมาณ และคุณภาพจะถูกนำมาคำนวณเพื่อคิดค่าน้ำนมให้กับเกษตรกรต่อไป Figure 1 แสดงให้เห็นภาพรวมการทำงานของระบบสารสนเทศศูนย์รับน้ำนมดิบทั้งระบบ

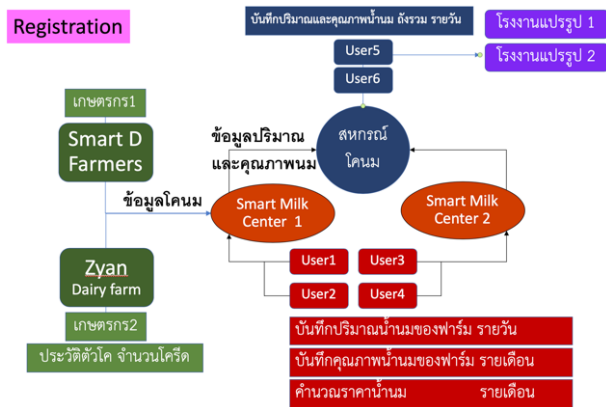


Figure 1 The overall process of milk collection process

ขั้นตอนการทำงานของเจ้าหน้าที่

จากการรวบรวมข้อมูลการทำงานในส่วนของการคำนวณเงินค่าน้ำนมให้แก่สมาชิกของสหกรณ์โคนมโคกก่อ อ.บรบือ จ.มหาสารคาม พบว่า มีขั้นตอนดังนี้

1. เจ้าหน้าที่ ณ ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบของสหกรณ์โคกก่อ จะเป็นผู้ตรวจสอบคุณภาพเบื้องต้นของนมสดของเกษตรกรแต่ละราย ประกอบด้วย ข้อมูล การตกตะกอนของแอลกอฮอล์ ตรวจการเปลี่ยนสีของเมธิลีนบลู ตรวจปริมาณโซมาติกเซลล์ในน้ำนมด้วยวิธี CMT
2. ข้อมูลที่ได้จะถูกกรอกเข้าไปในแบบฟอร์มกระดาษ และกรอกเข้าไปในไฟล์ Excel อีกครั้ง และเก็บรวบรวมไว้ ณ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ
3. เจ้าหน้าที่ของศูนย์รับซื้อ ซึ่งอาจเป็นองค์กรส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย หรืออาจเป็นหน่วยงานอื่น จะตรวจสอบคุณภาพน้ำนมดิบในรายละเอียด ซึ่งจะประกอบด้วย สารอาหารหลายชนิด แล้วกรอกข้อมูลลงในแบบฟอร์มเพื่อนำไปประมวลผลด้วยมือต่อไป

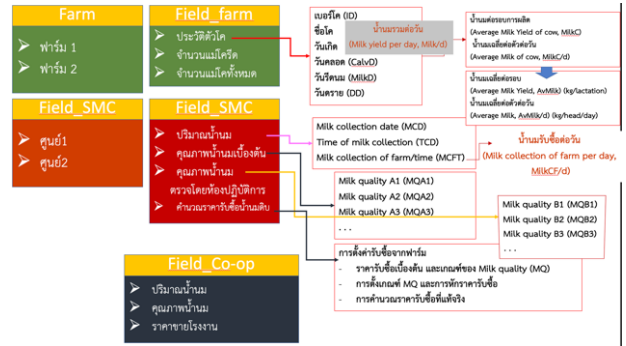


Figure 2 The operator's workflow

ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดด้านคุณภาพน้ำนม

ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดด้านคุณภาพน้ำนมจะประกอบด้วย การบันทึกข้อมูลสารอาหารหลายชนิด เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาลแลคโตส รวมถึงลักษณะทางเคมี เช่น ความเป็นกรดต่าง และผลการทดสอบด้านความปลอดภัย เช่น การปนเปื้อนของแบคทีเรียในน้ำนม การปนเปื้อนของแบคทีเรียโคลิฟอร์ม เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้เป็นข้อมูลที่ทุกศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบจะต้องให้ความสำคัญและต้องติดตามคุณภาพน้ำนมอย่างต่อเนื่อง หากพบการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติจะต้องดำเนินการแก้ไขให้คุณภาพน้ำนมอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำนมดิบอยู่เสมอ

หน่วยงานที่ทำหน้าที่ตรวจตัวอย่างน้ำนมทางห้องปฏิบัติการเป็นหน่วยงานกลางของรัฐ ได้แก่ ศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ ซึ่งตั้งอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ผลจากการตรวจสอบคุณภาพน้ำนมจะรายงานเป็นรายเดือนให้ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบทุกศูนย์ได้ทราบ ซึ่งบางศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบได้มีมาตรการการรับซื้อในราคาที่เพิ่มสูงขึ้นสำหรับฟาร์มที่ผลิตน้ำนมคุณภาพ และรับซื้อในราคาที่ต่ำลงหรืออาจยกเลิกการรับซื้อสำหรับน้ำนมที่มีคุณภาพต่ำกว่าเกณฑ์ ทั้งนี้บางศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบได้ให้ความสนใจตัวชี้วัดคุณภาพน้ำนมอื่นๆ ที่นอกเหนือการตรวจในห้องปฏิบัติการเป็นหน่วยงานกลางของรัฐ เช่น ผลการตรวจการปลอดโรคแท้งติดต่อ (Brucellosis disease) ผลการตรวจการปลอดโรควัวโรโค (Bovine Tuberculosis) และผลการตรวจโรคพาราทูเบอร์คิวโลซิส (Paratuberculosis) ซึ่งเป็นโรคติดต่อสู่คน (Zoonotic diseases) ที่สำคัญ รวมทั้งผลการตรวจปริมาณยูเรียในน้ำนม (Milk urea nitrogen) ผลการตรวจการปนเปื้อนของสารพิษอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin M1 contamination)

ดังนั้นระบบที่จะสร้างขึ้นนี้จะต้องรองรับกับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลและสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างของข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดด้านคุณภาพน้ำนมเป็นดัง Figure 3 โดยรายละเอียดที่แสดงด้วยสีแดงเป็นรายละเอียดที่ไม่นิยมตรวจตามปกติ จะเรียกตรวจเมื่อมีกรณีที่น่าสนใจเป็นพิเศษ

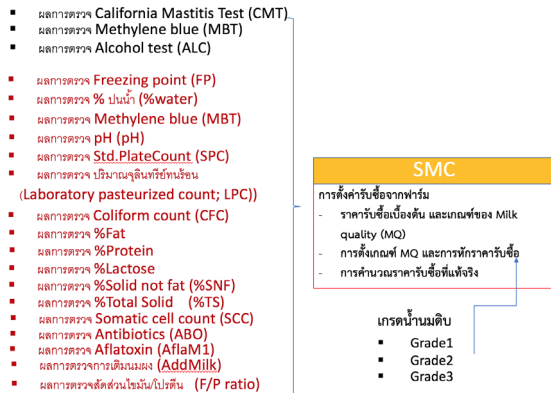


Figure 3 Indicators of milk quality

สถาปัตยกรรมของระบบสารสนเทศ

สถาปัตยกรรมของระบบสารสนเทศนับเป็นองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญยิ่ง เนื่องจาก เป็นส่วนที่จะทำให้การพัฒนา ระบบเป็นไปด้วยความรวดเร็ว แม่นยำ และถูกต้อง สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ โดยการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ทั้งระบบสามารถดำเนินการพร้อมกันไปทุกๆ ส่วน ลดข้อจำกัดอันเนื่องมาจากความเชื่อมโยงหรือ Dependency ระหว่างส่วนประกอบต่างๆ นักพัฒนาสามารถทดสอบส่วนของโปรแกรมที่ตนรับผิดชอบอยู่ได้โดยอิสระ สำคัญยิ่งไปกว่านั้น หากจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนเงื่อนไขการทำงานขององค์ประกอบใดๆ ในระบบทั้งในระหว่างการพัฒนาหรือแม้กระทั่งพัฒนาเสร็จแล้ว หรือจำเป็นต้องขยายระบบ (scale up) เพื่อรองรับความต้องการที่เพิ่มขึ้นก็สามารถทำได้โดยง่าย

View
<ul style="list-style-type: none"> - JSP: 38 files - Javascript: 9 files - JQuery: 1 file - Bootstrap: 12 files
Control
<ul style="list-style-type: none"> - Servlet: 38 classes - Auxiliary classes: 3 classes - Calculation classes: 1 classes
Model
<ul style="list-style-type: none"> - Java beans: 10 classes - DAO: 10 classes

Figure 4 Overall architecture of the system

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการตามหลักการ MVC ซึ่งแบ่งระบบซอฟต์แวร์ออกเป็น

1) Model เป็นส่วนที่ใช้คลาส(class)ในภาษาจาวาเป็นตัวแทนของระเบียบ(record) ของ table ในฐานข้อมูล โดยประกอบด้วยคลาสที่เรียกว่า Java Beans ซึ่งจะถูกกำหนดค่าตามระเบียบในฐานข้อมูลด้วยการใช้ method ที่เป็น setter และการส่งค่าข้อมูลจากjava bean ออกไปด้วย method ที่เป็น getter การเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งสี่รูปแบบ ได้แก่ การอ่าน หรือค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูล(คำสั่ง select) การเขียนข้อมูลใหม่ลงไปในฐานข้อมูล(คำสั่ง insert) การแก้ไขข้อมูลที่มีอยู่แล้วในฐานข้อมูล (คำสั่ง set) และการลบข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลทิ้งไป (คำสั่ง delete) จะเป็นคำสั่ง SQL (Structure Query Language) ที่เก็บไว้เป็นค่าคงที่ String ในคลาสที่ทำหน้าที่เป็นตัวเข้าถึงข้อมูล (Data Access Object: DAO) สำหรับการเข้าถึงข้อมูลจากฐานข้อมูลทั้งสี่แบบดังกล่าวข้างต้น ในระบบนี้มีการใช้คลาสที่เป็น Java beans และ DAO อย่างละ 10 คลาส

2) Control เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กำหนด Business Logic หรือตรรกะของระบบ โดยองค์ประกอบหลักของส่วนนี้ คือ Servlet ซึ่งเป็น Java classes ที่จะรับ request จาก Client แล้วเรียกใช้ Auxiliary classes ซึ่งหมายถึงคลาสสนับสนุนการทำงานในด้านต่างๆ เช่นการเปลี่ยนรูปแบบข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น และ Calculation classes ซึ่งหมายถึงคลาสที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการคำนวณต่างๆ เช่น สูตรการคำนวณค่านมให้เกษตรกร ในระบบนี้มีการใช้ Servlet 38 คลาส Auxiliary classes 3 คลาส และ Calculation classes 1 คลาส

3) View เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผลข้อมูลไปยังผู้ใช้ โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ Java Server Page (JSP) ซึ่งจะรับข้อมูลจากชั้น Control เพื่อมาแสดงผลใน Browser ส่วนประกอบอื่นๆ ในชั้นนี้รวมไปถึง โปรแกรมหรือฟังก์ชันที่เป็น Javascript และไลบรารีต่างๆ เช่น JQuery สำหรับการปรับปรุงข้อมูลบนหน้าเว็บซึ่งรวมถึงการติดต่อฐานข้อมูล Bootstrap สำหรับการจัดรูปแบบหน้าเว็บเป็นต้น ในระบบนี้มีการใช้ JSP 38 ไฟล์ Javascript 9 ไฟล์ JQuery 1 ไฟล์ Bootstrap 12 ไฟล์

ส่วนผู้จัดการระบบ

ส่วนของผู้จัดการระบบจะประกอบด้วยเมนูสำหรับการจัดการ เพิ่ม ลบ แก้ไข และเรียกดูข้อมูล Master สำหรับการอ้างอิงเพื่อทำ transaction ในการบันทึกข้อมูลอื่นๆ เกี่ยวกับปริมาณและคุณภาพน้ำนมของเจ้าหน้าที่ ข้อมูลที่ผู้จัดการ

ระบบดูแลประกอบด้วย

- 1) สหกรณ์ สำหรับจัดการสหกรณ์ที่อยู่ในระบบ โดยมีข้อมูลที่สำคัญ คือ ชื่อสหกรณ์ เบอร์โทรศัพท์ ที่อยู่ วันเริ่มใช้งาน
- 2) พนักงาน หมายถึงเจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูลปริมาณน้ำนม และเจ้าหน้าที่บันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำนม
- 3) สมาชิกฟาร์ม หมายถึง ฟาร์มที่อยู่ในระบบสหกรณ์ที่ส่งนมและจะถูกคิดเงินในระโดยทั่วไปจะเป็นสมาชิกที่อยู่ระบบ Smart D Farmers และระบบ Zyanwoa อยู่แล้ว
- 4) คุณสมบัติ หมายถึง ข้อมูลที่เป็นคุณสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมที่ต้องการตรวจสอบ (ดังแสดงใน Figure 4) ข้อมูลนี้จะถูกบันทึกลงในฟอร์มเพื่อการตรวจสอบคุณภาพและนำไปคำนวณค่าน้ำนมต่อไป
- 5) ห้องแลป หมายถึงห้องปฏิบัติการที่ตรวจและบันทึกคุณภาพน้ำนม ซึ่งอาจเป็นตั้งแต่การตรวจเบื้องต้น ณ ศูนย์รับน้ำนม ห้องปฏิบัติการของผู้รับซื้อ หรืออาจเป็นห้องปฏิบัติการของบุคคลที่สามก็ได้ โดยมีข้อมูลที่สำคัญ คือ ชื่อห้องปฏิบัติการ ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ วันเข้าใช้งานในระบบ

ข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปเชื่อมโยงกับรายละเอียดอื่นๆ เช่น รายการปริมาณน้ำนม และคุณภาพน้ำนม ซึ่งจะมีรายละเอียดตามที่ได้กล่าวไว้ การเพิ่มข้อมูลในส่วนผู้จัดการระบบ จะทำเมื่อเริ่มต้นการใช้ระบบ และสามารถเพิ่มเติมข้อมูลได้เมื่อมีความจำเป็น เช่น มีสมาชิกใหม่ มีรายการคุณภาพน้ำนมใหม่ เป็นต้น การแก้ไขก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน แต่ผู้จัดการระบบต้องตรวจสอบให้รอบคอบเพื่อไม่ให้เกิดความสับสน การลบข้อมูลจะทำได้ถ้าหากข้อมูลนั้นถูกอ้างอิงโดยรายการ

อื่นๆ ในฐานะข้อมูลอยู่ เช่น ไม่สามารถลบข้อมูลสมาชิกรายหนึ่งได้ ถ้าหากสมาชิกรายนั้นยังมีข้อมูลการส่งน้ำนม หรือผลการตรวจคุณภาพน้ำนมอยู่ในระบบ

ส่วนผู้ใช้งานระบบ

ข้อมูลที่สำคัญที่สุดในระบบนี้คือรายการคุณภาพน้ำนมซึ่งได้แก่ คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำนม อย่างไรก็ตาม การบันทึกแต่ละครั้งของห้องปฏิบัติการแต่ละครั้งอาจจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นระบบนี้จึงถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้สามารถเก็บรายละเอียดที่สำคัญเหล่านี้ได้อย่างครบถ้วน รวมทั้งมีความยืดหยุ่นที่สามารถรองรับความต้องการในการบันทึกข้อมูลด้านคุณภาพที่แตกต่างกันไป โดยผู้ใช้สามารถสร้างฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลสำหรับการตรวจคุณภาพที่ตนเองต้องการได้ตลอดเวลา รวมทั้งสามารถระบุได้ว่าฟอร์มที่สร้างขึ้นมานี้สามารถแชร์ให้ผู้ใช้งานอื่นๆ ได้ด้วย

ผู้ใช้งานมีเมนูให้ใช้รวม 6 รายการ คือ เมนูฟอร์ม เมนูคุณสมบัติ เมนูฟอร์มคุณสมบัติ เมนูบันทึกฟอร์ม เมนูคำนวณเมนูรายงาน โดยผู้ใช้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างฟอร์มด้วยการเลือกเมนูฟอร์ม จากนั้นใส่คุณสมบัติที่ต้องการเข้าไปในฟอร์มนั้นๆ ด้วยการเลือกเมนูคุณสมบัติ เสร็จแล้วก็บันทึกฟอร์มนั้นๆ ไว้เพื่อการบันทึกข้อมูลคุณภาพต่อไป ฟอร์มที่สร้างไว้แล้วจะยังสามารถแก้ไขฟอร์มได้ด้วย โดยสามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขคุณสมบัติเข้าไปในฟอร์มตามต้องการ การทำงานที่สำคัญที่สุดของผู้ใช้ คือ การบันทึกข้อมูลคุณภาพนม ผู้ใช้จะต้องระบุสหกรณ์ที่ต้องการ พร้อมทั้งระบุวัน เดือน ปี เข้าไปในฟอร์มที่สร้างไว้ก่อนหน้าแล้ว รายชื่อสมาชิกที่อยู่ในสหกรณ์จะปรากฏเข้ามาในฟอร์มที่เลือกไว้ จากนั้นก็จะ

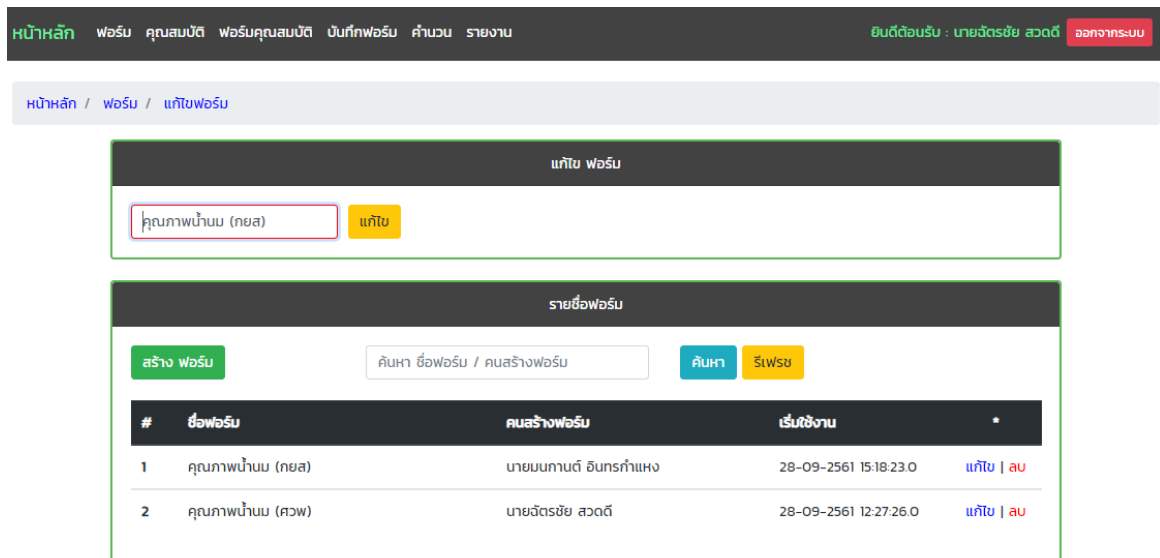


Figure 5 Screen snapshot of update and delete form

ฟาร์มสำโรง						
ชื่อฟาร์ม : คุณสมปดี			อาคารฟาร์ม : เกษมบัณฑิต 51กรรท่าแหง			
24/04/2562 เลือกวัน			Top		Down	
ฟาร์ม	เบอร์ฟาร์ม	(FP)	(%water)	(MBT)	(pH)	
เกษมบัณฑิต ประทีปประทีป	001	10	25	0.8	7.5	
เกษมบัณฑิต ศรีรัตน์	002	11	28	0.7	7.8	
เกษมบัณฑิต ศรีรัตน์	003	9	24	1.1	6	
เกษมบัณฑิต ฤทัยนิษฐ์	004	10	26	0.9	7	
เกษมบัณฑิต บุณย์	006	11	24	1.0	7.2	

Figure 6 Screen snapshot of milk quality data of farmers

ทำการกรอกข้อมูลด้านคุณภาพเข้าไป โดยสามารถเลือกกรอกคุณสมบัติเป็นข้อๆ ได้ตามต้องการในการกรอกแต่ละครั้ง และสามารถเรียกฟอร์มที่ยังกรอกคุณภาพไม่ครบทุกข้อมาเพื่อกรอกข้อมูลเพิ่มเติมจนกว่าจะครบได้ตลอดเวลา ฟอร์มที่ทำการกรอกข้อมูลเสร็จแล้วจะถูกนำไปคิดคำนวณค่าน้ำนมให้เกษตรกรต่อไป ตัวอย่างการใช้งานของผู้ใช้ดังปรากฏใน Figure 5 และ 6

ส่วนการคำนวณค่าน้ำนม

การคิดค่าน้ำนมเป็นการทำงานที่สำคัญและยุ่งยากที่สุดในระบบซอฟต์แวร์นี้ เนื่องจากแต่ละสหกรณ์จะมีสูตรในการคำนวณแตกต่างกันโดยขึ้นกับเงื่อนไขสำคัญสองข้อ คือ เกณฑ์ขั้นต่ำในการคำนวณค่าน้ำนมของคณะกรรมการซึ่งจะมีประกาศออกมากำหนดเงื่อนไขในการคิดราคาน้ำนมขั้นต่ำตามที่รัฐบาลเห็นสมควร และอีกเงื่อนไขหนึ่งคือ การกำหนดเกณฑ์ของสหกรณ์เอง(ซึ่งอาจถูกกำหนดโดยผู้รับซื้ออีกทอดหนึ่ง) และสำคัญยิ่งไปกว่านั้น ยังมีประเด็นที่ต้องนำมาพิจารณาอีกสองประเด็นคือ เกณฑ์เหล่านี้สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา และเกณฑ์เหล่านี้จะต้องผ่านการประกาศใช้อย่างเป็นทางการโดยผ่านการประชุมรับรองอย่างถูกต้องตามกฎหมาย ซึ่งหมายความว่า ระบบจะต้องมีการป้องกันอย่างรัดกุมในการที่นอกจากจะต้องคำนวณอย่างแม่นยำถูกต้องแล้วยังต้องเที่ยงตรง ยุติธรรม และป้องกันการทุจริตประพฤติมิชอบให้ได้อีกโสดหนึ่งด้วย

แนวทางที่ระบบนี้ใช้เพื่อการคำนวณค่าน้ำนมให้แก่เกษตรกร คือ การสร้างคลาสในภาษาจาวาสำหรับคำนวณค่าน้ำนมสำหรับแต่ละสูตรการคำนวณของแต่ละสหกรณ์ซึ่งจะอ้างอิงตามประกาศของรัฐบาลและประกาศของสหกรณ์นั้นๆ เอง โดยสูตรการคำนวณแต่ละสูตรจะถูกเขียนอยู่ในไฟล์ Excel พร้อมด้วยตัวอย่างข้อมูล ซึ่งสหกรณ์เจ้าของสูตรจะต้องตรวจสอบความถูกต้องสมบูรณ์ของสูตรการคำนวณนี้อย่างรอบคอบ

ก่อนส่งให้โปรแกรมเมอร์เขียนคลาสในภาษาจาวาเพื่อทำการคำนวณค่าน้ำนม เมื่อตรวจสอบการทำงานของคลาสดังกล่าวว่าถูกต้องตรงกันกับตัวอย่างการคำนวณในไฟล์ Excel ที่ส่งมาให้โดยสหกรณ์ดีแล้ว โปรแกรมเมอร์จะติดตั้งคลาสดังกล่าวสำหรับการคำนวณค่าน้ำนมของสหกรณ์นั้นๆ เข้าไปในระบบ

```

if (atbId == 29) {
    if (value >= 6.0) {
        cell = new PdfPCell(new Phrase(
            value + " (+0.3)",
            boldText1));
        total = formModel.getQcPriceId().
            getQcPrice() + 0.3;
        result.add(total);
    } else if (value >= 4.5) {
        cell = new PdfPCell(new Phrase(
            value + " (+0.2)",
            boldText1));
        total = formModel.getQcPriceId().
            getQcPrice() + 0.2;
        result.add(total);
    } else if (value >= 3.0) {
        cell = new PdfPCell(new Phrase(
            value + " (+0.0)",
            boldText1));
        total = formModel.getQcPriceId().
            getQcPrice() + 0.0;
        result.add(total);
    } else {
        cell = new PdfPCell(new Phrase(
            value + " (-0.2)",
            boldText1));
        total = formModel.getQcPriceId().
            getQcPrice() - 0.2;
        result.add(total);
    }
}

```

Figure 7 Calculation for milk's price

เมื่อเจ้าหน้าที่ทำการกรอกข้อมูลด้านคุณภาพน้ำนมในรอบการคิดเงิน (โดยมากจะมีสองรอบในแต่ละเดือน คือรอบที่หนึ่งตั้งแต่วันที่ 1-15 และรอบที่สอง

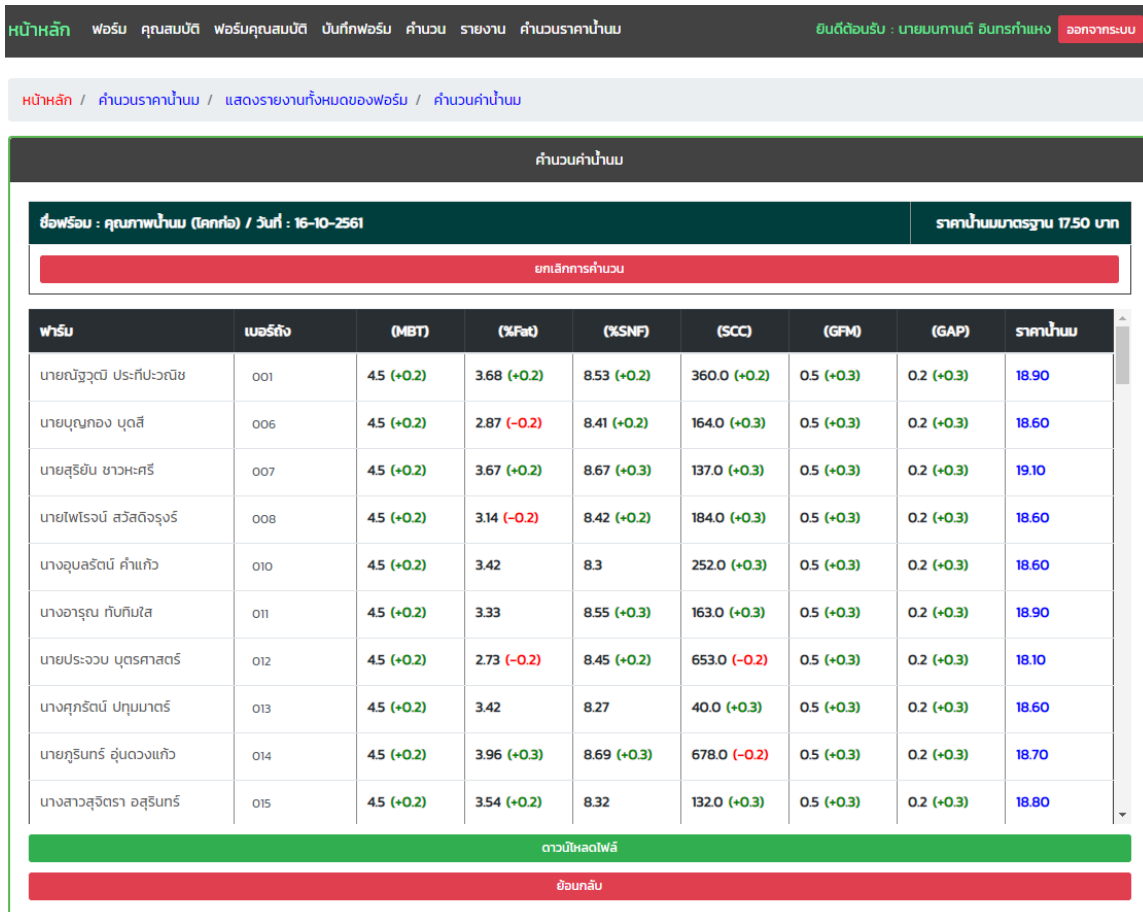


Figure 8 Screen snapshot of farmers' milk price details

วันที่ 16-วันสุดท้ายของแต่ละเดือน) ครบถ้วนดีแล้ว ผู้ใช้จะเลือกเมนูคำนวณค่าน้ำนม โดยจะต้องระบุสหกรณ์และ ระบุรอบการคิดเงินที่ต้องการ โปรแกรมจะเอาผลการตรวจคุณภาพของแต่ละสหกรณ์ในแต่ละวันทั้งเช้าและเย็นส่งเป็นพารามิเตอร์ไปยังคลาสที่คำนวณ ซึ่งจะมีการตรวจสอบค่าที่ส่งเข้ามากับเงื่อนไขที่ระบุไว้ในคลาสนั้น ซึ่งจะทำการบวกหรือลบเงินจากค่ากลางที่ตั้งเอาไว้เป็นสัดส่วนต่อกิโลกรัม แล้วคูณด้วยปริมาณน้ำนมในรอบนั้นๆ

คลาสที่ทำหน้าที่ในการคำนวณ คือ คลาส PDF44000 โดยมีวิธีในการคำนวณโดยพิจารณาตามเกณฑ์คุณสมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) ชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (hrs.) ของสารละลายเมธิลีนบลู โดยถ้าค่าของ ชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (hrs.) มากกว่า 6.0 หรือเท่ากับ 6.0 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (hrs.) มากกว่า 4.5 หรือ เท่ากับ 4.5 บวกเงิน 0.2 บาท/กก.

ถ้าค่าของ ชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (hrs.) มากกว่า 3.0 หรือเท่ากับ 3.0 บวกเงิน 0.0 บาท/กก. ถ้าค่าของชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (hrs.) น้อยกว่า 3.0 หักเงิน 0.2 บาท/กก.

2) ร้อยละของไขมันทั้งหมดในน้ำนม โดยถ้าค่าของ ร้อยละของไขมันทั้งหมดในน้ำนม มากกว่า 3.7 หรือ เท่ากับ 3.7 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของไขมันทั้งหมดในน้ำนม มากกว่า 3.5 หรือ เท่ากับ 3.5 บวกเงิน 0.2 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของไขมันทั้งหมดในน้ำนม มากกว่า 3.3 หรือ เท่ากับ 3.3 บวกเงิน 0.0 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของไขมันทั้งหมดในน้ำนม น้อยกว่า 3.3 หักเงิน 0.2 บาท/กก.

3) ร้อยละของ ของแข็งทั้งหมดในน้ำนม ไม่รวม %Fat โดยถ้าค่าของ ร้อยละของ ของแข็งทั้งหมดในน้ำนม ไม่รวม %Fat มากกว่า 8.55 หรือ เท่ากับ 8.55 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของ ของแข็งทั้งหมดในน้ำนม ไม่รวม %Fat มากกว่า 8.4 หรือ เท่ากับ 8.4 บวกเงิน 0.2 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของ ของแข็งทั้งหมดในน้ำนม ไม่รวม %Fat มากกว่า 8.2 หรือ เท่ากับ 8.2 บวกเงิน 0.0 บาท/กก. ถ้าค่าของ ร้อยละของ ของแข็งทั้งหมดในน้ำนม ไม่รวม %Fat น้อยกว่า 8.2 หักเงิน 0.2 บาท/กก.

4) ปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตร (x1,000 Cells/ml.) โดยถ้าค่าของ ปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตร น้อยกว่า 300 หรือ เท่ากับ 300 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตร น้อยกว่า 500 หรือ เท่ากับ 500 บวกเงิน 0.2 บาท/กก. ถ้าค่า

ของ ปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตรน้อยกว่า 600 หรือ เท่ากับ 600 บวกเงิน 0.0 บาท/กก. ถ้าค่าของปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตรน้อยกว่า 800 หรือ เท่ากับ 800 หักเงิน 0.2 บาท/กก. ถ้าค่าของปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตรน้อยกว่า 1000 หรือ เท่ากับ 1000 หักเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ปริมาณเซลล์ต่อมิลลิลิตรมากกว่า 1000 ขึ้นไป หักเงิน 0.5 บาท/กก.

5) ระดับมาตรฐานฟาร์มปลอดโรค ถ้าค่าของ ระดับมาตรฐานฟาร์มปลอดโรค มากกว่า 0.5 หรือ เท่ากับ 0.5 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ระดับมาตรฐานฟาร์มปลอดโรค น้อยกว่า 0.5 บวกเงิน 0.0 บาท/กก.

6) ระดับมาตรฐานฟาร์ม ถ้าค่าของ ระดับมาตรฐานฟาร์ม มากกว่า 0.5 หรือ เท่ากับ 0.5 บวกเงิน 0.3 บาท/กก. ถ้าค่าของ ระดับมาตรฐานฟาร์ม น้อยกว่า 0.5 บวกเงิน 0.3 บาท/กก.

ตัวอย่างการคำนวณเงินจากชั่วโมงในการเปลี่ยนสี (atbld == 29) แสดงใน Figure 7 ผลการคำนวณค่าน้ำมันแสดงใน Figure 8

ผลการทดสอบระบบการบันทึกปริมาณและคุณภาพ น้่านมดิบ

เพื่อวัดประสิทธิภาพของระบบที่สร้างขึ้น คณะผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจำนวนความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลก่อนการนำระบบนี้ไปใช้ในระหว่างเดือนมกราคม 2562 ถึงเดือนมีนาคม 2562 เปรียบเทียบกับจำนวนความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลและเวลาที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลหลังการใช้ระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้น ข้อมูลจำนวนความผิดพลาดก่อนการใช้ระบบนับจากการแก้ไขเมื่อมีการทักท้วงจากเกษตรกร สาเหตุส่วนใหญ่ความผิดพลาดเกิดจากความล้าของสายตาของผู้ปฏิบัติงานเนื่องจากต้องจ้องดูตารางในไฟล์ Excel ที่มีแต่ตัวเลขคล้าย ๆ กันเป็นเวลานาน ตรงกันข้ามกับความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลหลังการใช้ระบบที่เกิดจากความรีบร้อน และเวลาในการบันทึกข้อมูลหลังการใช้ระบบนับจากการแก้ไขข้อมูลในระบบภายหลังเกิดการทักท้วงของเกษตรกร ปรากฏผลดัง Table 1

Table 1 System efficiency before and after using the system

System Usage	Time	Number of Errors	Working Time (Minutes)
Before using system	Jan B.E. 2562	10	65
	Feb B.E. 2562	12	71
	Mar B.E. 2562	18	69
Average		13.33	68.33
After using system	Apr B.E. 2562	1	5
	May B.E. 2562	2	4
	Jun B.E. 2562	1	5
Average		1.33	4.67
Average Decrease		12.00	63.67
Percentage Decrease		90.00	93.17

จะเห็นได้ว่าระบบที่ได้สร้างขึ้นนี้ช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญ กล่าวคือ ความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลได้ถึงร้อยละ 90 และลดเวลาในการบันทึกข้อมูลได้ร้อยละ 93.17

ผลการพัฒนาระบบนำเข้าข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ

โดยทั่วไปแล้วห้องปฏิบัติการตรวจสอบคุณภาพน้่านมสมัยใหม่มักมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องวัดคุณภาพน้่านมและแสดงผลการวัดคุณภาพไปยังคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นโดยอัตโนมัติอย่างไรก็ตามเครื่องวัดดังกล่าวนี้มีราคาประมาณ 10 ล้านบาทเป็นอย่างน้อยซึ่งเป็นจำนวนเงินที่สูงเกินกว่าที่สหกรณ์โคนมโคกก่อจะจัดซื้อมาใช้ได้ ดังนั้นการวิจัยของโครงการนี้จึงได้เพิ่มระบบสำหรับนำเข้าข้อมูลด้านคุณภาพจากไฟล์ Excel จากห้องปฏิบัติการ

Figure 9 แสดงการทำงานในการอัปเดตข้อมูลจากไฟล์ Excel เข้าสู่ระบบ โดยช่องว่างสีแดงเป็นช่องที่ยังไม่ได้อัปเดตข้อมูลจึงว่างเปล่า เมื่ออัปเดตข้อมูลแล้วจะปรากฏตัวเลขคุณภาพน้ำนมขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีเขียว โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติด้านต่างๆของน้ำนมที่ห้องปฏิบัติการตรวจสอบจะตรงกับที่ศูนย์รับน้ำนมต้องการ ลำดับคุณสมบัติด้านต่างๆเหล่านี้ที่ถูกบันทึกในไฟล์ Excel จะตรงกันกับที่ระบุไว้ในโปรแกรมซึ่งสามารถสร้างเป็นแบบฟอร์มสำหรับเก็บไว้ในฐานข้อมูล ดังนั้นเมื่อจะอัปเดตข้อมูลที่ต้องการจึงเพียงแต่ระบุฟอร์มให้ถูกต้องเท่านั้น

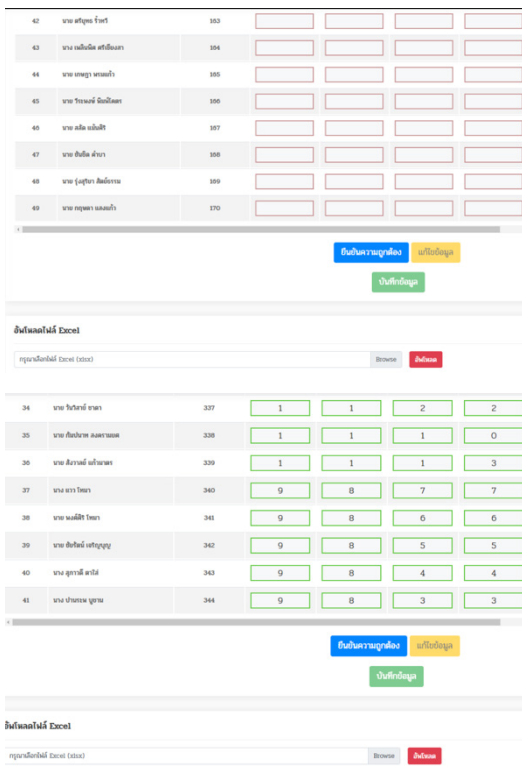


Figure 9 Screen snapshot of input system

การใช้ประโยชน์ร่วมกันกับโปรแกรมจัดการฟาร์ม Zyan Dairy Farm ของเกษตรกร

ในโครงการวิจัยก่อนหน้านี้ คณะผู้วิจัยได้เริ่มพัฒนาระบบ Zyan Dairy Farm สำหรับเกษตรกรเพื่อบันทึกข้อมูลประวัติโค และการจัดการฟาร์มต่างๆ เช่น การรักษาสัตว์ป่วย การให้ยา ฯลฯ ระบบที่สร้างขึ้นมาในการวิจัยนี้ได้เชื่อมโยงกับโปรแกรม Zyan Dairy Farm โดยส่งข้อมูลการบันทึกปริมาณน้ำนมในแต่ละวันทั้งรอบเช้าและเย็นไปยังโทรศัพท์ของเกษตรกร ดังแสดงใน Figure 10



Figure 10 Screen snapshot of intercooperation with Zyan Dairy Farm system

การใช้ประโยชน์ของสัตวแพทย์

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร : การปฏิบัติทางการเกษตรที่ดีสำหรับฟาร์มโคนม (มกษ. 6402-2552) ได้กำหนดให้ฟาร์มโคนมต้องเลี้ยงโคนมให้มีสุขภาพดีผลิตน้ำนมโคที่ปลอดภัยและเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคหรือการนำไปแปรรูป พร้อมทั้งไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยต้องมีสัตวแพทย์ที่มีใบอนุญาตเป็นผู้ควบคุมฟาร์มโคนมทำหน้าที่กำกับดูแลด้านสุขภาพโคนม สัตวแพทย์ผู้ควบคุมฟาร์มโคนมจึงต้องให้ความสำคัญต่อคุณภาพน้ำนมที่รายงานจากศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ประจำภูมิภาค ซึ่งมีการรายงานทุกเดือน

แอปพลิเคชันสำหรับบันทึกข้อมูลคุณภาพน้ำนมที่พัฒนาขึ้นนี้จะทำให้สัตวแพทย์นำไปใช้เพื่อวางแผนจัดการฟาร์มและสุขภาพโคให้ส่งผลที่ดีต่อคุณภาพน้ำนมได้มากขึ้น ตัวอย่าง กรณีผลการตรวจของแข็งในน้ำนม (TS) และค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนม (%FAT) มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ ซึ่งเกิดจากปัจจัยรวมทั้งสุขภาพโค ระยะการรีดนม และการให้อาหารโค สัตวแพทย์จะต้องปรึกษาร่วมกับนักสัตวศาสตร์เพื่อสร้างแนวทางปรับปรุงให้มีไขมันในน้ำนมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แอปพลิเคชันยังทำให้สัตวแพทย์ได้ติดตามผลการตรวจโรคติดต่อ

ชนิดต่างๆ ซึ่งทำให้สามารถประเมินภาวะสุขภาพของฝูงโคในฟาร์มได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้สัตวแพทย์ยังได้ทำหน้าที่ทางด้านสาธารณสุขในการผลิตน้ำนมที่ปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค จากการติดตามการปนเปื้อนของแบคทีเรียในฟาร์ม การปนเปื้อนของสารพิษชนิดต่างๆ ในน้ำนม จะทำให้สัตวแพทย์ทำหน้าที่ควบคุมและกำจัดปัจจัยเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้



Figure 11 Real world deployment at Khok-kho cooperative, Mahasarakham

การประเมินผลการอำนวยความสะดวกและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้ได้ถูกนำไปใช้งานจริง ณ ศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบของสหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จำกัด จังหวัดมหาสารคาม โดยนำไปใช้บันทึกผลการตรวจคุณภาพน้ำนมจากห้องปฏิบัติการต่างๆ ได้แก่ ห้องปฏิบัติการของศูนย์รวบรวมน้ำนมดิบ ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยและพัฒนาการสัตวแพทย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน จังหวัดขอนแก่น และห้องปฏิบัติการของบริษัทเอกชนผู้รับซื้อน้ำนมเพื่อการแปรรูป โดยแต่ละห้องปฏิบัติการจะส่งผลการตรวจคุณภาพน้ำนม เช่น ผลการตรวจเมธิลินบลู ผลการตรวจการคงตัวของโปรตีนด้วยแอลกอฮอล์ ผลการตรวจนับจำนวนโซมาติกเซลล์ ผลการตรวจค่าของแข็งในน้ำนม โปรตีนและไขมันในน้ำนม ในรูปแบบ Excel ให้แก่สหกรณ์ เมื่อสหกรณ์นำผลการตรวจน้ำนมทั้งหมดเข้าสู่ระบบที่พัฒนาขึ้น สหกรณ์จะเลือกนำผลการตรวจบางรายการเพื่อนำมาคำนวณค่าน้ำนมตามเกณฑ์คุณภาพ ร่วมกับผลการประเมินอื่น เช่น ผลการประเมินตามเกณฑ์ฟาร์มมาตรฐาน ผลการประเมินตามเกณฑ์ฟาร์ม

ปลอดภัย จากนั้นกำหนดค่าราคาตามมาตรฐาน ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะแสดงผลค่าน้ำนมดิบของเกษตรกรสมาชิกทุกราย ทำให้เจ้าหน้าที่ของสหกรณ์ฯ มีข้อมูลที่ถูกต้องและทำงานได้สะดวก โดยที่ระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถลดความผิดพลาดและเวลาการปฏิบัติงานได้ถึง 90% และผู้ปฏิบัติงานที่สหกรณ์ซึ่งมีเพียง 3 คนต่างมีความพึงพอใจที่สุดที่ได้ใช้ระบบนี้ อย่างไรก็ตาม มีกลุ่มผู้ใช้อีกสองกลุ่มที่ได้รับผลกระทบจากระบบสารสนเทศที่สร้างขึ้นนี้ คือ สัตวแพทย์และเกษตรกร โดยที่สัตวแพทย์เป็นผู้มีส่วนสำคัญในการนำข้อมูลที่ได้จากระบบนี้ไปใช้ผ่านแอปพลิเคชัน Zayan Vet เพื่อการรักษาสัตว์ป่วยและพัฒนาคุณภาพน้ำนม ผลการประเมินความพึงพอใจของสัตวแพทย์เป็นดัง Table 2

Table 2 Veterinary satisfactory survey's result

User	Question	Average Satisfactory (5 levels)
Number of Veterinary (20)	Easy to Learn	4.60
	Easy to Use	4.65
	Easy to Install	4.75
	Usage Instructions	4.55
	Convenience of Usage	4.80
	Preparation before Work	4.75
	Decrease Travel Time	4.85
	Decrease Work Time	4.70
	Increase Work Efficiency	4.80
	Recommend to Others	4.70
Average Satisfactory		4.72

โดยที่เกษตรกรเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากการใช้ระบบนี้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่สหกรณ์ โดยได้รับข้อมูลผ่านระบบ Zayan Dairy Farm ผลการประเมินความพึงพอใจปรากฏดัง Table 3

Table 3 Farmer satisfactory survey's result

ผู้ใช้	คำถาม	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ 5 ระดับ
เกษตรกร (30 คน)	Easy to Learn	4.60
	Easy to Use	4.57
	Easy to Install	4.73
	Usage Instructions	4.63
	Convenience of Usage	4.37
	Expense Forecast	4.73
	Fairness	4.83
	Decrease Work Time	4.60
	Increase Milk Quality	4.47
	Recommend to Others	4.63
Average Satisfactory		4.62

สรุป

โครงการนี้ได้สร้างนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีสารสนเทศคือ ซอฟต์แวร์สำหรับการจัดการศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบสามารถลดความผิดพลาดในการทำงานได้ถึงร้อยละ 90 ลดเวลาในการทำงานได้ถึงร้อยละ 93.17 เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจที่สุด มีศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบอย่างน้อย 1 แห่งได้ใช้ประโยชน์ คือ สหกรณ์โคนมโคกก่อ อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เกิดความสำเร็จในการพัฒนามาตรฐานศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบและการควบคุมคุณภาพนํ้านมดิบ เสริมสร้างขีดความสามารถในการผลิตนํ้านมที่มีคุณภาพแก่อุตสาหกรรมนม นิสิตสัตวแพทย์ที่เข้าร่วมโครงการมีทักษะในการพัฒนาคุณภาพนํ้านมจากการนำข้อมูลสารสนเทศของศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบไปใช้ประโยชน์ มีทักษะในการทำงานเพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมนม สัตวแพทย์มีความพึงพอใจระดับ 4.72 และเกษตรกรมีความพึงพอใจระดับ 4.62

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา เครือข่ายบริหารการวิจัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนบน สหกรณ์ผู้เลี้ยงโคนมโคกก่อ จำกัด และ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยและพัฒนาภาครัฐร่วมเอกชนในเชิงพาณิชย์ ประจำปีงบประมาณ 2561 ขอขอบคุณหน่วยปฏิบัติการวิจัยเฉพาะทางด้านการปนเปื้อนในอาหาร (Food Contaminants Reserch Unit, FCRU) คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และหน่วยปฏิบัติ

การวิจัยเฉพาะทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Multiagent, Intelligent and Simulation Laboratory: MISL) คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่อำนวยความสะดวกทุกด้านจนการพัฒนาาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีและเป็นประโยชน์ต่อชุมชนผู้เลี้ยงโคนม

เอกสารอ้างอิง

1. ศุภรัตน์ บุญยชาติ, สุวิชัย โรจนเสถียร, ประสิทธิ์ ธรวิจิตรกุล, กิตติศักดิ์ อัจฉริยะขจร. ลักษณะของศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบในเขตภาคเหนือ. เชียงใหม่สัตวแพทยสาร. 2546;1(1):47-52.
2. วินัย พุทธิกุล, สุธีรัตน์ เอี่ยมละมัย, สุวัจน์ หงส์ยืนตรชัย, บุญเต็ม ตีระวัฒน์ประเสริฐ. การพัฒนามาตรฐาน GMP ของศูนย์รวบรวมนํ้านมดิบ. วารสารเศรษฐศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.2549;13(2):45-59.
3. สาทิต ปิติวรา, บรรพต วิรุณราช. การประยุกต์เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการจัดการสมัยใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนํ้านมดิบ: กรณีศึกษา สหกรณ์โคนมวังน้ำเย็น จำกัด จังหวัดสระแก้ว. วารสารวิทยาลัยพาณิชยศาสตร์บูรพาปริทัศน์. 2555;7(2):13-25.
4. สุชาติ เกตุดี. การออกแบบและพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการศูนย์รวบรวมนํ้านม. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548. หน้า 126.
5. Majeed, A., Rauf. I. MVC Architecture: A Detailed Insight to the Modern Web Applications Development. Peer Review Journal of Solar and Photoenergy Systems. 2018;1(1):1-7.

การวิเคราะห์สารสนเทศเพื่อการพัฒนากระบวนสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Information Analysis for TCAS Support System Development of Mahasarakham University

อนันต์ ปิณะเต¹

Anan Pinate¹

Received: 6 June 2019 ; Revised: 1 July 2019 ; Accepted: 15 August 2019

บทคัดย่อ

นโยบายการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (TCAS) เป็นนโยบายปฏิรูปการศึกษาโดยมีหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ นักเรียนควรอยู่ในห้องเรียนจนจบมัธยมศึกษาปีที่ 6, นักเรียนแต่ละคนมีเพียง 1 สิทธิในการตอบรับในสาขาวิชาที่เลือกเพื่อความเสมอภาค และสถาบันอุดมศึกษาในเครือข่ายที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) ทุกแห่งต้องเข้าร่วมระบบเคลียร์ริงเฮาส์เพื่อบริหาร 1 สิทธิของนักเรียน จากนโยบายมหาวิทยาลัยมหาสารคามเป็นมหาวิทยาลัยของรัฐที่อยู่ในเครือข่ายที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย ซึ่งต้องดำเนินการตามนโยบายของการคัดเลือกนิสิตในระดับปริญญาตรีระบบใหม่ จากปัญหาการคัดเลือกกระบวนใหม่พบว่าจำนวนการยืนยันสิทธิ์ (Clearing house) เข้าศึกษามีจำนวนน้อยกว่าแผนการรับเข้าศึกษา เมื่อเทียบกับจำนวนนักเรียนที่สมัครและสนใจเข้าศึกษาที่มีจำนวนมาก จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการนำเทคนิคเหมืองข้อมูล (Data mining) เพื่อวิเคราะห์สารสนเทศที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนักเรียนที่มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์เข้าศึกษานำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกนิสิตใหม่ในระบบ TCAS เพื่อช่วยให้คณะกรรมการพิจารณาผลคัดเลือกสามารถตัดสินใจจำนวนที่จะรับเข้ายืนยันสิทธิ์เพื่อให้จำนวนที่จะรับเข้าศึกษาใกล้เคียงกับแผนการรับเข้าศึกษามากที่สุด จากการวิจัยพบว่า วิธีต้นไม่ตัดสินใจ และวิธีการค้นหาความสัมพันธ์ จากข้อมูลทดลองกลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีค่าความถูกต้องร้อยละ 82.85 สร้างเป็นกฎความสัมพันธ์ได้ 89 กฎ, กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพมีค่าความถูกต้องร้อยละ 80.88 สร้างเป็นกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎ และกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีค่าความถูกต้องร้อยละ 78.85 สร้างเป็นกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎ โดยสามารถนำผลการทดลองมาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกนิสิตใหม่ในระบบ TCAS ได้

คำสำคัญ : เหมืองข้อมูล ระบบเคลียร์ริงเฮาส์ เหมืองความสัมพันธ์ ต้นไม่ตัดสินใจ

Abstract

Thai University Central Admission System (TCAS) is an educational reform policy embracing three main principles; including, 1) students are required to attend classroom until the completion of the upper secondary education (Matthayom 6), 2) each student possessed one right on the courses selected on equitably basis, and lastly, 2) each student possessed one right on the courses selected on equitably basis, and lastly, 3) all higher education institutions subject to the Council of University Presidents of Thailand (CUPT) 's Networks are required to participate in the clearinghouse to administrate student's one right to study. Based on the Mahasarakham University policy, the Mahasarakham University is a public university under the CUPT network that follows Thai University Central Admission System (TCAS). The issues of Thai University Central Admission System (TCAS) showed that the number of right confirmations (Clearing

¹ นักวิชาการคอมพิวเตอร์ชำนาญการ กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Computer Technical Officer Professional Level, Division of Academic Affair, Mahasarakham University, Kantharawichai District, MahaSarakhm 44150 Thailand.

House) was smaller than the admission plans, compared to the large number of applicants interested in continuing study. For this reason, the researcher has an idea of using Data Mining Techniques to identify patterns that have arisen out of student data that have the confirmation right to study, so that the model to be acquired will further be developed into a support system for TCAS. in order that the TCAS Committee can quantify the confirmations and make sure that the number of admissions are mostly consistent with the admission plan. The results indicated that decision trees and association rules on the experimental data was accurate by 82.85 percent on Humanities and Social Sciences, formulating into 89 association rules, and it was accurate by 80.88 percent on Health Science, formulating into 85 association rules, and it was accurate by 78.85 percent on Technology Science, formulating into 85 association rules. The results could be efficient to the development of the TCAS support system.

Keywords : Data Mining Clearing House Association Mining Decision Tree

บทนำ

กระทรวงศึกษาธิการมีนโยบายที่จะปรับปรุงระบบการรับบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาเพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายปฏิรูปการศึกษาของประเทศโดยมีหลักการสำคัญ 3 ประการ คือ 1) นักเรียนควรอยู่ในห้องเรียนจนจบมัธยมศึกษาปีที่ 6 (ม.6) 2) นักเรียนแต่ละคนมีเพียง 1 สิทธิในการตอบรับในสาขาวิชาที่เลือกเพื่อความเสมอภาค 3) สถาบันอุดมศึกษาในเครือข่ายที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) ทุกแห่งจะเข้าระบบเคลียร์ริงเฮาส์เพื่อบริหาร 1 สิทธิของนักเรียน การรับสมัครของนักเรียนการรับสมัครบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (Thai university Central Admission System : TCAS)¹

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นมหาวิทยาลัยของรัฐที่อยู่ในเครือข่ายที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) ต้องดำเนินการตามนโยบายการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (TCAS) โดยมีกองบริการการศึกษา เป็นหน่วยงานหลักในการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี และการประชาสัมพันธ์ข้อมูลการสมัคร เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณสมบัติตรงตามที่สาขาวิชากำหนด²

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายที่สำคัญโดยการนำเทคนิคการจำแนกข้อมูล (Data classification) และการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) มาวิเคราะห์พฤติกรรมการยืนยันสิทธิ์เคลียร์ริงเฮาส์ (Clearing house) เข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (TCAS) เพื่อเป็นการหารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูล และนำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบใหม่ (TCAS) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

จากข้อมูลการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี (รอบที่ 2 การรับแบบโควตาที่มีการสอบข้อเขียนหรือข้อสอบปฏิบัติ) ประจำปีการศึกษา 2561 ซึ่งเป็นปีการ

ศึกษาแรกที่มีการใช้ระบบการคัดเลือกแบบใหม่ (TCAS) ซึ่งมหาวิทยาลัยมีจำนวนแผนการรับเข้าศึกษา 6,327 คน, มีจำนวนผู้สมัคร 20,651 คน, มีจำนวนผู้ผ่านการคัดเลือกที่มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์เคลียร์ริงเฮาส์ 8,291 คน และจำนวนการยืนยันสิทธิ์ในการเข้าศึกษาต่อในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม 4,802 คน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 57.91 (%) ต่อจำนวนผู้มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์ Clearing house จากจำนวนการยืนยันสิทธิ์ซึ่งมีจำนวนที่น้อยเมื่อเทียบกับแผนการรับเข้าศึกษาส่งผลกระทบต่อแผนการรับผลิตใหม่ หากย้อนมองถึงจำนวนผู้สมัครซึ่งเป็นผู้ที่สนใจจะเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยซึ่งมีจำนวนมาก (จากข้อมูล 20,651 คน) แต่ปัญหาคือมหาวิทยาลัยไม่สามารถรับเข้าศึกษาได้ทั้งหมดเนื่องจากมีจำนวนมากเกินแผนการรับเข้าศึกษา ดังนั้นมหาวิทยาลัยไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าจะมีผู้ยืนยันสิทธิ์มากน้อยเท่าใด

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้มีแนวคิดในการนำเทคนิคเหมืองข้อมูล (Data mining) การจำแนกข้อมูล (Data classification) และการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) เพื่อวิเคราะห์หารูปแบบที่เกิดขึ้นจากข้อมูลการยืนยันสิทธิ์เคลียร์ริงเฮาส์ (Clearing house) สามารถหารูปแบบ (Model) ที่ได้มาพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อให้สามารถคาดการณ์ หรือพยากรณ์จำนวนผู้ยืนยันสิทธิ์เคลียร์ริงเฮาส์ก่อนล่วงหน้าได้ ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนจำนวนผู้ผ่านการคัดเลือกหรือจำนวนที่มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์เคลียร์ริงเฮาส์ ซึ่งจะคาดคะเนจำนวนผู้ยืนยันสิทธิ์เข้าศึกษาให้ใกล้เคียงกับแผนการรับจริงมากที่สุด

วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์สารสนเทศที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนักเรียนผู้มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์ Clearing house ในระบบ TCAS โดยวิธีการเทคนิคเหมืองข้อมูล (Data mining) และเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS จากสารสนเทศที่เกิดขึ้น

ระบบ TCAS

ระบบ TCAS คือ การรับสมัครบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (Thai university Central Admission System) กระบวนการการรับในรอบที่ 1 และรอบที่ 2³ มีดัง Figure 1



Figure 1 Step TCAS³

จากขั้นตอนการรับสมัครคัดเลือกในรอบที่ 1 และรอบที่ 2 ในขั้นตอนที่ 4 มหาวิทยาลัยส่งรายชื่อผู้ผ่านการคัดเลือกตามจำนวนที่ประกาศรับมาให้ ทปอ. ในขั้นตอนนี้มหาวิทยาลัยต้องดำเนินการพิจารณาผู้ผ่านการคัดเลือก จากปัญหาในข้างต้นคือ จำนวนการยืนยันสิทธิ์ซึ่งมีจำนวนที่น้อยเมื่อเทียบกับแผนการรับเข้าศึกษาส่งผลกระทบกับแผนการรับนิสิต จึงได้มีงานวิจัยนี้เพื่อแก้ปัญหา หลังจากคณะกรรมการได้พิจารณาผลจำนวน และได้ใช้ระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS แล้ว มหาวิทยาลัยส่งรายชื่อผู้ผ่านการคัดเลือกให้กับ ทปอ. เพื่อให้ผู้ผ่านการคัดเลือกเข้าระบบบริหารจัดการสิทธิ์ในระบบ (ขั้นตอนที่ 5) โดยการยืนยันสิทธิ์ 1 สาขาวิชา หรือไม่ยืนยันสิทธิ์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทดลองค้นหาสารสนเทศที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนักเรียนผู้มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์ Clearing house ในระบบ TCAS เพื่อนำสารสนเทศที่ได้มาพัฒนาระบบการตัดสินใจในการวางแผนการคัดเลือกนิสิตใหม่ในระบบ TCAS ประกอบด้วย การทำเหมืองข้อมูล

การจำแนกข้อมูล และการค้นหาความสัมพันธ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การทำเหมืองข้อมูล

การทำเหมืองข้อมูล (Data Mining)^{4,5} คือการนำเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) วิธีการทางสถิติ (Statistical Methods) วิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หรือวิธีอื่นๆ⁶ โดยจุดประสงค์ของการทำเหมืองข้อมูลคือการวิเคราะห์หาแนวโน้ม หาความสัมพันธ์ หรือการหารูปแบบของข้อมูล ซึ่งเป็นความรู้ที่ถูกซ่อนอยู่ภายใต้ข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถนำสารสนเทศที่ได้มาใช้ในการวางแผนการตัดสินใจ หรือการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ เหมืองข้อมูลถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่ช่วยเพิ่มคุณค่าให้กับข้อมูลที่มีอยู่ และจะสามารถแก้ปัญหาได้บางปัญหาเท่านั้นตามเทคนิควิธีการที่เลือกใช้ได้เท่านั้น ประโยชน์หลักของการทำเหมืองข้อมูล คือการค้นหาความรู้ที่ซ่อนอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อให้ได้ซึ่งความรู้มาช่วยในการตัดสินใจ

การจำแนกข้อมูล

การจำแนกข้อมูล (Data Classification)⁷ คือการจำแนกประเภทโดยระบุหมวดหมู่ให้กับสิ่งของ เช่น คน สัตว์ หรือสิ่งใดๆ การจำแนกข้อมูลนั้นเป็นการทำเหมืองข้อมูลประเภทที่ต้องมีการเรียนรู้ (Supervised Learning) ซึ่งต้องมีชุดข้อมูลเรียนรู้ หรือข้อมูลตัวอย่าง (Training set) การจำแนกข้อมูลซึ่งจะจำแนกเป็นหมวดหมู่โดยดูจากลักษณะ (Attributes) ของข้อมูลเรียนรู้ นิยามการเรียนรู้คุณลักษณะจากชุดข้อมูล Attribute X และทำการสร้างโมเดลจากคลาสที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า Attribute Y ซึ่งโมเดลที่ได้จะสามารถนำไปจำแนกชุดข้อมูลที่ไม่มีคลาสได้นิยามการจำแนกดัง Figure 2



Figure 2 Classification Definition

อัลกอริทึม C4.5

C4.5 เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนามาจากอัลกอริทึม ID3 โดย Ross Quinlan⁸ เป็นวิธีการที่ใช้หลักการสร้างต้นไม้โดยการเลือกลักษณะ (Attribute) ต้นไม้ที่สำคัญที่สุดมาเป็นโหนดราก (Root Node) โดยใช้ Gain Ratio ที่สูงสุดเป็นโหนดราก และโหนดถัดไปในการหาค่า Gain Ratio ต้องทำการหาค่า Split Information และค่า Entropy ก่อนดังสมการต่อไปนี้

สมการ *Entropy* คือ สมการในการหาค่าความไม่สมบูรณ์ของสารสนเทศของข้อมูล ดังสมการที่ 1

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

โดย S คือ แอทริบิวต์ที่นำมาวัดค่า

P_i คือ สัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม i เทียบกับจำนวนสมาชิกทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

สมการ *Information Gain* คือ สมการในการหาค่าสารสนเทศก่อนนำไปใช้ในการหาค่ามาตรฐานอัตราส่วน ดังสมการที่ 2

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

โดย A คือ แอทริบิวต์ A

$|S_v|$ คือ สมาชิกของแอทริบิวต์ A

$|S|$ คือ จำนวนสมาชิกทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

สมการ *Split Information* คือ สมการที่ใช้ในการเพิ่มค่าสารสนเทศการแบ่งข้อมูล โดยจะบอกถึงลักษณะการกระจายของข้อมูล เป็นการแก้ปัญหาค่าความโน้มเอียง ดังสมการที่ 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 สัดส่วนของจำนวนสมาชิกในกลุ่ม i

สมการ *Gain Ratio* คือ สมการการคำนวณหาค่ามาตรฐานอัตราส่วนของค่า *Gain* เพื่อลดความลำเอียงของข้อมูล ดังสมการที่ 4

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

การค้นหากฎความสัมพันธ์

วิธีการหนึ่งที่มีความนิยมมากในการทำเหมืองข้อมูล คือ วิธีการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule)^{9,10} ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาความสัมพันธ์ของข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีอยู่เพื่อนำไปหารูปแบบที่เกิดขึ้นบ่อยๆ (Frequent pattern) และใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์หรือทำนายปรากฏการณ์ต่างๆ ความ

สัมพันธ์ที่ได้สามารถเขียนในรูปเซตของรายการที่เป็นเหตุไปสู่อะไรบางอย่างของรายการที่เป็นผล กระบวนการการค้นหากฎความสัมพันธ์โดยการค้นหาข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยทั้งหมดนำกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยมาสร้างความสัมพันธ์ ซึ่งความสัมพันธ์ที่ยอมรับได้เมื่อตรวจสอบค่าความเชื่อมั่นของกฎนั้นแล้วมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเชื่อมั่นขั้นต่ำที่ผู้ใช้กำหนด

อัลกอริทึมเอพริออรี

อัลกอริทึมเอพริออรี (Apriori Algorithm)^{11,12} เป็นวิธีการที่มีความนิยมในการสร้างกฎความสัมพันธ์ โดยอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาฟรียูเอนท์ไอเทมเซต (Frequent itemset) ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน 5 ขั้นตอน¹³ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านขึ้นข้อมูลจากฐานข้อมูลครั้งแรกเพื่อนับค่าความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูลที่ปรากฏทั้งหมดในฐานข้อมูล

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบค่าความถี่ของแต่ละชั้นข้อมูลเพื่อคำนวณค่าสนับสนุนโดยหากชั้นข้อมูลนั้นมีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนขั้นต่ำก็ถือว่าเป็นกลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยที่มีขนาดของชั้นข้อมูล 1 ชั้นข้อมูล

L_1 : Frequent1 – itemsets

ขั้นตอนที่ 3 นำ L_1 ที่ได้มาสร้างกลุ่มข้อมูลทำซึ่งที่มีขนาดชั้นข้อมูล 2 ชั้นข้อมูล C_2 : Candidate2 – itemset

ขั้นตอนที่ 4 อ่านขึ้นข้อมูลจากฐานข้อมูลอีกครั้งเพื่อนับค่าความถี่ของ C_2 และตัด C_2 ที่มีค่าสนับสนุนน้อยกว่าค่าสนับสนุนขั้นต่ำหาก C_2 มีค่าสนับสนุนมากกว่าหรือเท่ากับค่าสนับสนุนขั้นต่ำก็จะเป็น L_2

ขั้นตอนที่ 5 ทำขั้นตอนที่ 3 และขั้นตอนที่ 4 ซ้ำจนกว่าไม่สามารถสร้าง C_k จาก L_{k-1} ได้เมื่อ k คือขนาดของชั้นข้อมูลจึงทำการสิ้นสุดการสร้างกลุ่มข้อมูลทำซึ่งและจบการทำงานทำให้ได้กลุ่มข้อมูลที่ปรากฏร่วมกันบ่อยทั้งหมด

ขั้นตอนอัลกอริทึมเอพริออรี (Apriori) เป็นการรวม C_k คือเซตของตัวแทน Candidate ที่ได้จากการรวมกันของเซต L_{k-1} ขั้นตอนการลดถ้า $(k-1)$ -itemset ของ k -itemset ไม่ใช่ Frequent itemset แล้ว k -itemset จากเซตดังกล่าวต้องไม่ใช่ Frequent itemset ของ k หลักการทำงานของอัลกอริทึมเอพริออรี คือการสร้างข้อมูลทำซึ่ง และขั้นตอนการทดสอบกลุ่มข้อมูลทำซึ่งว่ากลุ่มข้อมูลที่ปรากฏบ่อยหรือไม่ รายละเอียดดัง Figure 3

```

1   $L_1 = \{\text{large 1-itemsets}\};$ 
2  For ( $k=2; L_{k-1} \neq \emptyset; k++$ ) do begin
3     $C_k = \text{apriori-gen}(L_{k-1});$  // New candidates
4    For all transactions  $t \in D$  do begin
5       $C_t = \text{subset}(C_k, t);$  // Candidates contained in  $t$ 
6      For all candidates  $c \in C_t$  do
7         $c.\text{count}++;$ 
8      End
9     $L_k = \{c \in C_k \mid c.\text{count} \geq \text{minsup}\};$ 
10 End
11 Answer =  $\cup_k L_k;$ 

```

Figure 3 Apriori Algorithm¹³

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) ด้วยวิธีการจำแนกข้อมูล (Data Classification) แบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) และการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) แบบวิธีเอพริออรี (Apriori Algorithm) เพื่อวิเคราะห์หาสารสนเทศที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนักเรียนผู้มีสิทธิ์ Clearing house นำรูปแบบที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบการตัดสินใจเพื่อช่วยในการวางแผนจำนวนการรับนิสิตใหม่ รวมถึงการวางแผนจำนวนผู้ผ่านการคัดเลือกเพื่อมีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์ Clearing house ในระบบ TCAS โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดลองวิจัยครั้งนี้ คือข้อมูลผู้ผ่านการคัดเลือกที่มีสิทธิ์ในการยืนยันสิทธิ์ รอบที่ 2 การรับแบบโควตาที่มีการสอบข้อเขียนหรือข้อสอบปฏิบัติ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประจำปีการศึกษา 2561 จำนวน 8,291 คน โดยการแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทดสอบ (Data Testing) และข้อมูลเรียนรู้ (Data Training) โดยใช้หลักการแบ่งข้อมูลแบบ 10-Fold Cross Validation ผู้วิจัยได้แสดงขั้นตอน และกรอบแนวคิดการวิจัย เพื่อให้ทราบกระบวนการในการวิจัยในครั้งนี้โดยมีรายละเอียดดัง Figure 3

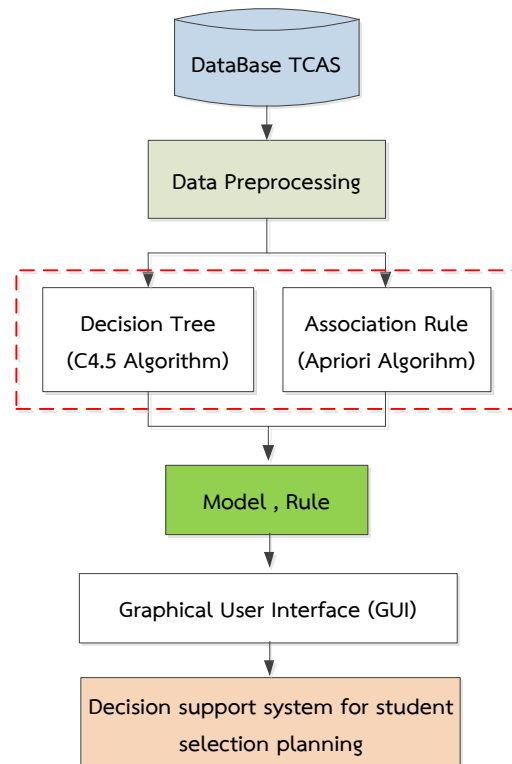


Figure 3 Conceptual framework

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้ในการประกอบการพิจารณาผู้สมัครเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้แก่ ข้อมูลสาขาวิชา, อันดับการเลือกสาขาวิชา, ขนาดโรงเรียน, จังหวัด, คะแนนมาตรฐานความถนัดทั่วไป (GAT), คะแนนมาตรฐานทางวิชาการและวิชาชีพ (PAT), คะแนนมาตรฐาน 9 วิชาสามัญ, คะแนนรวม และผลการยืนยันสิทธิ์ เพื่อวิเคราะห์หาแบบที่เกิดขึ้นจากการยืนยันสิทธิ์ และนำสารสนเทศที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการวางแผนการรับนิสิตใหม่ ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการทดลองวิจัยครั้งนี้มีรายละเอียดดัง Table 1

Table 1 Data sample

Major	Level	Size	Province	GAT	PAT	9 Ordinary	Score	Result
0501	1	S	Loei	62.5600	54.0000	65.5400	60.7000	Confirm
0501	2	S	Roiet	37.5670	39.6520	62.3000	46.5000	Confirm
0503	1	M	Khonkaen	65.6600	70.0000	60.8500	65.5000	Confirm
0503	4	XL	Surin	66.5450	70.5200	65.0000	67.3500	Not Confirm
0506	3	S	Loei	45.0000	48.6000	48.0000	45.0500	Not Confirm
0506	2	M	Loei	68.9950	65.8800	61.2000	65.3500	Confirm
0504	4	L	Buriam	50.5000	69.5400	65.3000	68.5000	Not Confirm

จากข้อมูลที่ใช้ในการทดลองผู้วิจัยได้ทำการแทนค่าให้กับข้อมูลก่อนการวิเคราะห์ที่ทดลองโดยข้อมูลขนาดโรงเรียนผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์การแบ่งขนาดโดยยึดตามข้อมูลสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.)¹⁴ ดังนี้ โรงเรียนขนาดเล็กมีนักเรียน 1 - 499 คน แทนค่า (S), โรงเรียนขนาดกลางมีนักเรียน 500 - 1,499 คน แทนค่า (M), โรงเรียนขนาดใหญ่มีนักเรียน 1,500 - 2,400 คน แทนค่า (L) และโรงเรียนขนาดใหญ่พิเศษมีนักเรียน 2,500 คนขึ้นไป แทนค่า (XL) นอกจากนี้ยังมีข้อมูลด้านคะแนนมาตรฐานความรู้ทั่วไป (GAT), ข้อมูลคะแนนมาตรฐานวิชาการและวิชาชีพ (PAT), ข้อมูลคะแนน

มาตรฐาน 9 วิชาสามัญ และข้อมูลคะแนนรวม นั้นเป็นข้อมูลแบบทศนิยมต่อเนื่องข้อมูลจะมีการกระจาย เพื่อลดการกระจายของข้อมูลผู้วิจัยได้แบ่งช่วงของข้อมูล (Binning data) ผู้วิจัยได้แบ่งช่วงของข้อมูลคะแนนออกเป็น 3 ช่วงคะแนน คือ ช่วงคะแนนระหว่าง 0.0000 - 47.0000 อยู่ในระดับต่ำ แทนค่า (Low), ช่วงคะแนนระหว่าง 47.0001 - 55.0000 อยู่ในระดับปานกลาง แทนค่า (Moderate) และช่วงคะแนนระหว่าง 55.0001 - 100 อยู่ในระดับสูง แทนค่า (High) รายละเอียดตัวอย่างการแทนค่าข้อมูลดัง Table 2

Table 2 Variable sample

Major	Level	Size	Province	GAT	PAT	9 Ordinary	Score	Result
M0501	1	S	Loei	High	Moderate	High	High	Confirm
M0501	2	S	Roiet	Low	Low	High	Low	Not Confirm
M0503	1	M	Khonkaen	High	High	High	High	Confirm
M0503	4	XL	Surin	High	High	High	High	Confirm
M0506	3	S	Loei	Low	Moderate	Moderate	Low	Not Confirm
M0506	2	M	Loei	High	High	High	High	Confirm
M0504	4	L	Buriam	Moderate	High	High	High	Not Confirm

ผลการศึกษาวิจัย

จากการทดลองผู้วิจัยได้แยกข้อมูลการทดลองออกเป็นกลุ่มข้อมูล ตามกลุ่มประกันคุณภาพการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ประกอบด้วยกลุ่มข้อมูลมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ และกลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ซึ่งการทดลองในแต่ละกลุ่มข้อมูลได้แบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลทดสอบ (Data Testing) และข้อมูลเรียนรู้ (Data Training) โดยใช้หลักการแบ่งข้อมูลแบบ 10-Fold

Cross Validation จากนั้นทำการทดลองโดยการใช้เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) และการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) อธิบายผลการทดลองได้ ดังนี้

ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree C4.5) ได้ผลการทดลองค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความเหวี่ยง (F-Measure) การวัดประสิทธิภาพของข้อมูลตามแนวคิดทางด้านการค้นคืนสารสนเทศซึ่งวัดค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองนั้นจะอาศัย

ตาราง Confusion Matrix ในการคำนวณค่าร้อยละแสดงดัง Figure 4

		Predicted Class	
		C ₁	C ₂
Actual	C ₁	TP	FN
	C ₂	FP	TN

Figure 4 Confusion Matrix

TP คือ จำนวนข้อมูลแบบจำลองจำแนกกลุ่ม C₁ และคำตอบเป็นกลุ่ม C₁

TN คือ จำนวนข้อมูลแบบจำลองจำแนกกลุ่ม C₂ และคำตอบเป็นกลุ่ม C₂

FP คือ จำนวนข้อมูลแบบจำลองจำแนกกลุ่ม C₁ และคำตอบเป็นกลุ่ม C₂

FN คือ จำนวนข้อมูลแบบจำลองจำแนกกลุ่ม C₂ และคำตอบเป็นกลุ่ม C₁

ผลการทดลองแต่ละกลุ่มข้อมูลโดยกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มีค่าความถูกต้องสูงสุดร้อยละ 82.85 ค่าความแม่นยำ 0.804 และค่าการค้นคืนข้อมูล 0.829 กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ ค่าความถูกต้องร้อยละ 80.88 ค่าความแม่นยำ 0.654 และการค้นคืนข้อมูล 0.829 และกลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี ค่าความถูกต้องร้อยละ 78.85 ค่าความแม่นยำ 0.796 และการค้นคืนข้อมูล 0.787 ผลการทดลองสามารถแสดงผลการทดลองในรูปแบบของต้นไม้ตัดสินใจ (Decision rule) เพื่อให้ทราบโอกาสในการยืนยันสิทธิ์เข้าศึกษา (Clearing house) แบบวิธีต้นไม้ตัดสินใจรายละเอียดดัง Figure 5

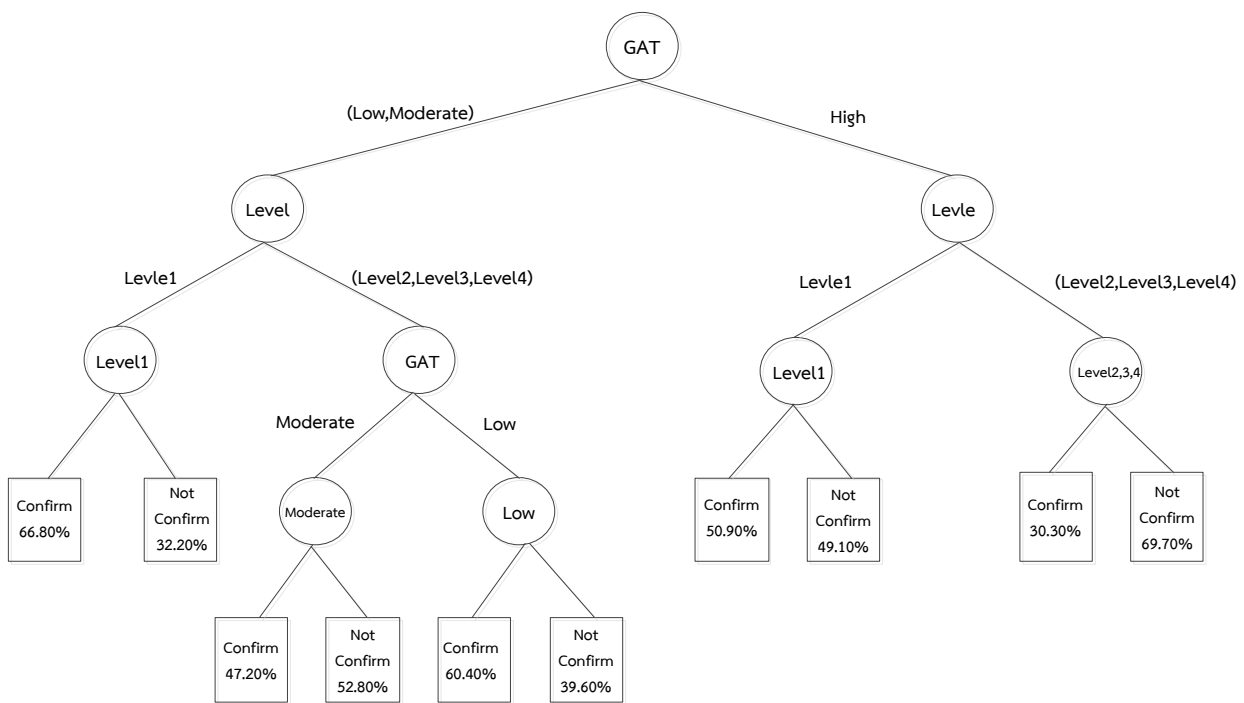


Figure 5 Example tree Sciences and Technologies Group

Table 4 Result for Sciences and technologies group

No.	Description	Result	
		Confirm	Not Confirm
1.	IF Clearing House GAT=(Low OR Moderate) AND Level=Level1	66.80%	32.20%
2.	IF Clearing House GAT=High AND Level=Level1	50.90%	49.10%
3.	IF Clearing House GAT=High AND Level=(Level1 OR Level2 OR Level4)	30.30%	69.70%
4.	IF Clearing House Level=(Level2 OR Level3 OR Level4) AND GAT=Low	60.40%	39.60%
5.	IF Clearing House Level=(Level2 OR Level3 OR Level4) AND GAT=Moderate	47.20%	52.80%

จาก Table 4 ผลการทดลองวิธีต้นไม้ตัดสินใจข้อมูลกลุ่มวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สามารถอธิบายเงื่อนไขการตัดสินใจได้ ดังนี้

- Rule 1** IF GAT=(Low OR Moderate) AND Level=Level1 THEN Confirm=66.80% AND Not Confirm=32.20%
- Rule 2** IF GAT=High AND Level=Level1 THEN Confirm=50.90% AND Not Confirm=49.10%
- Rule 3** IF GAT=High AND Level=(Level1 OR Level2 OR Level4) THEN Confirm=30.30% AND Not Confirm=69.70%
- Rule 4** IF Level=(Level2 OR Level3 OR Level4) AND GAT Low THEN Confirm=60.40% AND Not Confirm=39.60%
- Rule 5** IF Level=(Level2 OR Level3 OR Level4) AND GAT=Moderate THEN Confirm=47.20% AND Not Confirm=52.80%

การค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) แบบเอพริออรี (Apriori Algorithm) โดยการทดลองได้กำหนดค่าสนับสนุน เท่ากับ 0.001 (Support =0.001) และกำหนดค่าความเชื่อมั่นร้อยละ 50 (Confidence=0.5) ผลการทดลองกลุ่มมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์สร้างกฎความสัมพันธ์ได้ 89 กฎความสัมพันธ์, กลุ่มวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสร้างกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎความสัมพันธ์ และกลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพสร้างกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎความสัมพันธ์ จากการทดลองด้วยวิธีกฎความสัมพันธ์สามารถสร้างเป็นแผนภาพพิกัดแบบขนาน (Parallel coordinates plot) เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เกิดขึ้น โดยแกน X คือตำแหน่งเงื่อนไขแกน Y คือเงื่อนไข รายละเอียดดัง Figure 6

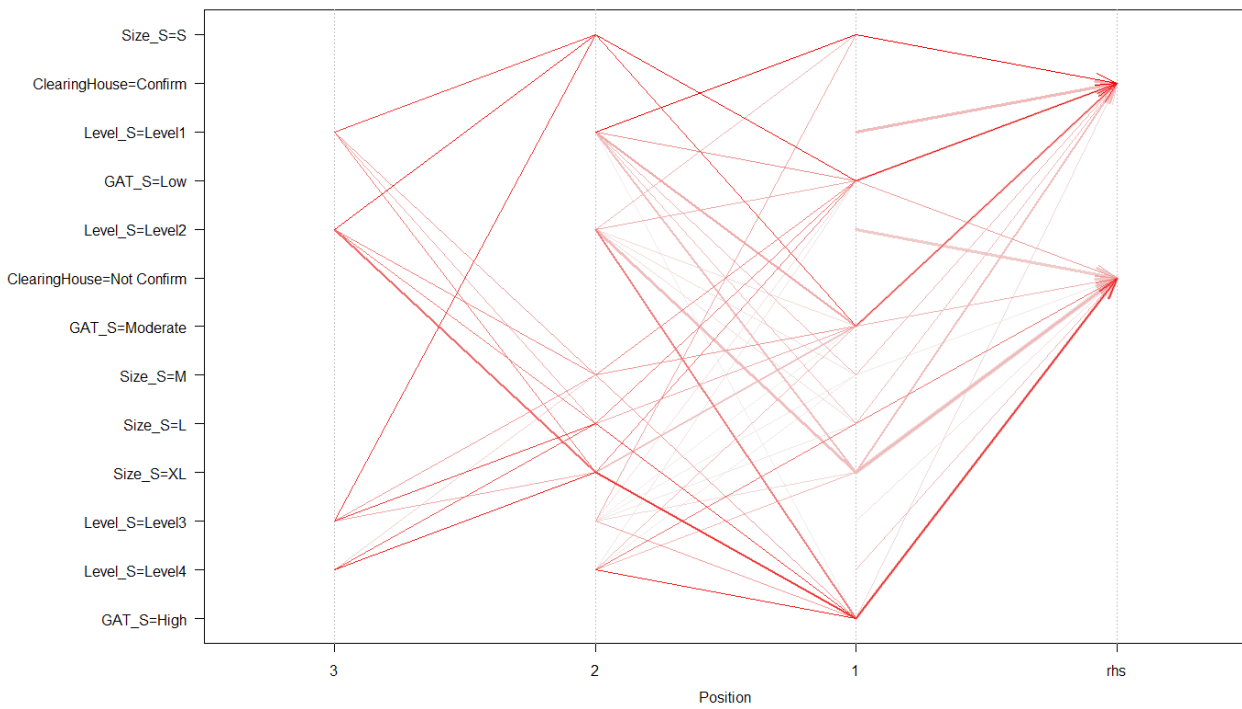


Figure 6 Parallel coordinates plot

Table 5 Result data

Rule	LHS	RHS (Clearing house)	Supp.	Conf.	lift
1	Size=S, Level=Level1	Confirm	0.004	0.846	1.672
2	GAT=Low, Size=S, Level=Level2	Confirm	0.002	0.833	1.646
3	GAT=Low, Size=S	Confirm	0.004	0.818	1.617
4	GAT=High, Level=Level4	Not Confirm	0.010	0.800	1.620
5	GAT=Moderate, Size=S, Level=Level3	Confirm	0.002	0.800	1.581
6	GAT=Moderate, Size=S, Level=Level1	Confirm	0.003	0.800	1.620
7	GAT=High, Size=XL, Level=Level4	Not Confirm	0.008	0.800	1.620
8	GAT=High, Size=L, Level=Level3	Not Confirm	0.003	0.778	1.575
...

Table 6 Describe the result

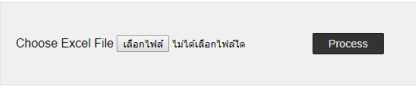
Condition	Description	Confidence (%)
1	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีขนาดโรงเรียนมีขนาดเล็ก และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 1 มีโอกาสที่จะยืนยันสิทธิ์ (Confirm)	84.60
2	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับต่ำ และขนาดโรงเรียนมีขนาดเล็ก และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 2 มีโอกาสที่จะยืนยันสิทธิ์ (Confirm)	83.30
3	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับต่ำ และขนาดโรงเรียนมีขนาดเล็ก มีโอกาสที่จะยืนยันสิทธิ์ (Confirm)	81.80
4	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับสูง และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 4 มีโอกาสที่จะไม่ยืนยันสิทธิ์ (Not Confirm)	80.00
5	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับกลาง และขนาดโรงเรียนมีขนาดเล็ก และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 3 มีโอกาสที่จะยืนยันสิทธิ์ (Confirm)	80.00
6	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับกลาง และขนาดโรงเรียนมีขนาดเล็ก และเลือกสมัครเรียนในระดับที่ 3 มีโอกาสที่จะยืนยันสิทธิ์ (Confirm)	80.00
7	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับสูง และขนาดโรงเรียนมีขนาดใหญ่พิเศษ และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 4 มีโอกาสที่จะไม่ยืนยันสิทธิ์ (Not Confirm)	80.00
8	หากผู้มีสิทธิ์ยืนยันสิทธิ์ Clearing house มีคะแนน GAT อยู่ในระดับสูง และขนาดโรงเรียนมีขนาดใหญ่ และเลือกสมัครเรียนในอันดับที่ 3 มีโอกาสที่จะไม่ยืนยันสิทธิ์ (Not Confirm)	77.80
...

จาก Table 5 คือตัวอย่างกฎความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองด้วยวิธีการค้นหาความสัมพันธ์ แบบเอพริออรี (Apriori algorithm) และ Table 6 คือการอธิบายผลของกฎความสัมพันธ์

จากการผลการทดลองด้วยวิธีต้นไม้ตัดสินใจและ การค้นหาความสัมพันธ์ข้อมูล ผู้พัฒนาระบบสามารถนำรูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้มาพัฒนาตามเงื่อนไขของผลการวิจัยโดยนำข้อมูลในการทดลอง นำเข้าระบบ ระบบจะประมวลผลข้อมูล

โดยการจัดอันดับ (Ranking) ตามไฟล์ข้อมูลที่ผู้ใช้งานเข้าข้อมูลแต่ละรายการ (Record) จะถูกประมวลผลตามเงื่อนไขของผลการวิจัยแต่ละวิธี ซึ่งการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถนำผลการทดลองมาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม รายละเอียดดัง Figure 5

ระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



ผลการวิเคราะห์ข้อมูลนักเรียนที่มีโอกาสยื่นยันสิทธิ์ (Clearing House) ระบบ TCAS

เลขที่สมัคร	ชื่อ - นามสกุล	โรงเรียน	จังหวัด	ขนาดโรงเรียน	ยื่นยันการสมัคร	คะแนน GAT/PAT	Result Analysis			
							Decision Tree		Association Rule	
							Confirm (%)	Not Confirm (%)	Result	Percent (%)
6210362	นางสาวกนกมาศ ชูไกร	สาธิตวิทยาคม	มหาสารคาม	ใหญ่พิเศษ	1	54.6500	71.70%	28.30%	Confirm	100.00
6200154	นางสาวสิริกร หาญ	ศรีสะเกษวิทยาคม	ศรีสะเกษ	ใหญ่พิเศษ	2	60.0000	41.30%	58.70%	Not Confirm	78.65
6212211	นางสาวอริศย์ รุ่งใจ	หนองบัวระฆกวิทยาคม	อุดรธานี	ใหญ่	1	62.5500	55.80%	55.20%	Confirm	95.60
6201585	นางสาวศศิยุภา นานศิริหา	นานนวิทยา	นครพนม	กลาง	1	52.4000	71.70%	28.30%	Confirm	96.50
6215442	นางสาวธัญชฎาณ สุทธิบุญ	วาปีปทุม	มหาสารคาม	ใหญ่พิเศษ	3	45.0000	48.60%	51.40%	Not Confirm	100.00
6200455	นางสาวอภิญญา สุจารี	ราชอุบลอำนาจจันทร์	สกลนคร	เล็ก	4	68.5100	41.30%	58.70%	Not Confirm	100.00
6205899	นางสาวพรวิมล วัฒนอม	กนกศิลป์วิทยาคม	บุรีรัมย์	ใหญ่	2	72.0000	41.30%	58.70%	Not Confirm	85.00
6209542	นางสาวระณกร โสภนภา	ระยองประเทืองวิทยา	ชลบุรี	กลาง	2	69.5400	41.30%	58.70%	Not Confirm	78.50
6202544	นางสาวสุจิตต์ฉวี ธิกุล	ชุมแพศึกษา	ขอนแก่น	ใหญ่พิเศษ	3	60.5000	41.30%	58.70%	Not Confirm	100.00
6200987	นายณัฐพล ฤทธิ์ทรงเมือง	พิบูลย์รักษ์	อุดรธานี	เล็ก	3	61.2500	41.30%	58.70%	Not Confirm	80.00
6206988	นางสาวณญชรัตน์ ใญ่ญา	บัวขาว	กาฬสินธุ์	ใหญ่พิเศษ	1	75.0000	55.80%	55.20%	Confirm	100.00
6210522	นางสาวอัญญา ไชยดี	ผดุงนารี	มหาสารคาม	ใหญ่พิเศษ	1	72.0000	55.80%	55.20%	Confirm	100.00
6203654	นางสาวสุวิมลพร ธิมาโส	เดินงารวิทยา	ชัยภูมิ	กลาง	2	45.5000	68.70%	31.30%	Confirm	90.00
6206541	นางสาวณิศา พรหมกุล	ปากชมวิทยา	เลย	กลาง	1	64.5000	55.80%	55.20%	Confirm	100.00
6204566	นางสาววิมลภา พงษ์พารา	ราชประชาเสวยวิद्या	นครราชสีมา	กลาง	4	45.6500	48.60%	51.40%	Not Confirm	96.50

Figure 5 Test result

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์สารสนเทศที่เกิดขึ้นจากข้อมูลนักเรียนผู้มีสิทธิ์ในการยื่นยันสิทธิ์ Clearing house ในระบบ TCAS โดยวิธีการเทคนิคเหมืองข้อมูล (Data mining) และเพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลการทดลองวิธีต้นไม้ตัดสินใจ (Decision tree) อัลกอริทึม C4.5 โดยการประเมินผลด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ข้อมูลการทดลองกลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์มีค่าความถูกต้องร้อยละ 82.85, กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพมีค่าความถูกต้อง 80.88 และกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพมีค่าความถูกต้อง 80.88

ผลการทดลองวิธีวิธีการค้นหากฎความสัมพันธ์ (Association rule) อัลกอริทึม เอพริออรี (Apriori algorithm) โดยการประเมินผลจากค่าความเชื่อมั่นที่ 0.5 (Confidence 50%) ข้อมูลการทดลองกลุ่มสาขาวิชามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์สามารถสร้างกฎความสัมพันธ์ได้ทั้งหมด 89 กฎ, กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ สามารถสร้างกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎ และกลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี สามารถสร้างเป็นกฎความสัมพันธ์ได้ 85 กฎ

ผลการทดลองทั้ง 2 วิธีพบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้ผู้สมัครยื่นยันสิทธิ์เข้าศึกษา (เลือกเรียน) คือ อันดับการสมัครเรียน หากผู้สมัครผ่านการคัดเลือกในอันดับ 1 หรืออันดับที่ 2 ก็จะมีโอกาสในการยื่นยันสิทธิ์ จากผลการทดลองสามารถนำ

สารสนเทศที่ได้มาพัฒนาเป็นระบบสนับสนุนการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระบบ TCAS มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาจำนวนการยื่นยันสิทธิ์ (Clearing house) เข้าศึกษาที่มีจำนวนน้อยกว่าแผนการรับเข้าศึกษา งานวิจัยนี้สามารถนำระบบสารสนเทศที่ได้ไปใช้งานเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจในการพิจารณาผลผู้ผ่านที่มีสิทธิ์ในการยื่นยันสิทธิ์เข้าศึกษา ซึ่งผู้ใช้คือคณะกรรมการพิจารณาผลสอบสัมภาษณ์

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้นำเอาข้อมูลนักเรียนผู้มีสิทธิ์ในการยื่นยันสิทธิ์ Clearing house มาใช้ในการทดลองเพื่อหาสารสนเทศที่เกิดขึ้น การรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาระบบใหม่ (TCAS) ซึ่ง ที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.) กำหนดให้รับสมัคร 5 รอบด้วยกัน ดังนั้นระบบสารสนเทศที่พัฒนามาจากผลการวิจัยครั้งนี้สามารถใช้ในการรับสมัครในรอบที่ 2 การรับแบบโควตาที่มีการสอบข้อเขียนหรือข้อสอบปฏิบัติ ซึ่งมหาวิทยาลัยเป็นผู้รับสมัครและคัดเลือก อนาคตผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการวางแผนการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาระบบใหม่ให้ครบทุกรอบการสมัครเพื่อให้สอดคล้องกับหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกแต่ละรอบ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2562 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. สมาคมที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.). ประกาศกระทรวงศึกษาธิการ นโยบายการคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในสถาบันอุดมศึกษาฉบับใหม่ ปี พ.ศ 2560.
2. กองบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม. ระเบียบการรับสมัครคัดเลือกบุคคลเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรี ประจำปีการศึกษา 2562.
3. สมาคมที่ประชุมอธิการบดีแห่งประเทศไทย (ทปอ.). คู่มือระบบ TCAS 62 สำหรับนักเรียนและผู้สมัคร ประจำปีการศึกษา 2562.
4. ฉัตรเกล้า เจริญผล. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา Introduction to Data Mining 2013.
5. กฤษณะ ไวยมัย, ชิตชนก ส่งศิริ, ธนาวิทย์ รักธรรมานนท์, การใช้เทคนิคดาต้าไมนิงเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ NECTEC Technical Journal, Vol.3, No. 11; 2001 July - October 2001.
6. Han J, Kamber M, Data Mining Concepts and Techniques; The Morgan Kaufmann Publishers, 2001
7. อนันต์ ปินะเต. การใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในการเลือกสาขาวิชาเพื่อโอกาสในการเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่. 36, ฉบับที่. 6, ประจำเดือนพฤศจิกายน – ธันวาคม 2560.
8. อนันต์ ปินะเต. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการเลือกสมัครในสาขาวิชา โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่. 38, ฉบับที่. 3, ประจำเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2562.
9. Yang, C.,Li, H., & Koul, W. (2007). The Application of Improved Association Rules Data Mining Algorithm Apriori in CRM. IEEE Computer Society.
10. Olson D, Shi Y. Introduction to Business Data Mining; McGraw Hill International Edition 2007.
11. ณัฐธิดา สุวรรณโณ, อันทิกา สิงห์เอี่ยม. การหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงของนักศึกษาเรียนอ่อนด้วยเทคนิคกฎความสัมพันธ์ กรณีศึกษา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; วารสารวิทยาการจัดการ, ปีที่ 28, ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2554.
12. ชุติมา อุดมะณี, ประสงค์ ปราณีตพลกรัง. การพัฒนาตัวแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจแบบอัตโนมัติออนไลน์สำหรับการเลือกสาขาวิชาเรียนของนักศึกษาระดับอุดมศึกษา Journal of Information science and Technology, Vol.1 ISSUE 2, JUL-DEC 2010.
13. อนันต์ ปินะเต. การค้นหาความสัมพันธ์ข้อมูลชนิดใหม่เพื่อพัฒนาระบบประชาสัมพันธ์หลักสูตรออนไลน์; วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่. 38, ฉบับที่. 3, ประจำเดือนพฤษภาคม – มิถุนายน 2562.
14. สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษามหาสารคาม กลุ่มงานนิเทศติดตามและประเมินผลการจัดการศึกษา. ข้อมูลขนาดโรงเรียน. [ออนไลน์] 2562 [สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2562]; ได้จาก <https://sites.google.com/site/gssmhk1/khxmul-khnad-rongreiyin>

การกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในจังหวัดชลบุรี Distribution of alcohol outlets around educational institutes in Chon Buri province

ณรงค์ พลีรักษ์^{1*}

Narong Pleerux^{1*}

Received: 11 June 2019 ; Revised: 1 August 2019 ; Accepted: 20 August 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและวิเคราะห์ความหนาแน่นและการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ตั้งอยู่โดยรอบสถานศึกษาในระยะ 300 และ 500 เมตร ในอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี จากการสำรวจพบว่ามีโรงเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย 33 แห่ง และระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษา 15 แห่ง สามารถแบ่งสถานศึกษาเหล่านั้นออกเป็น 20 โซน ส่วนร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ร้านขายของชำ ร้านสะดวกซื้อ ร้านอาหาร และผับ บาร์ และอื่น ๆ โดยร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในระยะทาง 300 และ 500 เมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 727 และ 1,160 แห่ง ตามลำดับ โซนที่มีความหนาแน่นของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากที่สุด คือ โซนที่ 8 ส่วนรูปแบบการกระจายตัวมีทั้งแบบกลุ่ม (clustered) แบบกระจัดกระจาย (dispersed) และแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน (random) ผลการศึกษาสามารถนำไปใช้กำหนดแนวทางการตั้งร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และวางแผนจัดโซนนิ่งร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาได้

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ความหนาแน่น เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

Abstract

The objectives of this research were to explore and analyze density and distribution of alcohol outlets that were located at 300 and 500 meters around educational institutes in Muang district, Chon Buri province. The results revealed that there were 33 of secondary and high schools, and 15 vocational colleges and universities which divided into 20 zones. The alcohol outlets were classified into four groups (1) grocery store (2) convenience store (3) restaurant and (4) pub, bar and others. 727 and 1,160 of alcohol outlets were at 300 and 500 meters from educational institutes, respectively. The highest density of alcohol outlets was found in zone 8. Additionally, the alcohol outlet distributions were clustered, dispersed and random pattern. The results can be used to regulate the alcohol outlets location and applied to set up the alcohol outlet zoning around the educational institutes.

Keywords: geographic information system, density, geoinformation technology, alcohol outlet

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี 20131

¹ Asst. Prof., Faculty of Geoinformatics, Burapha University, Chon Buri 20131

* Corresponding author: Narong Pleerux, Faculty of Geoinformatics, Burapha University, Chon Buri 20131, Thailand,

Email: narong_p@buu.ac.th

บทนำ

ประเทศไทยได้รับผลกระทบและความเสียหายจากการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์หลายด้าน เครื่องดื่มแอลกอฮอล์เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคมามากเป็นอันดับหนึ่ง นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับโรคและการบาดเจ็บมากกว่า 60 ชนิด¹ เช่น ไชมันสะสมไนตบ โรคตับแข็ง² การดื่มแอลกอฮอล์ส่งผลให้เสียชีวิต ความพิการ และทุพพลภาพ นำไปสู่ปัญหาอาชญากรรม ก่อให้เกิดปัญหาครอบครัว³ และความสูญเสียทางเศรษฐกิจ⁴ โดยผลกระทบที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย เช่น ค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล และค่าซ่อมแซมความเสียหายจากอุบัติเหตุ

จากการศึกษาสถานการณ์การดื่มแอลกอฮอล์ของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2544-2554 พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกลุ่มที่มีการดื่มสูงที่สุด คือ วัยผู้ใหญ่ (อายุ 25-59 ปี) คิดเป็นร้อยละ 37.3 รองลงมา คือ กลุ่มเยาวชน (อายุ 15-24 ปี) คิดเป็นร้อยละ 23.7 โดยกลุ่มเยาวชนกลุ่มนี้เป็นผู้ดื่มหนักมากกว่ากลุ่มอายุอื่น ๆ ส่วนสถานที่ที่มีการซื้อเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากที่สุด คือ ร้านขายของชำ รองลงมา ได้แก่ ร้านสะดวกซื้อ และร้านอาหาร โดยผู้ดื่มเกือบ 30,000 คน (ร้อยละ 0.18) ซื้อเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จากสถานที่ที่ห้ามขายตามที่พระราชบัญญัติควบคุมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ พ.ศ. 2551 เช่น ร้านค้าในวัด ร้านค้าที่อยู่ในร้านขายยา ร้านค้าที่อยู่ในสถานี่ราชการ ในหอพัก ในโรงเรียน ในปั๊มน้ำมัน และในสวนสาธารณะ⁵

สถานการณ์ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษากลายเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเด็กนักเรียน นิสิต นักศึกษา⁶ โดยการวิจัยที่ผ่านมา เช่น การสำรวจและเก็บข้อมูลร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาระดับอุดมศึกษา 15 แห่ง ในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2552 พบว่ามีร้านค้า 57 แห่งต่อ 1 ตารางกิโลเมตร บางมหาวิทยาลัยมีร้านมากกว่า 100 แห่งในรัศมี 1 ตารางกิโลเมตร ส่วนในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่พบว่า รอบสถานศึกษา 17 แห่ง มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ 1,083 แห่ง ซึ่งจุดจำหน่าย 2 ใน 3 แห่งนั้นอยู่ในระยะ 500 เมตร จากสถานศึกษา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นร้านขายของชำ ร้านค้าปลีก และสถานบันเทิง⁷

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาระดับอาชีวศึกษาและสถาบันอุดมศึกษา ทั้งรัฐและเอกชนจำนวน 15 แห่ง ในอำเภอเมืองจังหวัดชลบุรี โดยพบว่าในระยะทาง 300 และ 500 เมตร มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ทั้งสิ้น 317 และ 552 ร้านตามลำดับ ประเภทของร้านที่พบมากที่สุด ได้แก่ ร้านขาย

ของชำ 201 และ 360 ร้าน ตามลำดับ โดยมหาวิทยาลัยบูรพามีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากที่สุดเท่ากับ 95 และ 166 ร้าน ตามลำดับ ในขณะที่ความหนาแน่นรวมของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาทั้ง 15 แห่ง ในระยะทาง 300 เมตร มีค่าเท่ากับ 35.90 ร้านต่อตารางกิโลเมตร ส่วนในระยะทาง 500 เมตร มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 33.93 ร้านต่อตารางกิโลเมตร⁸

ด้วยนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการลดการดื่มแอลกอฮอล์ของเยาวชนที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี จึงได้มีประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 22 ตุลาคม พ.ศ. 2558 เรื่องกำหนดสถานที่หรือบริเวณห้ามขายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อห้ามผู้ใดขายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในสถานที่หรือบริเวณซึ่งอยู่ในระยะ 300 เมตร จากรั้วหรือแนวเขตของสถานศึกษาระดับอาชีวศึกษาหรือสถาบันอุดมศึกษาทั้งของรัฐและเอกชน ซึ่งนำไปสู่การลดปริมาณการเข้าถึงและการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของเยาวชน นิสิต นักศึกษา และนักเรียนได้

จังหวัดชลบุรีเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจและการศึกษาของภาคตะวันออก มีนิคมอุตสาหกรรมหลายแห่ง มีแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง รวมถึงเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยบูรพา ส่งผลให้มีประชาชนและนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามายังอำเภอเมืองจังหวัดชลบุรี เป็นจำนวนมากตลอดทั้งปี ด้วยเหตุนี้จึงมีการตั้งสถานบันเทิง ร้านค้า และร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์เพื่อตอบสนองความต้องการของกลุ่มคนเหล่านี้ ตัวอย่างเช่น ตลอดแนวถนนเรียบชายหาดบางแสนตั้งแต่ชายหาดวนนภา จนถึงแหลมแท่น และถนนลงหาดบางแสน เต็มไปด้วยสถานบันเทิง และร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ประเภทต่าง ๆ ซึ่งหลายแห่งตั้งอยู่ใกล้กับมหาวิทยาลัยบูรพา รวมถึงโรงเรียนระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา เช่น โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญ โรงเรียนโสธศึกษา ส่งผลให้เยาวชนและนักดื่มช่วงอายุอื่น ๆ มีโอกาสเข้าถึงเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ง่าย สะดวก และรวดเร็วมากขึ้น

งานวิจัยนี้กำหนดวัตถุประสงค์หลัก คือ จัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial database) ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยสำรวจและบันทึกพิกัดตำแหน่งด้วยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (global positioning system: GPS) จากนั้นนำมาจัดทำเป็นแผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ส่วนที่ 2 วิเคราะห์ความหนาแน่นและการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยใช้เทคนิค kernel density estimation (KDE) และ average nearest neighbor (ANN) ใน GIS ผลที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการจัดการและวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหา

การตั้งร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดพื้นที่ควบคุมหรือโซนนิ่ง (zoning) สำหรับร้านที่มีการจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ เช่น ผับ และ บาร์ ตลอดจนการให้ใบอนุญาตจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ ของหน่วยงานที่รับผิดชอบ

พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา ได้แก่ อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจและการศึกษา มีสถานที่ท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียง เช่น ชายหาดบางแสน มีมหาวิทยาลัยขนาดใหญ่ นั่นคือ มหาวิทยาลัยบูรพา รวมทั้งสถานศึกษาระดับประถมศึกษา มัธยมศึกษา และอาชีวศึกษาหลายแห่ง อีกทั้งยังมีนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงทำให้มีประชาชนและนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดสถานบันเทิง ร้านอาหาร และร้านค้ามากมายที่มีการขายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ดัง Figure 1

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่

1. เครื่อง GPS ใช้สำหรับเก็บค่าพิกัดตำแหน่งที่ตั้งร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์และสถานศึกษา
2. ซอฟต์แวร์ ArcGIS Desktop 10.0 ใช้สำหรับจัดเก็บและแสดงตำแหน่งที่ตั้งร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์และขอบเขตของสถานศึกษา นอกจากนี้ยังใช้ในการวิเคราะห์ KDE และ ANN ของร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในระยะทาง 300 และ 500 เมตร

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. การจัดทำฐานข้อมูลเชิงพื้นที่

ข้อมูลที่ต้องดำเนินการมี 2 ประเภท ดังนี้

1.1 ข้อมูลสถานศึกษา โดยรวบรวมข้อมูลสถานศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายมีจำนวน 33 แห่ง และระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษามีจำนวน 15 แห่ง จากนั้นสร้างขอบเขตพื้นที่ (polygon) ของสถานศึกษาโดยใช้เทคนิคการลากเส้น (digitize) จากภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth ต่อมาทำการเพิ่มข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ได้แก่ ชื่อและที่ตั้งของสถานศึกษา และจัดทำแผนที่แสดงที่ตั้งของสถานศึกษาทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่

1.2 ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ เริ่มจากสำรวจและบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 และ 500 เมตร รอบสถานศึกษาโดยใช้เครื่อง GPS และจำแนกร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ร้านขายของชำ ร้านสะดวกซื้อ ร้านอาหาร และผับ บาร์ และอื่น ๆ หลังจากนั้นทำการแก้ไขและจัดการข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ได้แก่ ที่อยู่และประเภทของร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์ และจัดทำแผนที่แสดงที่ตั้งของร้านจำหน่ายเครื่องตัดไม้แอลกอฮอล์

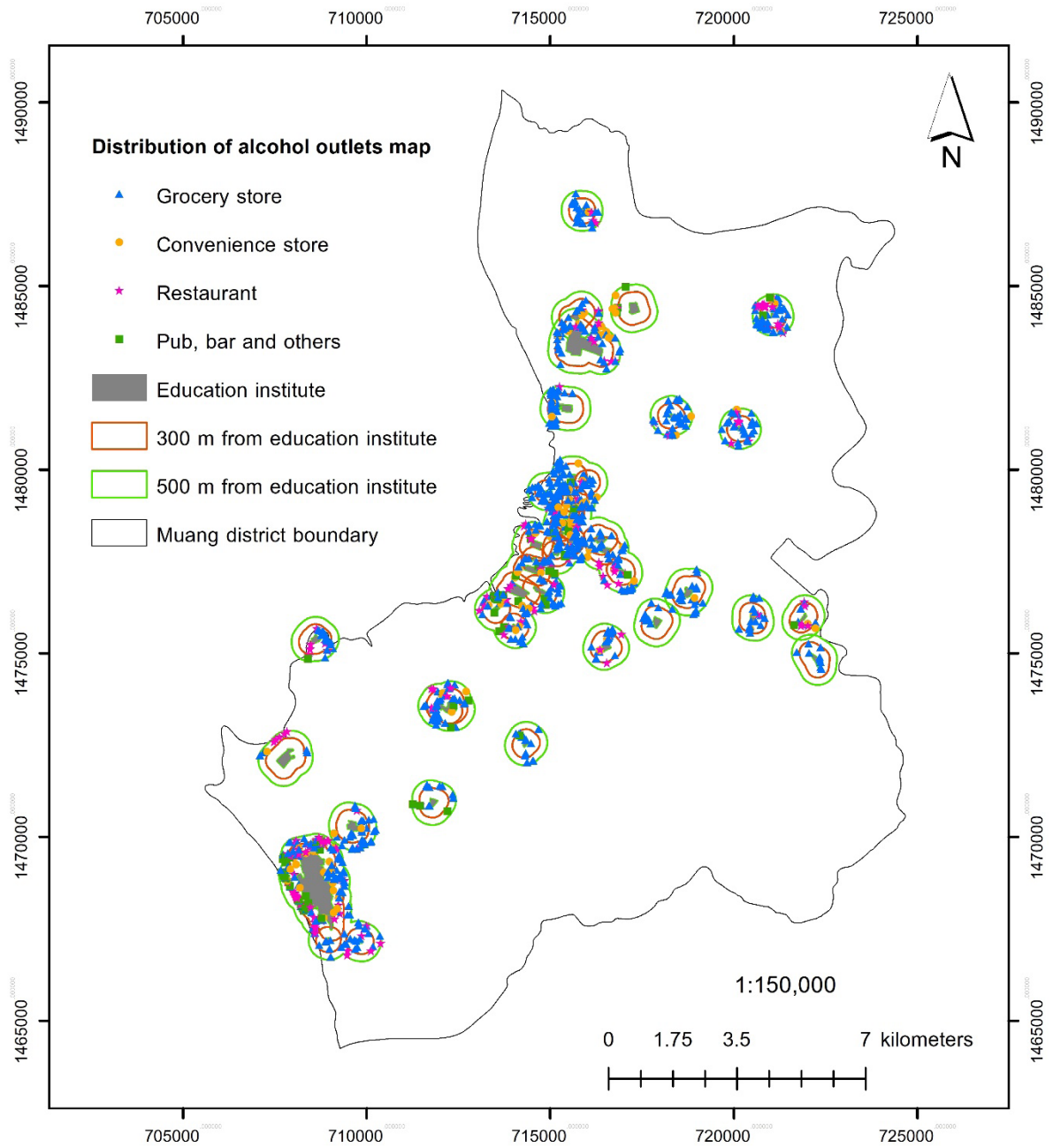


Figure 1 Study area of Muang district and distribution of alcohol outlets around educational institutes

2. การวิเคราะห์ความหนาแน่นของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

KDE เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและเป็นที่ยอมรับมากในการจำแนกการกระจายตัวและความหนาแน่นของข้อมูลจุด^{9, 10, 11} โดย KDE มีรูปแบบของสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ดัง Equation 1

$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{d_i}{h}\right) \quad (1)$$

โดยที่ $f(x, y)$ แทนความหนาแน่น ณ ตำแหน่ง (x, y) , n เป็นจำนวนจุดทั้งหมด, h คือ ช่วงความถี่ (Bandwidth), K คือ ฟังก์ชันเคอร์เนล และ d_i คือ ระยะห่างระหว่างจุด โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดช่วงความถี่เท่ากับ 300 เมตร และขนาดของ Cell Size เท่ากับ 50 เมตร

3. การวิเคราะห์การกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

รูปแบบการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 และ 500 เมตร จากขอบเขตสถานศึกษาโดยใช้เทคนิค ANN^{6, 12} และกำหนดรูปแบบการคำนวณระยะทางด้วยวิธี Euclidean distance ดัง Equation 2

$$ANN = \frac{\bar{D}_O}{\bar{D}_E} \quad (2)$$

เมื่อ \bar{D}_O คือ ระยะทางที่สังเกตได้เฉลี่ยระหว่างแต่ละจุดกับจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งคำนวณได้ดัง Equation 3

$$\bar{D}_O = \frac{\sum_i^n d_i}{n} \quad (3)$$

และ \bar{D}_E คือ ระยะทางที่คาดหวังเฉลี่ยสำหรับจุดที่มีการกระจายตัวแบบสุ่ม คำนวณได้จาก Equation 4

$$\bar{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad (4)$$

โดยที่ d_i เป็นระยะทางระหว่างจุดแต่ละจุดกับจุดที่อยู่ใกล้ที่สุด, n เป็นจำนวนจุดทั้งหมด และ A เป็นค่าของพื้นที่ที่กำหนด

ในขณะที่ค่า z-score ของ ANN คำนวณได้จาก Equation 5

$$Z = \frac{\bar{D}_O - \bar{D}_E}{SE} \quad (5)$$

เมื่อ SE สามารถคำนวณได้จาก Equation 6

$$SE = \frac{0.26136}{\sqrt{n^2/A}} \quad (6)$$

การกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จำแนกออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบกลุ่ม (clustered, z-score < -2.58) แบบกระจายตัว (dispersed, z-score > 2.58) และแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน (random, z-score = -2.58 - 2.58) โดยกำหนดสมมติฐานหลัก (H_0) สำหรับการศึกษานี้คือ ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่ตั้งอยู่โดยรอบสถานศึกษาแต่ละแห่งจะมีการกระจายตัวแบบสุ่มที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) เท่ากับ 0.01

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. สถานศึกษา

จากการรวบรวมข้อมูลสถานศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย อาชีวศึกษา และอุดมศึกษา ในอำเภอเมืองชลบุรี สามารถจำแนกสถานศึกษาออกเป็นระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย 33 แห่ง และระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษา 15 แห่ง รวมทั้งสิ้น 48 แห่ง

เมื่อทำการสร้างพื้นที่กันชน (buffer) จากขอบเขตสถานศึกษาเป็นระยะทาง 300 และ 500 เมตร พบว่าพื้นที่บางส่วนที่เกิดจากการสร้างพื้นที่กันชนซ้อนทับกัน ส่งผลให้ไม่สามารถจำแนกขอบเขตของสถานศึกษาแต่ละแห่งได้ชัดเจน ดังนั้น หากสถานศึกษาใดมีพื้นที่กันชนซ้อนทับกันจะจัดให้อยู่ในพื้นที่หรือโซน (zone) เดียวกัน จึงสามารถแบ่งสถานศึกษาออกเป็น 20 โซน (z1-z20) โดยโซนที่มีสถานศึกษา 1 แห่ง ได้แก่ โซนที่ 2, 3, 4, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 19 และ 20 ส่วนโซนที่มีสถานศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ โซนที่ 5, 10 และ 17 นอกจากนี้โซนที่มีสถานศึกษา 4 แห่ง ได้แก่ โซนที่ 1 ส่วนโซนที่มีสถานศึกษามากที่สุด ได้แก่ โซนที่ 8 มีสถานศึกษาทั้งสิ้น 23 แห่ง ดังแสดงใน Table 1

Table 1 Number and name of educational institutes in each zone

Zone	Name of educational institute
1	Piboonbumpen Demonstration School, Wonnapasub School, Watratsatta School, Burapha Univeristy
2	Saensuk School
3	Bangsaen Technical College
4	Sammuk Christian Academy
5	Prabhassorn Vidhaya School, Chonburi Technological College
6	Wat Khaochoengtien School
7	Ang-Sila Phittayakom School
8	Petpittayakom School, Suttharat Wattanalai School, Thessaban Watpho School, Thessaban Wat Kamphaeng School, Wutthi Wittaya School, Preechanusas School, Indhapanya School, Tessaban Chonrajnukhro School, Chonkanyanukoon School, Tessaban Watnernsuthawat School, Sutarat School, Chonradsadornumrung School, Bansuan Udomwitthaya School, Bansuan Jananusorn School, Mary Immaculate Convent School, Cholphinij Technological College, Sirindhorn College of Public Health, Chonburi, Boromarajonani College of Nursing, Chon Buri, Darasamutr Business Administration Technological College, Chonburi Vocational College, Muangchol Commercial Technological College, Thaibenja Business Administration Techological College, Chonburi Business Administration Technological College
9	Bangkok Chonburi Technical of Business Administration Vocational College
10	Sarasas Witaed Chonburi School, Wutti Witthaya School 2
11	Chumchon Wat Nongri School
12	Technological College of Engineering and Business Administration
13	Nongree Momgkon Suksawad School
14	Chonburi Sukhabot School
15	Wat Rat Samosorn School
16	Watthongkung School
17	Sripatum University, Chonburi Campus, Institute of Physical Education, Chonburi Campus
18	Kasetsart University Laboratory School Multilingual Program Center for Educational Research and Development
19	Watdondamrongtham School
20	Watboonyarasri School

2. ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ประเภท ได้แก่ ร้านขายของชำ ร้านสะดวกซื้อ ร้านอาหาร และ
ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบ่งออกเป็น 4 ผับ บาร์ และอื่น ๆ มีรายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Number of alcohol outlets in 300 and 500 meters around educational institutes in each zone

Zone	Number of alcohol outlets in 300 meters around educational institutes					Number of alcohol outlets in 500 meters around educational institutes				
	A	B	C	D	Total	A	B	C	D	Total
1	57	19	33	24	133	99	24	54	43	220
2	10	1	0	0	11	30	2	2	0	34
3	3	1	0	1	5	12	0	1	3	16
4	0	0	0	0	0	5	1	5	0	11
5	25	3	3	1	32	36	4	6	3	49
6	9	0	0	1	10	14	0	0	1	15
7	18	5	0	0	23	22	2	8	1	33
8	204	32	33	36	305	287	40	46	41	414
9	15	3	2	0	20	19	3	4	0	26
10	19	1	0	0	20	31	1	0	0	32
11	12	2	1	0	15	18	2	1	0	21
12	4	1	4	1	10	5	2	5	1	13
13	8	0	0	0	8	9	0	0	0	9
14	17	2	1	0	20	34	2	2	0	38
15	13	0	0	0	13	27	2	2	0	31
16	10	0	4	0	14	26	2	7	0	35
17	31	7	5	0	43	45	12	11	0	68
18	0	0	0	0	0	0	4	1	3	8
19	17	2	6	1	26	38	4	17	2	61
20	17	1	1	0	19	22	1	3	0	26
Total	489	80	93	65	727	779	108	175	98	1,160

A = grocery store, B = convenience store, C = restaurant, D = pub, bar, others

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในระยะทาง 300 และ 500 เมตร ปรากฏว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 727 และ 1,160 แห่ง ตามลำดับ ในระยะทาง 300 เมตร จากสถานศึกษาพบร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รวมทั้งสิ้น 727 แห่ง จำแนกเป็นประเภทร้านขายของชำมากที่สุด 489 แห่ง รองลงมา ได้แก่ ร้านอาหาร 93 แห่ง ร้านสะดวกซื้อ 80 แห่ง และผับ บาร์ และอื่น ๆ 65 แห่ง เมื่อพิจารณาเป็นโซนพบว่า โซน 8 มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากที่สุด 305 แห่ง เนื่องจากในโซนนี้มีโรงเรียนที่ตั้งอยู่ติดกันมากที่สุดถึง 23 แห่ง จึงส่งผลให้มีจำนวนร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากตามไปด้วย รองลงมา ได้แก่ โซน 1 มีจำนวน 133 แห่ง โดยโซนนี้มีสถานศึกษาสำคัญ ได้แก่ มหาวิทยาลัยบูรพา และบริเวณนี้ยังเป็นที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยวสำคัญนั่นคือ ชายหาดบางแสน ซึ่งมีกลุ่มผู้ดื่มอยู่ 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ นิสิตที่เรียนอยู่ในมหาวิทยาลัยบูรพา และนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวในบางแสน นอกจากนี้ยังพบว่ามี 2 โซนที่ไม่มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์อยู่รอบสถานศึกษาในระยะทาง 300 เมตร ได้แก่ โซน 4 และ 18 ดัง Table 2

ร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในระยะทาง 500 เมตร มีจำนวนทั้งสิ้น 1,160 แห่ง แบ่งเป็นประเภทร้านขายของชำมากที่สุด 779 แห่ง รองลงมา ได้แก่ ร้านอาหาร 175 แห่ง ร้านสะดวกซื้อ 108 แห่ง และผับ บาร์ และอื่น ๆ 98 แห่ง โซนที่มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มากที่สุดยังคงเป็นโซนที่ 8 เท่ากับ 414 แห่ง รองลงมา ได้แก่ โซนที่ 1 เท่ากับ 220 แห่ง และโซนที่ 17 เท่ากับ 68 แห่ง ซึ่งเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยศรีปทุม วิทยาเขตชลบุรีและสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชลบุรี ดัง Table 2

3. ความหนาแน่นของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา

ความหนาแน่นของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แต่ละโซนมีค่าแตกต่างกันไปตามจำนวนของร้าน โดยโซน 8 ซึ่งครอบคลุมสถานศึกษามากที่สุด 23 แห่ง และมีจำนวนร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 และ 500 เมตร เท่ากับ 305 และ 414 แห่ง ตามลำดับ จึงส่งผลให้โซน 8 มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าโซนอื่น โดยสถานศึกษาของโซน 8 ที่มีค่าความหนาแน่นสูง ได้แก่ วิทยาลัยเทคโนโลยีชลพิณิจ ที่อยู่ตอนล่างของพื้นที่ นอกจากนี้ยังพบในบริเวณตอนกลางและตอนบนของพื้นที่ บริเวณโรงเรียนเทศบาลวัดเนินสุทธาวาส โรงเรียนเทศบาลชลราษฎรรัษฎา และวิทยาลัยเทคโนโลยีชลบุรีบริหารธุรกิจ ดัง Figure 2

โซนที่มีค่าความหนาแน่นสูงอีกแห่งหนึ่ง คือ โซน 1 ซึ่งเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยบูรพา โรงเรียนสาธิตพิบูลบำเพ็ญ โรงเรียนวอนนภาพศัพย์ และโรงเรียนวัดราษฎร์ศรัทธา ประกอบกับบริเวณนี้มีแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญนั่นคือ ชายหาดบางแสน ถือเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมมาก บริเวณนี้จึงมีประชากรและนิสิตอาศัยอยู่จำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีนักท่องเที่ยวที่เดินทางมาท่องเที่ยวอีกด้วย ในระยะทาง 300 เมตร รอบสถานศึกษาที่อยู่ในโซนนี้มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ตั้งอยู่และกระจายอยู่ทั่วทั้งพื้นที่ โดยเฉพาะด้านตะวันตกที่มีค่าความหนาแน่นสูงเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากเป็นชายหาดบางแสนและชายหาดวอนนภาพซึ่งมีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ตั้งเรียงรายตลอดแนวชายหาด นอกจากนี้ทางตอนบนของพื้นที่ตามแนวถนนลงหาดบางแสนก็มีค่าความหนาแน่นสูงเช่นกัน ซึ่งเมื่อเพิ่มระยะทางเป็น 500 เมตร รอบสถานศึกษากลับพบว่าบริเวณที่มีค่าความหนาแน่นสูงสุดเปลี่ยนไปอยู่ทางตอนบนของพื้นที่ตามแนวถนนลงหาดบางแสนซึ่งติดกับชายหาดบางแสน ในบริเวณนี้มีผับบาร์ และร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ตั้งอยู่จำนวนมากทั้งสองฝั่งของถนน ดัง Figure 2

นอกจากนี้ยังพบว่าโซน 4 และ 18 ในระยะทาง 300 เมตร จากสถานศึกษา ไม่พบร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ดังนั้นในพื้นที่ดังกล่าวจึงมีค่าความหนาแน่นเท่ากับศูนย์

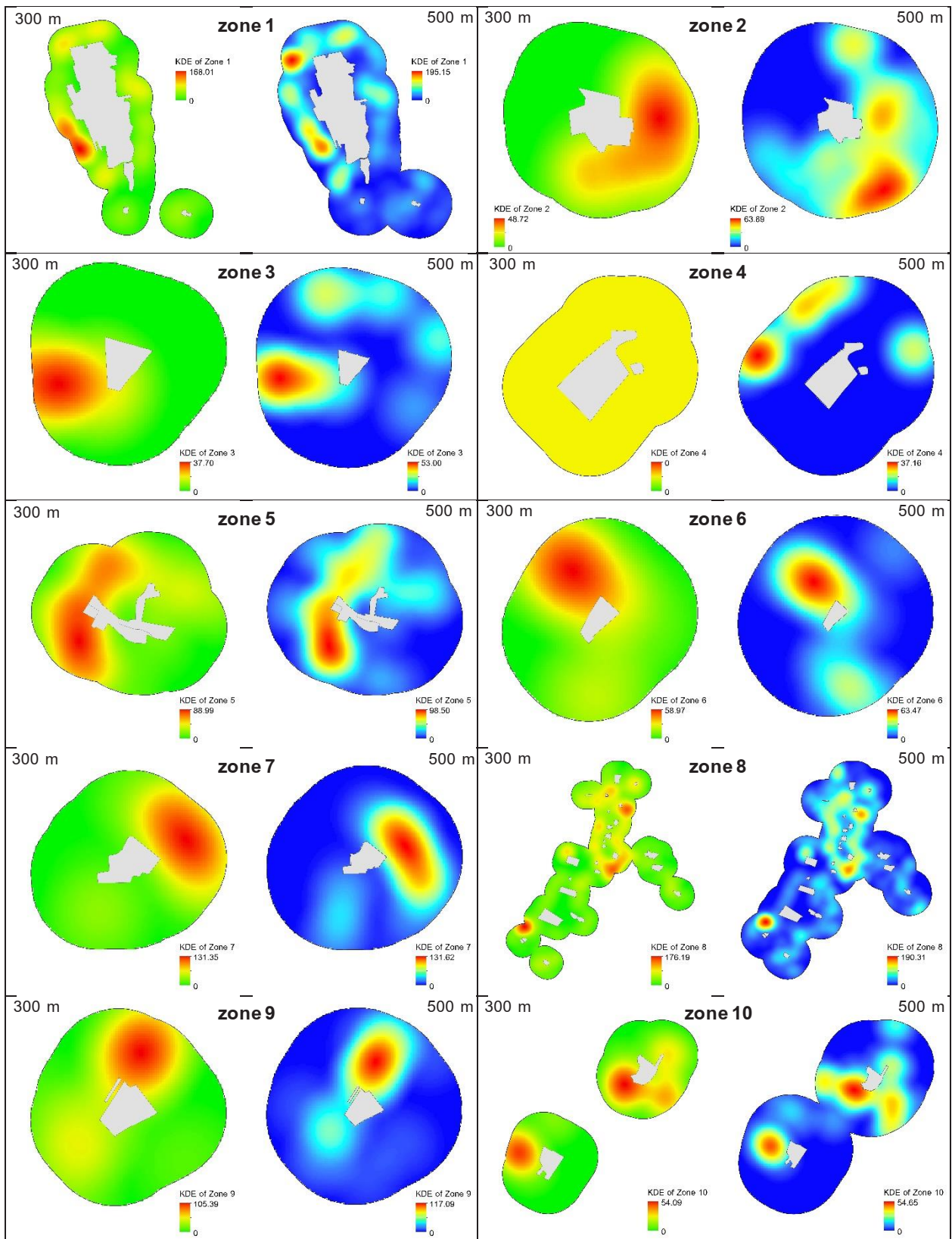


Figure 2 KDE of alcohol outlets in 300 and 500 meters around educational institutes

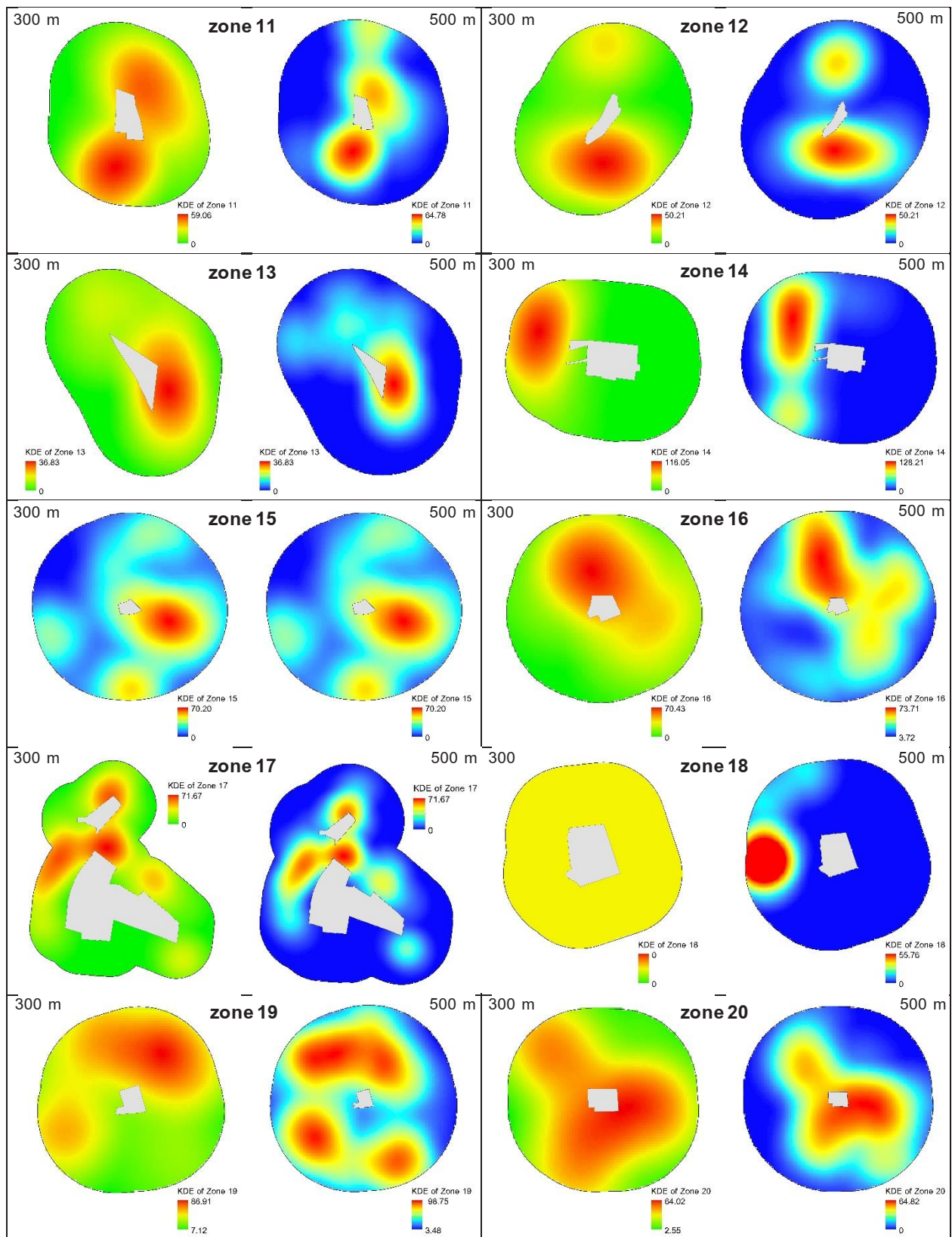


Figure 2 KDE of alcohol outlets in 300 and 500 meters around educational institutes (Continue)

4. การกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา

จากผลการวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา ทั้งในระยะทาง 300 และ 500 เมตร ปรากฏว่ามีรูปแบบการกระจายตัวครบทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบกลุ่ม แบบกระจุกกระจาย และแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน โดยส่วนใหญ่อยู่ในรูปแบบสุ่ม รองลงมา คือ แบบกลุ่ม และแบบกระจุกกระจาย โดยในโซนที่ 8 และ 1 ซึ่งมีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จำนวนมาก รูปแบบการกระจายตัวเป็นแบบกลุ่มทั้งในระยะทาง 300 และ 500 เมตร และยังพบรูปแบบการกระจายตัวแบบนี้อยู่ในโซนที่ 7 และ 17 จากผลลัพธ์ที่ได้สามารถอธิบายได้จากค่าสถิติ กล่าวคือ โซน 1 ในระยะทาง 300 เมตร มีค่า p -value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ ($p < 0.01$) ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ว่าร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในโซน 1 มีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน ประกอบกับค่า z -value ของโซนที่ 1 มีค่า -8.8429 จึงทำให้รูปแบบการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 เมตร ของโซนที่ 1 เป็นแบบกลุ่ม ดัง Table 3

การกระจายของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบบสุ่มซึ่งพบทั้งในระยะทาง 300 และ 500 เมตร รอบสถานศึกษา นั้น ปรากฏอยู่ในโซนที่ 5, 6, 9, 11, 12 และ 20 จะเห็นได้ว่าค่า p -value ของโซนดังกล่าวมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ทั้งสิ้น ($p < 0.01$) ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก (H_0) และส่งผลให้ให้โซนเหล่านี้มีรูปแบบการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่เป็นแบบแผน ดัง Table 3

ส่วนโซนที่ 13 ถือเป็นโซนเดียวที่มีรูปแบบการกระจายตัวเป็นแบบกระจุกกระจายทั้งในระยะทาง 300 และ 500 เมตร โดยมีค่า p -value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่กำหนดไว้ ($p < 0.01$) ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และพิจารณาจากค่า z -value ซึ่งเป็นบวกและมีค่าเท่ากับ 3.1881 และ 2.9558 ตามลำดับ จึงทำให้โซนที่ 13 เป็นโซนเดียวที่มีการกระจายตัวแบบกระจุกกระจายทั้งในระยะทาง 300 และ 500 เมตร ดัง Table 3

ในขณะที่โซนที่เหลือ ได้แก่ โซนที่ 2, 3, 10, 14, 15 และ 19 รูปแบบการกระจายตัวจะแตกต่างกันในระยะทาง 300 และ 500 เมตร เช่น โซนที่ 2 ในระยะทาง 300 เมตร เป็นแบบสุ่ม แต่เมื่อเพิ่มระยะทางเป็น 500 เมตร รูปแบบการกระจายตัวจะเปลี่ยนไปเป็นแบบกลุ่ม เป็นต้น และยังพบว่า โซนที่ 4 และ 18 ไม่มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 เมตร จึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของ

โซนดังกล่าวได้ ดังแสดงใน Table 3

สรุปผล

ในอำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี มีสถานศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย 33 แห่ง และระดับอาชีวศึกษาและอุดมศึกษา 15 แห่ง รวมทั้งสิ้น 48 แห่ง โดยพบว่ามีย่านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 และ 500 เมตร รอบสถานศึกษาเหล่านั้นมากถึง 727 และ 1,160 แห่ง ตามลำดับ โดยประเภทของร้านที่พบมากที่สุดเป็นร้านขายของชำ จึงเป็นช่องทางให้เยาวชน ตลอดจนบุคคลอื่นทั่วไปสามารถเข้าถึงเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ เช่น GIS ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมาก และสามารถนำมาใช้ในการจัดการเกี่ยวกับร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้เป็นอย่างดี เช่น การวิเคราะห์ความหนาแน่นหรือการกระจายตัวของร้านต่าง ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ โดยเจ้าหน้าที่หรือผู้บริหารสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ซึ่งแสดงอยู่ในรูปแบบแผนที่ไปใช้ในการบริหารจัดการ และตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง

จากผลการวิจัยพบว่ามีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในระยะทาง 300 และ 500 เมตร รอบสถานศึกษาเป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยังไม่สามารถดำเนินการเกี่ยวกับการอนุญาตจัดตั้งร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษา รวมถึงการใช้มาตรการควบคุมการเปิดปิดร้านเหล่านี้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสถาบันการศึกษาหลายแห่งที่มี นักเรียนหรือนิสิตนักศึกษาจำนวนมาก เช่น มหาวิทยาลัยบูรพา ที่มีร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์หลากหลายประเภท ทั้งในรูปแบบของร้านนั่งดื่มประเภทผับและบาร์ ร้านขายของชำ ตลอดจนร้านสะดวกซื้อตั้งอยู่ติดกับมหาวิทยาลัย นิสิตสามารถเดินทางหรือซื้อเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากการจำหน่ายตลอด 24 ชั่วโมง

Table 3 Distribution patterns of alcohol outlets in 300 and 500 meters around educational institutes

Zone	300 meters			500 meters		
	p-value	z-score	pattern	p-value	z-score	pattern
1	0.0000	-8.8429	clustered	0.0000	-9.9515	clustered
2	0.3129	1.0092	random	0.0154	-2.4229	clustered
3	0.1107	1.5951	random	0.0129	2.4856	clustered
4	No data			0.0048	-2.8169	clustered
5	0.7113	-0.3701	random	0.1308	-1.5108	random
6	0.9633	0.0461	random	0.7802	-0.2791	random
7	0.0003	-3.6478	clustered	0.0001	-3.9442	clustered
8	0.0000	15.0414	clustered	0.0000	-16.5222	clustered
9	0.1971	-1.2898	random	0.3294	-0.9754	random
10	0.1920	-1.3046	random	0.0068	-2.7077	clustered
11	0.3729	0.8910	random	0.8830	-0.1472	Random
12	0.4292	0.7905	random	0.7257	0.3509	random
13	0.0014	3.1881	dispersed	0.0031	2.9558	dispersed
14	0.0014	3.2041	dispersed	0.2420	-1.1700	random
15	0.0141	2.4537	dispersed	0.4594	0.7398	random
16	0.2243	-1.2153	random	0.3283	-0.9774	random
17	0.0002	-3.7727	clustered	0.0000	-4.9226	clustered
18	No data			0.0003	3.5953	dispersed
19	0.9410	-0.0740	random	0.0961	-1.6639	clustered
20	0.6356	0.4739	random	0.6984	0.3875	random

ผลที่ได้รับจากการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดพื้นที่ควบคุมหรือโซนนิ่ง (zoning) สำหรับร้านที่มีการจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โดยเฉพาะผับ บาร์ หรือร้านนั่งดื่มต่าง ๆ ที่อยู่โดยรอบสถานศึกษาตามประกาศสำนักนายกรัฐมนตรีเรื่องกำหนดสถานที่หรือบริเวณห้ามขายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาในระยะ 300 เมตร ซึ่งนำไปสู่การลดปริมาณการเข้าถึงและการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของเยาวชน นิสิตนักศึกษา และนักเรียนได้ ตลอดจนการให้ใบอนุญาตจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของหน่วยงานที่รับผิดชอบ ซึ่งจะต้องไม่อยู่ในพื้นที่ควบคุมดังกล่าวเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ประเด็นสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การดูแลและควบคุมโดยเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องควรเป็นไปอย่างเข้มงวดและต่อเนื่อง ทั้งในแง่ของการอนุญาตให้ตั้งร้าน และการเข้าร้านประเภทผับ บาร์ หรือการซื้อเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ของเยาวชนที่มีอายุต่ำกว่ากฎหมายกำหนด รวมถึงผู้บริหารของสถานศึกษาทุกแห่งควรให้ความสำคัญและร่วมมือกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชนกำหนดระเบียบข้อบังคับเพื่อควบคุมการดื่มแอลกอฮอล์ของนักเรียนและนิสิตนักศึกษาเพื่อนำไปสู่การลดการดื่มแอลกอฮอล์และปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามมาได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืนต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ประจำปีการศึกษา 2561

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, ลด ละ เลิก การดื่มแอลกอฮอล์ในกลุ่มวัยรุ่น 2557. สืบค้นจาก URL: <https://www.thaihealth.or.th>. วันที่สืบค้น 5 พฤษภาคม 2561.
2. มูลนิธิดับแห่งประเทศไทย. โรคตับและการดื่มสุรา 2558. สืบค้นจาก URL: <https://www.thailiverfoundation.org>. วันที่สืบค้น 9 พฤษภาคม 2561.
3. Pacific Institute. Liquor stores and community health 2009. Available from URL: https://pacinst.org/wpcontent/uploads/2013/02/liquor_store3.pdf. Accessed June 20, 2018.
4. จิราภรณ์ กมลรังสรรค์, นงนุช ใจชื่น, สุรศักดิ์ ไชยสงค์. สถานการณ์จุดจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์. วารสารวิจัยระบบสาธารณสุข 2561;12(1):42-55.
5. ศูนย์วิจัยปัญหาสุรา. สถานการณ์การบริโภคเครื่องดื่มแอลกอฮอล์และผลกระทบในประเทศไทย 2556. สืบค้นจาก URL: www.thailiverfoundation.org. วันที่สืบค้น 2 พฤษภาคม 2561.
6. สุริยา ช้องเสนาะ. ร้านเหล้ารอบมหาวิทยาลัย : แนวทางแก้ไข 2558. สืบค้นจาก URL: https://library2.parliament.go.th/ebook/contentissue/2558/hi2558054.pdf?fbclid=IwAR3IAj5Oj_qJUTSDVZabmtjDq6h0_bHUWF-DUinQdlwvIM0Nct5ARqERGCY. วันที่สืบค้น 5 พฤษภาคม 2562.
7. กนิษฐา ไทยกล้า. การศึกษาเปรียบเทียบความชุกและพฤติกรรมการดื่มของนักเรียนนักศึกษากับความหนาแน่นของสถานที่จำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ ในรัศมี 500 เมตร รอบสถานศึกษา. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์; 2550.
8. ณรงค์ พลธิราช, กฤษณะ อิมสวาสดี, ภาสิรี ยงศิริ, พิเชิตพร ผลเกิดดี. การศึกษาการกระจายตัวของร้านจำหน่ายเครื่องดื่มแอลกอฮอล์รอบสถานศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ : กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์; 2559.
9. Mohaymany AS, Shahri M, Mirbagheri B. GIS-based method for detecting high-crash-risk road segments using network kernel density estimation. Journal Geo-Spatial Information Science. 2013;16(2):113-119.
10. Kwate NOA, Loh JM. Fast food and liquor store density, co-tenancy, and turnover: Vice store operations in Chicago, 1995–2008. Applied Geography. 2016;67:1-13.
11. Rowland B, Evans-Whipp T, Hemphill S, Leung R, Livingston M, Toumbourou JW. The density of alcohol outlets and adolescent alcohol consumption: An Australian longitudinal analysis. Health Place. 2016;37:43-49.
12. ArcGIS Desktop Helps. Average Nearest Neighbor 2018. Available from URL: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/average-nearest-neighbor.htm>. Accessed June 20, 2018.

ผลของมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของเบบี้ฮ่องเต้

Effects of vermicompost on growth and yield of baby pak choi

เบญจวรรณ ชุตติชุต^{1*}, ประสิทธิ์ ชุตติชุต¹, Kong Sela²

Benjawan Chutichudet^{1*}, Prasit Chutichudet¹, Kong Sela²

Received: 17 April 2019 ; Revised: 27 August 2019 ; Accepted: 16 September 2019

บทคัดย่อ

จากกระแสความนิยมบริโภคผักที่ปลอดภัยต่อสุขภาพในปัจจุบัน ทำให้มีการนำปุ๋ยอินทรีย์มาใช้ในกระบวนการผลิตเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะมูลไส้เดือน การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการให้มูลไส้เดือนดินสายพันธุ์ *Eudrilus eugeniae* 4 ระดับ ได้แก่ 1000 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ให้มูลไส้เดือน) และการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ในการผลิตผักเบบี้ฮ่องเต้ มูลไส้เดือนจะถูกแบ่งใส่เป็น 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ผสมกับวัสดุก่อนปลูก อีก 2 ครั้งที่เหลือจะใส่ให้กับต้นเบบี้ฮ่องเต้ขณะต้นอายุ 10 และ 20 วันหลังย้ายปลูก ขณะที่กรรมวิธีที่ให้ปุ๋ยเคมีจะแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือใส่เป็นปุ๋ยรองกันหลุม และใส่หลังจากย้ายปลูก 10 วัน วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำๆ ละ 10 ต้น ทำการทดลองระหว่างเดือนมกราคม ถึงเดือนมีนาคม 2561 ณ แปลงทดลองเกษตร และห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลการทดลองพบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ที่ได้รับ มูลไส้เดือนดินอัตรา 3000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกันกับกรรมวิธีให้ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ โดยมีการเจริญเติบโตในด้านความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบ และน้ำหนักสดต่อต้นมากที่สุด ($P < 0.01$)

คำสำคัญ: มูลไส้เดือนดิน เบบี้ฮ่องเต้ การเจริญเติบโต ผลผลิต

Abstract

The popular trend for consuming vegetables that are safe for health has increased leading to the introduction of organic fertilizers in vegetable production, especially vermicompost. The aim of this experiment was to assess the response of vermicompost application of *Eudrilus eugeniae* at four levels: 1000, 2000, 3000 and 4000 kg per rai compared with control (without vermicompost application) and 12-8-8 chemical fertilizer at rate of 75 kg per rai for baby pak choi production. Vermicomposts were applied three times, the first was mixed with planting material. The other two times were applied to baby pak choi at 10 and 20 days after transplanting, whereas chemical fertilizer was applied two times, - a basal application and another 10 days after transplanting. The experiment was arranged in a Completely Randomized Design, with four replicates, ten plants per replication. The experiment was conducted during January to March, 2018 at experimental field of the Agricultural Technology Department, Faculty of Technology, Mahasarakham University. The results showed that baby pak choi grown in mixtures of planting material with 3000 kg per rai vermicompost had the maximal characteristics of plant height, stem diameter, leaf number and fresh weight per plant, close to a level similar to those grown in mixtures of soil with 12-8-8 chemical fertilizer at 75 kg per rai ($P < 0.01$).

Key words: Vermicompost, baby pak choi, growth, yield

¹ อาจารย์, ² นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Lecturer, ² Undergraduate student, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author: Benjawan Chutichudet, Department of Agricultural Technology, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

บทนำ

ปัจจุบันเบบี้ฮ่องเต้ (*Brassica campestris* L. var. *chinensis*) เป็นพืชผักในวงศ์ Brassicaceae ที่กำลังได้รับความนิยมนำมาบริโภคกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีก้านใบหนาขนาดใหญ่ สีเขียวอ่อน ต้นมีขนาดเล็กเหมาะสำหรับใช้บริโภค ซึ่งสามารถนำมาใช้บริโภคได้ทั้งส่วนของใบและลำต้นโดยเฉพาะเป็นแหล่งให้คุณค่าทางอาหารในปริมาณสูงหลายชนิด เช่น วิตามินเอ วิตามินซี ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส และให้ปริมาณเยื่อใยสูง เมื่อนำมาประกอบอาหารจะมีรสชาติหวานกรอบ¹ ในประเทศไทยสามารถปลูกผักเบบี้ฮ่องเต้ได้ตลอดปี โดยมีอายุเก็บเกี่ยวภายหลังปลูกประมาณ 30-45 วันเนื่องจากเป็นพืชผักที่สามารถทนต่อสภาพอากาศร้อนในช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 20-25 องศาเซลเซียส ทำให้มีการส่งเสริมให้ปลูกผักเบบี้ฮ่องเต้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่มีปริมาณสูงตลอดปี ทั้งช่องทางการจำหน่ายในประเทศและตลาดเพื่อการส่งออก² อย่างไรก็ตามการผลิตผักเบบี้ฮ่องเต้ในบางพื้นที่ เกษตรกรยังนิยมนำปุ๋ยเคมีมาใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อส่งเสริมผลผลิตให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จากปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่สูงเพิ่มขึ้น และก่อให้เกิดปัญหาในด้านความปลอดภัยต่อสุขภาพของทั้งเกษตรกรผู้ผลิตและผู้บริโภค เนื่องจากพบการปนเปื้อนสารเคมีที่ติดมากับผลผลิต ขณะที่ในปีปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาให้ความสนใจและใส่ใจในการดูแลสุขภาพของตนเองมากขึ้นโดยเฉพาะการบริโภคอาหารที่ได้จากการผลิตในรูปแบบอินทรีย์ เพราะจะให้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ไม่มีสารพิษตกค้าง ปลอดภัยต่อผู้บริโภค และส่งเสริมสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น การผลิตด้วยวิธีดังกล่าวจึงนิยมนำปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด และปุ๋ยมูลไส้เดือนดินมาใช้ทดแทนปุ๋ยเคมี³ มูลไส้เดือนจัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างไส้เดือนดินกับจุลินทรีย์⁴ มีงานวิจัยที่รายงานว่ามูลไส้เดือนสามารถนำมาใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการเพิ่มผลผลิตพืชหลายชนิด⁵ จึงทำให้มูลไส้เดือนดินถูกนำมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรโดยเฉพาะการผลิตผักอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดลองนำมูลไส้เดือนดินมาผสมลงในวัสดุปลูกเบบี้ฮ่องเต้ เพื่อศึกษาผลของมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของเบบี้ฮ่องเต้ในสภาพแปลงปลูกที่แปลงทดลองเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยดินในแปลงทดลองมีเนื้อดินอยู่ในชุดดินกันทรวิชัย (Kantara Wichai series:Ka)

วิธีการดำเนินงานวิจัย

เพาะเลี้ยงไส้เดือนดิน *Eudrilus eugeniae* ในกะละมังพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 43 เซนติเมตร บริเวณก้นภาชนะเจาะรูขนาด 0.5 มิลลิเมตร จำนวน 10 รู วัสดุที่อยู่ (Bedding) ของไส้เดือนได้จากมูลวัวนมแห้งที่ผ่านการแช่และเปลี่ยนถ่ายน้ำ เพื่อให้มูลวัวมีความชื้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของไส้เดือนดิน โดยใส่มูลวัวน้ำหนัก 5 กิโลกรัมในภาชนะเลี้ยงให้มีความสูงหนา 6 นิ้ว แล้วใส่ไส้เดือนดินพันธุ์ AF (African Night Crawler) ขนาดตัวเต็มวัย จำนวน 50 ตัวต่อ 1 ภาชนะ นำภาชนะเลี้ยงไว้ในบริเวณที่ไม่มีแสงแดด ไม่โดนฝน อากาศถ่ายเทได้สะดวก อาหารที่ใช้เลี้ยงจะนำเศษผักผลไม้ น้ำหนัก 120 กรัม เพื่อเป็นอาหารให้กับไส้เดือนดิน โดยจะให้อาหารแก่ไส้เดือนดินทุก 3 วัน เก็บรวบรวมมูลไส้เดือนดินบริเวณผิวด้านบนภาชนะ นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3 มิลลิเมตร เพื่อแยกมูลไส้เดือนดินออกจากมูลวัวสำหรับนำไปใช้ในงานทดลอง วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) จำนวน 4 ซ้ำ ซ้ำละ 10 ต้น โดยให้มูลไส้เดือนดินในอัตราที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 1000 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ให้มูลไส้เดือนดิน) และปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งใส่มูลไส้เดือนดินแต่ละกรรมวิธีเป็น 3 ครั้ง ครั้งที่ 1 ผสมกับดินก่อนปลูก อีก 2 ครั้งที่เหลือจะใส่ให้กับผักเบบี้ฮ่องเต้ที่อายุ 10 และ 20 วันหลังย้ายปลูก ขณะที่ปุ๋ยเคมีจะแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือใส่เป็นปุ๋ยรองก้นหลุม และใส่หลังย้ายปลูก 10 วัน ประกอบด้วยกรรมวิธีดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 ชุดควบคุม (ไม่ให้มูลไส้เดือนและไม่ใส่ปุ๋ยเคมี)
- กรรมวิธีที่ 2 ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 3 ให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 4 ให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 2000 กิโลกรัมต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 5 ให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 3000 กิโลกรัมต่อไร่
- กรรมวิธีที่ 6 ให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อไร่

นำเมล็ดผักเบบี้ฮ่องเต้ ตราเครื่องบินของบริษัท เจียไต๋เพาะในถาดหลุม แล้วคัดเลือกต้นกล้าที่มีความแข็งแรงปลูกในถุงพลาสติกขนาด 5 x 8 นิ้ว ที่ใส่วัสดุปลูกประกอบด้วยดิน:แกลบดิบอัตราส่วน 3:2 แล้วนำมาผสมกับมูลไส้เดือนดินตามอัตราต่างๆ ของแต่ละกรรมวิธี ผสมให้เข้ากันแล้วกรอกวัสดุที่ผสมแล้วใส่ถุงปลูก รดน้ำทุกวันอย่างสม่ำเสมอ ถอนกำจัดวัชพืชด้วยมือ บันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเบบี้

ช่องเตี้ยทุก 4 วันดังนี้ ความสูงต้น ความกว้างใบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบต่อต้น ในวันเก็บเกี่ยวผลผลิตขณะต้นอายุ 28 วันหลังย้ายปลูก บันทึกข้อมูลน้ำหนักสดต่อต้นมวลชีวภาพตามวิธีของ Kira and Shidei (1967)⁶ ค่าความเขียวของใบ โดยใช้ SPAD chlorophyll meter SCMR) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ ตามวิธีของ Procter (1981)⁷ ขณะที่ปริมาณธาตุอาหารในวัสดุปลูกของแต่ละกรรมวิธีในระยะก่อนปลูกและภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ (Available P) โดยใช้ Bray 2 เป็นสารสกัดตามวิธีการของ Murphy and Railey ปริมาณโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ (Available K) โดยใช้ NH_4OAc ความเข้มข้น 1 normal ทำหน้าที่เป็นสารสกัด และปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic matter; OM) โดยวิธี Walkley-Black Method

นำข้อมูลที่รวบรวมมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของการใส่มูลไส้เดือนดินแต่ละกรรมวิธีต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของเบบี้ฮ่องเต้ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Least Significant Differenced (LSD) โดยใช้โปรแกรม Statistix 9 กำหนดความเชื่อมั่นทางสถิติที่ระดับ $P < 0.05$

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การเจริญเติบโตของต้นเบบี้ฮ่องเต้ภายหลังได้รับมูลไส้เดือนดินที่อัตราแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 1000 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ เปรียบเทียบกับชุดควบคุม (ไม่ใส่มูลไส้เดือน) และใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ได้ผลการทดลองดังนี้

ความสูงต้น

ภายหลังการย้ายปลูก 4 8 และ 12 วัน พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้มีความสูงต้นเฉลี่ยในทุกกรรมวิธีไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีความสูงต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.08-2.44 2.82-3.63 และ 3.48-5.01 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ภายหลังย้ายปลูกตั้งแต่วันที่ 16 เป็นต้นไปจนถึงวันที่ 28 พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ มีความสูงต้นมากที่สุดและกรรมวิธีทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นมีความสูงต้นที่ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (Table 1) ขณะที่ Control และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่มีความสูงต้นเฉลี่ยน้อยที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใส่มูลไส้เดือนดินที่อัตรา 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเบบี้ฮ่องเต้ในด้านความสูงต้นใกล้เคียงกันกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-

8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาติ และคณะ (2557)⁸ ที่ศึกษาผลของมูลไส้เดือนดินต่อการเจริญเติบโตของผักบั้งจีน พบว่าการให้มูลไส้เดือนดินที่อัตรา 1600 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ต้นผักบั้งจีนมีความสูงใกล้เคียงกับการใส่ปุ๋ยเคมี เพราะมูลไส้เดือนจะค่อยๆ ปลดปล่อยธาตุอาหารให้แก่พืชปลูก โดยเฉพาะธาตุอาหารพืชที่อยู่ในรูปที่ต้นพืชสามารถพร้อมนำไปใช้ได้ มีส่วนประกอบของธาตุอาหารรองและธาตุอาหารเสริมเกือบทุกชนิดที่พืชต้องการมีสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งจะช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโตของพืชให้เกิดขึ้นได้อย่างปกติ⁹ (Edwards and Burrows, 1988)

ความกว้างใบ

ขณะต้นเบบี้ฮ่องเต้อายุ 4 และ 8 วันหลังย้ายปลูก พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีความกว้างใบเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีความกว้างใบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.74-0.87 และ 0.95-1.20 เซนติเมตร ตามลำดับ ต่อมาเมื่อต้นเบบี้ฮ่องเต้มีอายุ 12 วันหลังย้ายปลูก พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ มีความกว้างใบเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 1.95 3.09 3.78 3.99 และ 4.18 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่กรรมวิธีควบคุม (ไม่ใส่มูลไส้เดือน) มีความกว้างใบเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 1.27 1.76 2.11 2.27 และ 2.24 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 2)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

ภายหลังย้ายปลูก 16 วัน เริ่มทำการเก็บบันทึกข้อมูลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.28-0.37 เซนติเมตร ต่อมาในวันที่ 20 24 และ 28 หลังย้ายปลูก พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นมากที่สุดเท่ากับ 0.49 0.55 และ 0.58 เซนติเมตร ตามลำดับ ขณะที่ต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินที่อัตรา 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นใกล้เคียงกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ในวันที่ 28 หลังย้ายปลูกเท่ากับ 0.50 และ 0.52 เซนติเมตร ตามลำดับ (Table 3)

จำนวนใบต่อต้น

ภายหลัง 4 และ 8 วันหลังย้ายปลูก พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ โดยมีจำนวนใบเฉลี่ยต่อต้นอยู่ระหว่าง 2.19-2.44 2.91-3.19 และ 4.52-5.67 ใบ ตามลำดับ เมื่อต้นเบบี้ฮ่องเต้มีอายุ 12 16 20 และ 28 วันหลังย้ายปลูก พบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 2000 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบต่อต้นเฉลี่ยมากที่สุด ขณะที่ต้นเบบี้ฮ่องเต้ในชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีจำนวนใบต่อต้นน้อยที่สุด (Table 4) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 2000 3000

และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของเบบี้ฮ่องเต้ในด้านจำนวนใบต่อต้นใกล้เคียงกันกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุชาดาและคณะ (2557)⁸ ที่รายงานว่าการใช้มูลไส้เดือนดินสามารถใช้ทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมีได้กับพืชที่มีอายุสั้นได้ ขณะที่อัญชลี และคณะ (2555)¹⁰ ศึกษาผลของมูลไส้เดือนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ Iceberg ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน พบว่าวัสดุปลูกที่ใส่มูลไส้เดือน *E. euginae* อัตรา 2,000 และ 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยในด้านความกว้างทรงพุ่ม จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวใบ น้ำหนักสดใบและราก น้ำหนักแห้งใบและรากมากที่สุด

Table 1 Plant height of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer

Treatment	Plant height (cm) at different days after transplanting						
	4 d	8 d	12 d	16 d	20 d	24 d	28 d
Control	2.08	2.82	3.48	4.59b	5.21b	5.96c	5.81b
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.rai ⁻¹	2.44	3.63	5.01	6.79a	8.51a	9.16a	8.90a
Vermicompost 1000 kg.rai ⁻¹	2.20	2.92	3.59	4.49b	5.24b	6.43bc	6.18b
Vermicompost 2000 kg.rai ⁻¹	2.28	3.07	4.22	5.62ab	6.88ab	8.17ab	7.62a
Vermicompost 3000 kg.rai ⁻¹	2.33	3.14	4.42	5.72ab	6.88ab	7.61abc	8.07a
Vermicompost 4000 kg.rai ⁻¹	2.42	3.27	4.48	6.08a	7.23a	8.29ab	8.63a
F-test	ns	ns	ns	*	**	*	**
LSD	-	-	-	1.4581	1.7474	1.9179	1.4404
C.V. (%)	9.45	12.73	17.28	17.7	17.67	16.98	12.87

^{1/}All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, *P < 0.05, **P < 0.01, ns = non significant

Table 2 Leaf width of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer

Treatment	Leaf width (cm) at different days after transplanting						
	4 d	8 d	12 d	16 d	20 d	24 d	28 d
Control	0.74	0.95	1.27b	1.76c	2.11c	2.27d	2.24d
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.rai ⁻¹	0.87	1.20	1.95a	3.09a	3.78a	3.99a	4.18a
Vermicompost 1000 kg.rai ⁻¹	0.75	0.98	1.29b	1.92bc	2.15c	2.49cd	2.56cd
Vermicompost 2000 kg.rai ⁻¹	0.79	1.04	1.54ab	2.35bc	2.77bc	2.91bc	3.06bc
Vermicompost 3000 kg.rai ⁻¹	0.77	0.98	1.57ab	2.39bc	2.92b	3.11b	3.30b
Vermicompost 4000 kg.rai ⁻¹	0.83	1.11	1.67ab	2.46ab	3.00b	3.25b	3.44b
F-test	ns	ns	*	**	**	**	**
LSD	-	-	0.4171	0.6361	0.687	0.6165	0.6132
C.V. (%)	10.66	13.29	18.15	18.39	16.59	13.82	13.20

^{1/}All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, *P < 0.05, **P < 0.01, ns = non significant

Table 3 Stem diameter of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer

Treatment	Stem diameter (cm) at different days after transplanting			
	16 d	20 d	24 d	28 d
Control	0.28	0.29c	0.34d	0.38c
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.ra ⁻¹	0.37	0.49a	0.55a	0.58a
Vermicompost 1000 kg.ra ⁻¹	0.30	0.31bc	0.37cd	0.40c
Vermicompost 2000 kg.ra ⁻¹	0.31	0.35b	0.44bc	0.45bc
Vermicompost 3000 kg.ra ⁻¹	0.31	0.36b	0.45bc	0.50ab
Vermicompost 4000 kg.ra ⁻¹	0.34	0.37b	0.51ab	0.52ab
F-test	ns	**	**	**
LSD	-	0.0647	0.0898	0.0911
C.V. (%)	14.87	12.06	13.66	13.09

^{1/}All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, **P < 0.01, ns = non significant

Table 4 Number of leaf per plant of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer

Treatment	Number of leaf at different days after transplanting						
	4 d	8 d	12 d	16 d	20 d	24 d	28 d
Control	2.19	3.19	3.65c	4.42b	4.71c	4.52	4.27b
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.ra ⁻¹	2.44	3.19	4.17a	5.11a	5.89a	5.63	6.29a
Vermicompost 1000 kg.ra ⁻¹	2.35	3.19	3.75bc	4.51b	5.02bc	4.97	4.53b
Vermicompost 2000 kg.ra ⁻¹	2.29	3.13	3.92abc	4.90a	5.50ab	5.45	5.73a
Vermicompost 3000 kg.ra ⁻¹	2.36	3.02	4.06ab	5.06a	5.75a	5.29	5.95a
Vermicompost 4000 kg.ra ⁻¹	2.39	2.91	3.98ab	5.00a	5.79a	5.67	6.28a
F-test	ns	ns	*	**	**	ns	**
LSD	-	-	0.318	0.3195	0.6127	-	1.0189
C.V. (%)	10.24	9.64	5.46	4.45	7.58	11.34	11.34

^{1/}All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, *P < 0.05, **P < 0.01, ns = non significant

ด้านปริมาณผลผลิต เก็บเกี่ยวต้นเบบี้ฮ่องเต้ขณะอายุ 28 วันหลังย้ายปลูก ผลการทดลองพบว่า

น้ำหนักสดต่อต้น

ต้นเบบี้ฮ่องเต้ที่ได้รับปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนอัตรา 3000 และ

4000 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักสดต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 7.21 5.77 และ 5.85 กรัมต่อต้น ตามลำดับ ขณะที่ต้นเบบี้ฮ่องเต้ในชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ มีน้ำหนักสดต่อต้นน้อยที่สุดเพียง 1.72 และ 1.75 กรัมต่อต้น ตามลำดับ (Table 5) แสดงให้เห็นว่าการใส่มูลไส้เดือนอัตรา 3000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถ

ช่วยเพิ่มผลผลิตเบบี้ฮ่องเต้ในด้านน้ำหนักสดต่อต้นใกล้เคียงกันกับกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ จากผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Devi et al. (2017)¹¹ ที่ศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพต่อผลผลิตและคุณภาพของกะหล่ำปลี (*Brassica oleracea* var. capitata) พบว่าน้ำหนักหัวกะหล่ำปลีจากกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 8.5 ตันต่อเฮกตาร์มีน้ำหนักต่อหัวมากที่สุดเท่ากับ 868 กรัม เนื่องจากมูลไส้เดือนดินสามารถช่วยเพิ่มกิจกรรมของแบคทีเรียที่ช่วยตรึงไนโตรเจน รักษาความชื้นในดิน รวมทั้งยังปลดปล่อยธาตุอาหารที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ จึงช่วยส่งเสริมการใช้ธาตุอาหารในดิน ส่งผลให้ผลผลิตกะหล่ำปลีมีน้ำหนักที่สูงขึ้น

มวลชีวภาพ

ในวันเก็บเกี่ยวต้นเบบี้ฮ่องเต้ที่อายุ 28 วันหลังย้ายปลูกพบว่าต้นเบบี้ฮ่องเต้ในกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อไร่ มีค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพมากที่สุดเท่ากับ 3.78 และ 3.10 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ต้นเบบี้ฮ่องเต้ในชุดควบคุม (ไม่ใส่ปุ๋ย) และกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่มีค่าเฉลี่ยของมวลชีวภาพน้อยที่สุดเพียง 0.91 และ 0.94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Table 5) ทั้งนี้การให้มูลไส้เดือนในดินปลูกจะช่วยเพิ่มปริมาณการดูดซึมธาตุไนโตรเจน¹² น้ำหนักแห้ง¹³ และผลผลิตพืช^{14,15} ในสตรอเบอร์รี่

Arancon et al.(2004)¹⁶รายงานว่า การให้มูลไส้เดือนช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของต้นสตรอเบอร์รี่ รวมถึงการเพิ่มขนาดพื้นที่ใบ 37 เปอร์เซ็นต์ มวลชีวภาพในส่วนยอด 37 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักผลสด 35 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการตอบสนองเหล่านี้ไม่ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของมูลไส้เดือนที่ให้ นอกจากนี้มูลไส้เดือนยังจัดเป็นวัสดุปรับปรุงดิน จากการศึกษาที่มีลักษณะความโปร่งพรุนสูง มีการระบายอากาศดี ระบายน้ำดี สามารถเก็บกักน้ำ และช่วยเพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน^{9,17} ทั้งนี้ในมูลไส้เดือนยังประกอบด้วยสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืชหลายชนิดโดยเฉพาะไซโตไคนิน จิบเบอเรลลิน และออกซินที่ผลิตโดยไส้เดือนดิน¹⁸ และจุลินทรีย์ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อต้นพืช เช่น ราและแอกติโนมัยซิสในดิน^{19,20} ทำให้ช่วยเพิ่มจำนวนประชากรกลุ่มจุลินทรีย์เหล่านี้ในดินปลูก²¹ ขณะเดียวกันก็ลดจำนวนประชากรของแบคทีเรียซึ่งก่อให้เกิดโรคกับพืชที่ปลูกในดินลง²² ซึ่ง Lv and Ma (2005)²³ รายงานว่าจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ในดินที่มีการให้มูลไส้เดือนจะเพิ่มขึ้นถึง 108.2 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ไม่ใส่มูลไส้เดือน จากการศึกษาการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรจุลินทรีย์ในดินเหล่านี้จึงส่งผลต่ออัตราการหมุนเวียนของธาตุอาหารพืชในดิน และการเสริมสร้างความต้านทานต่อโรคพืช⁵ จึงทำให้มูลไส้เดือนมีบทบาทช่วยปรับปรุงความอุดมสมบูรณ์ของดินปลูกและการเจริญเติบโตของต้นพืช²⁴

Table 5 Fresh weight and biomass of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer after 28 days of transplanting

Treatment	Fresh weight (g.plant ⁻¹)	Biomass (%)
Control	1.72c	0.91c
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.rai ⁻¹	7.21a	3.78a
vermicompost 1000 kg.rai ⁻¹	1.75c	0.94c
vermicompost 2000 kg.rai ⁻¹	5.22b	2.73b
vermicompost 3000 kg.rai ⁻¹	5.77ab	3.01b
vermicompost 4000 kg.rai ⁻¹	5.85ab	3.10ab
F-test	**	**
LSD	1.4643	0.7364
C.V. (%)	21.49	20.56

¹All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, **P < 0.01

ค่าความเขียวของใบ

ค่าความเขียวจากใบต้นเบบี้ฮ่องเต้ชณะอายุ 28 วันหลังปลูกจากทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 24.83-31.83 SPAD unit (Table 6) จากผลการทดลองที่ได้พบว่ามีความสอดคล้องกับงานวิจัยของอัญชลีและคณะ (2555)¹⁰ ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับผลของปุ๋ยมูลไส้เดือนต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมพันธุ์ Iceberg ที่ปลูกในสภาพโรงเรือน พบว่าวัสดุปลูกที่ใส่มูลไส้เดือน *E. euginae* และ *P. peguana* อัตรา 1,000, 2,000 และ 4,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ต้นผักกาดหอมมีความเข้มสีเขียวที่ใกล้เคียงกัน

ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ

จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบเบบี้ฮ่องเต้ที่อายุเก็บเกี่ยว พบว่าคลอโรฟิลล์ของต้นเบบี้ฮ่องเต้ในทุกกรรมวิธีมีปริมาณคลอโรฟิลล์เฉลี่ยใกล้เคียงกันอยู่ระหว่าง 421.74-452.68 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร (Table 6) จากการวิเคราะห์วัสดุปลูกในแต่ละกรรมวิธีทั้งในระยะก่อนปลูกและภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต ได้ผลการทดลองดังนี้

Table 6 Leaf greenness and chlorophyll contents of pak choi after applying vermicompost and chemical fertilizer after 28 days of transplanting

Treatment	Leaf greenness (SPAD unit)	Chlorophyll contents (mg.cm ⁻²)
Control	24.90	430.81
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.rai ⁻¹	29.78	452.68
vermicompost 1000 kg.rai ⁻¹	24.83	421.74
vermicompost 2000 kg.rai ⁻¹	28.20	426.27
vermicompost 3000 kg.rai ⁻¹	28.65	441.45
vermicompost 4000 kg.rai ⁻¹	31.83	445.88
F-test	ns	ns
C.V. (%)	13.60	3.43

ns = non significant

ฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ (Available P)

ผลการทดลองพบว่าวัสดุก่อนปลูก (ดิน:แกลบดิบอัตรา 3:2) มีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเพียง 1.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนที่อัตรา 2000 และ 4000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดเท่ากับ 9.46 และ 9.54 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ใส่มูลไส้เดือนที่อัตรา 3000 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และกรรมวิธีที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 6.71 5.96 และ 2.67 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (Table 7) จากผลการวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้พบว่ามีความสอดคล้องกับงานทดลองของสุลีสักและสุชาติดา (2557)²⁵ ที่ศึกษาผลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินเปรียบเทียบกับการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับการให้น้ำหมักมูลไส้เดือนดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดิน การเจริญ

เติบโตและผลผลิตของข้าวหอมมะลิ 105 ผลการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุปลูกที่ให้ปุ๋ยเคมีอย่างเดียวยังมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและอินทรีย์วัตถุในดินน้อยที่สุด ขณะที่การให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ร่วมกับการให้น้ำหมักมูลไส้เดือนมีปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและอินทรีย์วัตถุในดินมากที่สุด เนื่องจากปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินและน้ำหมักมูลไส้เดือนดินจะส่งผลให้ดินมีโครงสร้างดีขึ้น คือทำให้ดินกักเก็บความชื้นได้มากขึ้น มีความโปร่งร่วนซุย รากพืชสามารถซอนไซและแพร่กระจาย นอกจากนี้จุลินทรีย์ในดินที่ปนออกมากับมูลของไส้เดือนดินยังสามารถสร้างเอนไซม์ฟอสฟาเตสได้อีกด้วย ซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในดินให้สูงขึ้น²⁶ นอกจากนี้ Chasavathi *et al.* (2001)²⁷ ศึกษาการปลูกมะขามโดยใช้มูลไส้เดือนในชุดดินน้ำพอง จังหวัดขอนแก่น จากนั้นทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินที่ปลูกมะขามและในดินบริเวณรอบๆ ผลการศึกษาพบว่าดินที่ได้รับมูลไส้เดือนดินมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าดินที่ไม่มีมูลไส้เดือนดินถึง 7 เท่า

สอดคล้องกับ Yang *et al.* (2015)²⁸ รายงานว่ามูลไส้เดือนจะช่วยให้เพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์ phosphatase ในดิน จึงทำให้ดินปลูกมีปริมาณธาตุฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (exchangeable phosphorus) ต่อพืชเพิ่มมากขึ้น

โพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available K)

จากการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในวัสดุก่อนปลูกเมื่อได้รับการใส่มูลไส้เดือนดินอัตราแตกต่างกัน พบว่าวัสดุก่อนปลูกมีปริมาณโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดเท่ากับ 1174 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากวัสดุปลูกที่ใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 3000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีโพแทสเซียมส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชในปริมาณต่ำที่สุดเท่ากับ 756 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (Table 7) ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ramnarain *et al.* (2017)²⁹ ที่ทดลองให้มูลไส้เดือนดินในการผลิตกวางตุ้งฮ่องเต้ (*Brassica rapa* var. chinensis) โดยใส่มูลไส้เดือนดินอัตรา 100 กรัมต่อต้น ผลการทดลองพบว่ามูลไส้เดือนดินที่ใส่ให้ในดินทำหน้าที่ช่วยเปลี่ยนโพแทสเซียมที่สามารถแลกเปลี่ยน

เปลี่ยนได้ให้เป็นโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ในดิน ส่งผลทำให้ต้นพืชสามารถดูดโพแทสเซียมจากดินได้มากขึ้น วัสดุปลูกจึงควรวิเคราะห์พบโพแทสเซียมในดินมีปริมาณที่ลดลง

ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (OM)

ผลการทดลองพบว่าในวัสดุก่อนปลูกมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 1.77 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกันกับวัสดุก่อนปลูกที่ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และวัสดุก่อนปลูกที่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่อัตรา 1000 กิโลกรัมต่อไร่ เท่ากับ 1.72 และ 1.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่งจากวัสดุก่อนปลูกที่ใส่ปุ๋ยมูลไส้เดือนดินที่อัตรา 4000 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีปริมาณอินทรีย์วัตถุเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 2.89 เปอร์เซ็นต์ (Table 7) สอดคล้องกับ Chaoui *et al.* (2003)³⁰ รายงานว่ามูลไส้เดือนจะแตกต่างจากปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ตรงที่อินทรีย์วัตถุที่ได้จากมูลไส้เดือนจะผ่านระบบกระบวนการย่อยของไส้เดือนดินมาแล้ว ซึ่งอินทรีย์วัตถุเหล่านี้สามารถนำมาใช้เพิ่มความอุดมสมบูรณ์และลักษณะทางกายภาพของดินปลูกได้

Table 7 Phosphorus, potassium and organic matter contents in planting material of all the treatments before planting

Treatment	Phosphorus content (mg.kg ⁻¹)	Potassium content (mg.kg ⁻¹)	Organic matter (%)
Control	1.76e	1174a	1.77c
12-8-8 chemical fertilizer 75 kg.rai ⁻¹	2.67d	1109c	1.72c
vermicompost 1000 kg.rai ⁻¹	5.96c	1138b	1.57c
vermicompost 2000 kg.rai ⁻¹	9.46a	918d	2.49b
vermicompost 3000 kg.rai ⁻¹	6.71b	756f	2.18b
vermicompost 4000 kg.rai ⁻¹	9.54a	867e	2.89a
F-test	**	**	**
LSD	0.6729	12.3	0.3647
C.V. (%)	6.29	0.70	9.75

^{1/}All data are means of four replicates, means followed by different letters within the same column are significantly different at probability, **P < 0.01

สรุปผล

จากการศึกษาผลของการให้มูลไส้เดือนดินที่อัตราแตกต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของผักเบบี้ฮ่องเต้ พบว่าการให้มูลไส้เดือนดินที่อัตรา 3000 กิโลกรัมต่อไร่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นเบบี้ฮ่องเต้ในด้านความสูงต้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จำนวนใบต่อต้น และน้ำหนักสดต่อต้นได้ใกล้เคียงกับการให้ปุ๋ยเคมีสูตร 12-8-8 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่การให้มูลไส้เดือนดินอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อไร่ ช่วยเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดและอินทรีย์วัตถุ ผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่ามูลไส้เดือนมีศักยภาพสำหรับนำมาใช้ส่งเสริมการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตผักเบบี้ฮ่องเต้ได้

เอกสารอ้างอิง

- อนันต์ ธรรมวงศ์ ศीलวัต พัฒโนดม ศิริลักษณ์ ศิริกุล นาวิณ สุขเลิศ ประไพพรรณ ชันแก้ว วิลาวรรณ ขอมา นาดยา คิตคำส่วน และสุพรรณิ ขอดเผือ. คู่มือการปลูกผัก. พิมพ์ครั้งที่ 1 เชียงใหม่: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน); 2559
- Dixon, GR. Vegetables and related crucifers. , UK: Colums design Ltd. Reading; 2007.
- บัญชา รัตน์หุ. ปุ๋ยอินทรีย์พื้นฟูสภาพดิน. Princess of Naradhiwas University Journal 2552;1(2): 1-16
- Hu Y, Sun Z, Wang D, Sun Y. Analysis of antagonistic microorganism in vermicompost. Chin.J.Appl. Environ.Biol 2004; 10(1): 99-103
- Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P. Influ ences of vermicomposts on field strawberries: Part 2 Effects on soil microbiological and chemical properties. Bioresour. Technol 2006; 97: 831-840
- Kira T, Shidei T. Primary production and turnover to organic matter in different forest ecosystems of the western pacific. Japanese Journal of Ecology 1967; 17:70-87
- Procter JTA. Stomatal conductance changes in leaves of McIntosh apple trees before and after fruit removal. Canadian Journal of Botany 1981; 59: 50-53
- สุชาดา สานุสันต์ ศรายุทธ ชุติกรกุล และภิญโญ มีแก้ว. การเจริญเติบโตของผักบั้งจีนที่ปลูกโดยใช้มูลไส้เดือนดิน. วารสารเกษตรราชพฤษจันทร์ 2557; 1:29-36
- Edwards, CA, Burrows I. The potential of earthworm composts as plant growth media. In: Edwards C.A., Neuhauser EF. editors. Earthworms in Environmental and Waste Management. The Netherlands: SPB Acad Publ.; 1988. P.211-220.
- อัญชลี จาละ อภิสิทธิ์ ชิตวณิช สมชาย ชคตระการ. ผลของปุ๋ยมูลไส้เดือนดิน 2 ชนิดที่มีต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกาดหอมใบ. Thai Journal of Science and Technology 2555; 1(1): 20-24
- Devi S, Choudhary M, Jat PK, Singh SP, Rolaniya MK. Influenced of organic and biofertilizers on yield and quality of cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata). International Journal of Chemical Studies 2017; 5(4): 818-820
- Tomati U, Grapelli A, Galli E. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. Biol. Fertil. Soils 1987; 5: 288-294
- Edwards CA. Historical overview of vermicomposting. Biocycle 1995; 36: 56-58
- Edwards CA, Dominguez J, Arancon NQ. The Influence of Vermicomposts on Plant Growth and Pest Incidence. In: Mikhail WZA, Shakir SH. editors. Soil Animals and Sustainable Development. Soil Zoology for Sustainable Development in the 21st Century; 2004. P. 397-420.
- Edwards CA, Arancon NQ. Interactions Among Organic Matter, Earthworms and Microorganisms in Promoting Plant Growth. In: Edwards CA, Neuhauser EF. editors. Advances in Agroecology 2004; 20042043: 327-376.
- Arancon NQ, Edwards CA, Bierman P, Welch C, Metzger JD. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Biore-source Technology 2004; 93(2): 145-153
- Orozco FH, Cegarry J, Trujillo LM, Roig A. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia fetida*: effects on C and N contents and the availability of nutrients. Biol. Fertil. Soils 1996; 22: 162-166
- Krishnamoorthy, RV, Vajrabhiah SN. Biological activity of earthworm casts: an assessment of plant growth promoter levels in casts. Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Animal Science) 1986; 95: 341-351

19. Grappelli A, Galli E, Tomati U. Earthworm casting effect on *Agaricus bisporus* fructification. *Agrochimica* 1987; 21: 457-462
20. Tomati U, Grapelli A, Galli E. The hormone-like effect of earthworm casts on plant growth. *Biol. Fertil. Soils* 1987; 5: 288-294
21. Cai F, Liao Z, Zhang J, Kong W, He C. . Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities. *Chin. J. Appl. Ecol.* 2003; 14(3): 349-353
22. Yang L, Zhao F, Chang Q, Li T, Li F. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management* 2015; 160: 98-105
23. Lv Z, Ma Y. Effect of vermicompost on soil fertility and cabbage growth and quality. *Chin. Agric. Sci. Bull.* 2005; 12: 236-240
24. Zhang J, Xu Y, Liu Z. Study of the alleviate of earthworm manure on continuous cropping obstacle of cucumber growth in plastic greenhouse. *North Hortic.* 2010; 4: 58-60
25. สุสีลักษณ์ อารักษ์ธรรม และสุชาดา สานุสันต์. อิทธิพลของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินจากไส้เดือนดินต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ดินและการปรับปรุงโครงสร้างของดิน. ใน รายงานผลการวิจัยเรื่อง ศักยภาพของปุ๋ยหมักมูลไส้เดือนดินท้องถิ่นไทยที่ผลิตจากขยะอินทรีย์ต่อระบบการเกษตรและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 2557.
26. Edwards, C. A., P. J. Bohlen. *Biology and ecology of earthworms.* 3rd ed London: Chapman and Hall; 1996.
27. Chasavathi T, Treloges V, Ruaysoongnen S. Earthworm casts (*Pheretema sp.*) nutrient contents of Nampong soi series (Ustoxic Quartzipsamment) in Northeast Thailand. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 2001; 4: 973-976
28. Yang L, Zhao F, Chang Q, Li T, Li F. Effects of vermicomposts on tomato yield and quality and soil fertility in greenhouse under different soil water regimes. *Agricultural Water Management* 2015; 160: 98-105
29. Ramnarain YI, Ori L, Ansari AA. Evaluation of the use of vermicompost on the crop production of two varieties of Pak choi (*Brassica rapa var. chinensis*) and on the soil structure in Suriname. *Asian Journal of Agriculture* 2017; 1(2): 73-79
30. Chaoui HI, Zibilske LM, Ohno T. Effects of earthworm casts and compost on soil microbial activity and plant nutrient availability. *Soil Biology and Biochemistry* 2003; 35(2):295-302

ยีสต์แชพเพอโรน Hsp104 และบทบาทในการเพิ่มขยายและขจัด $[PSI^+]$ พรियो

Yeast chaperone Hsp104 and the role in $[PSI^+]$ prion propagation and elimination

จินตนา วงศ์วิการ¹

Jintana Wongwigarn¹

Received: 9 May 2019 ; Revised: 15 July 2019 ; Accepted: 1 August 2019

บทคัดย่อ

โมเลกุลแชพเพอโรน Hsp104 หรือโปรตีนฮีทช็อกในยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* มีหน้าที่สำคัญในการตอบสนองต่อสภาวะอุณหภูมิสูงเพื่อให้เซลล์มีชีวิตรอด โดยส่งเสริมให้โปรตีนที่เสียสภาพ มีการม้วนพับที่ผิดปกติและรวมกลุ่มกัน ให้เกิดการม้วนพับใหม่จนกระทั่งกลับมาเป็นโปรตีนรูปแบบปกติ นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีน Hsp104 มีส่วนช่วยในการคงอยู่และเพิ่มขยายของพรियोภายในเซลล์ยีสต์ พรियोในยีสต์เป็นรูปแบบโปรตีนที่มีความผิดปกติหรือมีการม้วนพับที่เปลี่ยนไป แล้วนำไปสู่การรวมกลุ่มกันเป็นโปรตีนพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ คล้ายกับพรियोที่พบในมนุษย์ซึ่งสามารถถ่ายทอดจากเซลล์สู่เซลล์ได้ แต่ไม่ทำให้เกิดโรคในยีสต์ มีรายงานการศึกษาในยีสต์ที่มี $[PSI^+]$ พรियो พบว่า Hsp104 มีหน้าที่ในการทำให้พรियोพอลิเมอร์กลายเป็นโมเลกุลที่เล็กลง ใช้สำหรับเริ่มต้นการเพิ่มขยายพรियोใหม่และการคงอยู่ของพรियोภายในเซลล์ ด้วยกลไกเดียวกับที่ Hsp104 ช่วยให้เกิดการม้วนพับใหม่ของโปรตีนอื่น ส่วนที่น่าสนใจคือในสภาวะที่มีระดับ Hsp104 สูงกว่าปกติ สามารถส่งผลให้เกิดการขจัด $[PSI^+]$ พรियोจากเซลล์ยีสต์ได้ แต่เกิดจากกลไกการทำงานที่ยังไม่ทราบชัดเจน จึงมีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจเพิ่มเติมถึงกลไกการทำงานของ Hsp104 ในการเหนี่ยวนำให้สูญเสีย $[PSI^+]$ จากเซลล์ ซึ่งข้อมูลนี้อาจนำไปสู่การรักษาโรคทางระบบประสาทและสมองในมนุษย์ ที่เกิดจากการรวมกลุ่มของโปรตีนที่มีโครงสร้างไม่ปกติในสมองได้ในอนาคต

คำสำคัญ: Hsp104 $[PSI^+]$ พรियो ยีสต์

Abstract

Molecular chaperone Hsp104, also known as heat shock protein in yeast *Saccharomyces cerevisiae*, plays an essential role in thermotolerance response enabling yeast cell survival at high temperature. Hsp104 mediates the misfolding and the aggregation of denatured proteins to refold to their native forms. In addition, it has also reported that Hsp104 protein is required to maintain and propagate the prion state within yeast cells. A prion is an unusual form of protein or misfolded protein and prone to aggregate as large protein polymers. Yeast prion can be transmitted from cell to cell like prions found in humans but does not cause disease. Several studies have revealed that Hsp104 is involved in yeast $[PSI^+]$ prion propagation by dissolving prion polymer into the smaller molecules needed to generate a new round of propagation via the same mechanism of Hsp104 in promoting proteins refolding. Interestingly, over-expression of Hsp104, results in elimination of the $[PSI^+]$ prion from yeast cells but the mechanism remains unclear. Therefore, it is necessary to gain insight into the mechanism of how elevated Hsp104 induces $[PSI^+]$ loss. Furthermore, this information might lead to further treatment of human neurodegenerative diseases caused by misfolding and accumulation of abnormal proteins in the brain.

Keywords: Hsp104, $[PSI^+]$ prion, yeast

¹ อาจารย์, ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

¹ Lecturer, Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science, Naresuan university, Tambon Tha Pho, Amphoe Mueang, Phitsanulok 65000 *Corresponding author, e-mail: jintanaw@nu.ac.th

บทนำ

ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* มีกลุ่มของโปรตีน ซึ่งมีหน้าที่ในเซลล์เป็นโมเลกุลาร์แชพเพอโรน (molecular chaperone) เช่น โปรตีนฮีทช็อค (heat shock proteins; Hsps) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยให้โปรตีนชนิดต่างๆ อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการทำงานตามหน้าที่ในเซลล์ รวมทั้งกรณีที่เซลล์อยู่ในสภาพแวดล้อมที่กดดัน หรือไม่เหมาะสม เช่น สัมผัสกับความร้อน (heat shock) หรือสารเคมี โดยเซลล์อาจสร้างโปรตีนกลุ่มแชพเพอโรนเพิ่มขึ้น สำหรับทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับทั้งขั้นตอน

การสร้าง และการกำจัดโปรตีนในเซลล์ ซึ่งเป็นการตอบสนองของเซลล์ ต่อสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่างๆ เหล่านั้น ช่วยให้เซลล์ยีสต์อยู่รอด และดำรงชีวิตต่อไปได้ อย่างไรก็ตามไม่ใช่โปรตีนกลุ่ม Hsps ทุกชนิดสามารถทำหน้าที่เป็นแชพเพอโรนได้ แชพเพอโรนในยีสต์แบ่งเป็นแฟมิลี่ตามน้ำหนักโมเลกุล และหน้าที่การทำงาน (Table 1) เช่น Hsp70 และ Hsp104 เป็นกลุ่มแชพเพอโรนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ในขณะที่ Hsp40 เป็นกลุ่มแชพเพอโรนสนับสนุนอื่นๆ (co-chaperones)

Table 1 The major families of yeast molecular chaperones, co-chaperones and their cellular functions¹.

Chaperone family	Name	Function
Hsp70	Ssa1-4	Precursor protein translocation and protein folding
	Ssb1-2	Ribosome-bound to nascent chains
	Ssc1	Translocation of precursor proteins
	Ssd1	Translocation of precursor proteins
	Sse 1-2	Cooperate with Ssa and Ssb proteins
Small Hsp	Hsp12	Stress inducible, membrane associated
	Hsp26	Bind and stabilise unfolded protein for refolding
	Hsp42	Bind and stabilise unfolded protein for refolding
Hsp100/Clp	Hsp104	Disruption of aggregated proteins Cooperate with Hsp70 and Hsp40
Hsp40	Ydj1	Cooperate with Hsp70 to stimulate ATPase activity
	Sis1	Cooperate with Hsp70 to stimulate ATPase activity
Hsp90	Hsp82	Assist protein folding, stabilise misfolded protein and mediate the ubiquitin-proteasome system
	Hsc82	Assist protein folding, stabilise misfolded protein and mediate the ubiquitin-proteasome system

แชพเพอโรนแฟมิลี่ Hsp104/ClpB

ยีสต์แชพเพอโรน Hsp104 มียีนที่คล้ายคลึงกับโปรตีน ClpB ที่พบในแบคทีเรีย จัดอยู่ในแฟมิลี่ ClpB/Hsp100 AAA⁺ ATPases (ATPase associated with a variety of cellular activities) โปรตีนในกลุ่มนี้เกิดจากโปรตีน 6 หน่วยย่อยมารวมตัวกันเป็นรูปร่างแหวนหกหน้า (hexameric ring) โดยแต่ละหน่วยย่อยจะมีบริเวณโดเมน ATPase หรือ AAA⁺ อยู่ 2 บริเวณ โปรตีนกลุ่มนี้ประกอบด้วยกรดอะมิโน 200-250 ตัว มีโมทีฟคือ walker A และ B เป็นบริเวณอนุรักษ์สำหรับจับกับ ATP (ATP-binding) ซึ่งพบในโปรตีนที่จับกับ นิวคลีโอไทด์ได้ (nucleotide binding domain; NBD) การจับนี้ส่งผลให้เกิดการ

เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง แล้วจึงเกิดการไฮโดรไลซ์ ATP^{2,3} ซึ่งส่วน walker A ประกอบด้วยลำดับกรดอะมิโน GXXXXGKT (G, K, T และ X คือ ไกลซีน ไลซีน ทรีโอนีน และกรดอะมิโนอื่นๆ) โดยไลซีนทำหน้าที่จับกับนิวคลีโอไทด์ และ walker B ประกอบด้วยกรดอะมิโน hhhhDE (D, E และ h คือ กรดแอสพาร์ติก กรดกลูตามิก และกรดอะมิโนไฮโดรโฟบิกอื่นๆ) โดยกรดกลูตามิกนี้จำเป็นในการไฮโดรไลซ์ ATP³ แชพเพอโรนในแฟมิลี่ ClpB/ Hsp100 แบ่งออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ class I ซึ่งประกอบด้วยโดเมน AAA⁺ 2 โดเมน และ class II ที่ประกอบด้วยโดเมน AAA⁺ 1 โดเมน โดย Hsp104 จัดอยู่ใน class I^{4,5} ในเซลล์ยีสต์ระดับการแสดงออกของยีน *HSP104* จะเพิ่มขึ้น

เมื่อยีสต์อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมหรือมีอุณหภูมิสูง⁶ โปรตีน Hsp104 ไม่ได้ทำงานป้องกันการเกาะกลุ่มกันของโปรตีนที่เสียสภาพเหมือนที่พบในแซพเพอโรนอื่น แต่ทำหน้าที่เหนี่ยวนำให้เกิดการแยกออกจากกันของกลุ่มโปรตีนที่เสียสภาพหรือกลุ่มโปรตีนที่ม้วนพับผิดปกติ (misfolded protein) ในไซโทพลาสซึม เพื่อส่งเสริมให้เกิดการม้วนพับใหม่ (refolding) ของโปรตีนนั้นๆ Hsp104 มีการทำงานร่วมกับแซพเพอโรนสนับสนุน คือ Hsp70 (Ssa) และ Hsp40 (Ydj1) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยนำโปรตีนที่เกาะกลุ่มกันส่งต่อไปให้กับ Hsp104⁷

รูปร่างและโครงสร้างของ Hsp104

ยีน *HSP104* แสดงออกเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโน 908 ตัว มีโดเมนสำหรับจับกับ ATP อยู่ 2 บริเวณ (Figure 1) ซึ่งมีตำแหน่งอนุรักษ์ของอะมิโนที่จับกับนิวคลีโอไทด์ คือตำแหน่งที่ 215 218 617 และ 620 จำเป็นในการตอบสนองเมื่อเซลล์สัมผัสกับอุณหภูมิสูง⁸ นอกจากนี้ลำดับของกรดอะมิโนยังบ่งชี้ว่า Hsp104 จัดอยู่ในแฟมิลีเดียวกับฮีทช็อกโปรตีน Hsp100⁹ การวิเคราะห์โครงสร้างเบื้องต้นของโปรตีน Hsp104 ศึกษาครั้งแรกโดย Parsell et al (1993)¹⁰ พบว่าเป็นโปรตีนที่มีขนาด 102 กิโลดาลตัน ในสภาวะที่มี ATP โปรตีน 6 หน่วยย่อยประกอบกันเป็นวงแหวนหกหน้า มีช่องตรงกลาง โดยโปรตีนแต่ละหน่วยมี 2 NBDs (Figure 1) นอกจาก NBDs ของ Hsp104 ทั้ง 2 บริเวณจะประกอบด้วย walker A และ B แล้วยังมีฟลอปเปอร์ คือ sensor-1 และ sensor-2 ซึ่งช่วยในการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และไฮโดรไลซ์ ATP (Table 2) ส่วน diaphragm loop และ arginine finger ซึ่งจำเป็นในการแยกโปรตีนที่เกาะกลุ่มกัน และไฮโดรไลซ์ ATP¹¹ การแทนที่กรดอะมิโนไลซีนด้วยทรีโอนีนที่ตำแหน่ง 218 และ 620 บริเวณ walker A ของ NBD1 และ NBD2 ทำให้ Hsp104 สูญเสียกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ ATPase และความสามารถในการรวมเป็นโครงสร้างวงแหวนหกหน้า¹² และยังพบอีกว่าการกลายพันธุ์ที่ Walker B บริเวณ NBD1 และ NBD2 ทำให้ Hsp104 ยังคงมีคุณสมบัติในการเข้าจับกับสารหรือโปรตีนได้แต่ เป็นการจับแบบไม่ปล่อย เนื่องจากไม่เกิดไฮโดรไลซ์ ATP^{13,14} จึงแสดงให้เห็นว่าทั้งบริเวณ NBD1 และ NBD2 มีส่วนสำคัญในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การเข้าจับกับสารหรือโปรตีนเป้าหมาย และการปลดปล่อยหลังเสร็จสิ้นกระบวนการทำงานของ Hsp104

กลไกการทำงานของ Hsp104

การทำงานเพื่อแยกพอลิเพปไทด์ออกจากโปรตีนที่รวมกลุ่มกันของ Hsp104 เริ่มจากการไฮโดรไลซ์ ATP^{6,7} โดยพบว่าโปรตีนจะเข้าจับกับส่วนปลาย C ของ Hsp104 ก่อนแล้วเหนี่ยวนำให้ ATPase เกิดกิจกรรมผ่านบริเวณ NBD2 และ M ไปยัง NBD1¹⁵ ซึ่งบริเวณ NBDs ทั้ง 2 ของ Hsp104 ร่วมมือกันในการไฮโดรไลซ์ ATP ซึ่งการจับกับโปรตีนที่บริเวณ NBD2 ทำให้เกิดไฮโดรไลซ์ ATP ที่ NBD1¹³ โดยวงจรการไฮโดรไลซ์ ATP-ADP พบว่าที่สถานะ ADP ความสามารถในการจับกับสารของ Hsp104 ต่ำกว่าในสถานะ ATP โดยสรุปคือ สายพอลิเพปไทด์จับกับ Hsp104-ATP เกิดเป็น Hsp104-ATP-substrate complex จากนั้น ATP จึงถูกไฮโดรไลซ์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Hsp104 (Figure 2) ได้มีการนำเสนอกลไกการทำงานของ Hsp104 ในการจัดการกับโปรตีนที่เกาะกลุ่มไว้ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 เรียกว่า crowbar model เริ่มต้นด้วยโปรตีนที่เสียสภาพไปจับ Hsp104 ที่ปลาย N และกระตุ้นให้ Hsp104 มีรูปร่างเป็นแบบ coiled-coil structure ซึ่งทำให้เกิดแรงในการดึงแยกโปรตีนออกจากกลุ่มก่อนขนาดใหญ่ ก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการม้วนพับใหม่ ด้วยอาศัยการทำงานกับโปรตีนในเครือขายแซพเพอโรน¹⁶⁻¹⁸ ส่วนรูปแบบที่ 2 ซึ่งเป็นแบบที่มีการยอมรับอย่างแพร่หลายมากกว่า เรียกว่า unfolding and threading mechanism model โดย Hsp104 ดึงแยกสายพอลิเพปไทด์เพียง 1 สายออกจากกลุ่มโปรตีน ส่งผ่านไปยังช่องตรงกลางของโครงสร้างวงแหวน จากนั้นจึงส่งต่อเข้าสู่การม้วนพับใหม่ โดยทำงานร่วมกับ Hsp70/Hsp40 ซึ่งคล้ายคลึงกับแซพเพอโรน Hsp100¹⁹



Figure 1 Amino acid sequences and domain organisation of *S. cerevisiae* Hsp104 protein. Hsp104 is composed of two conserved nucleotide binding domains (NBDs); NBD1 (blue), NBD2 (yellow), N-terminal domain (brown), middle region (pink) and C-terminal domain (grey) (YLL026W from <http://www.yeastgenome.org>)^{10,13}

Table 2 Conserved motifs and residues in ClpB proteins and locations in Hsp104^{10,16}.

Motif	NBD	Conserved residues	Position
Walker A	1	Gly-Glu-Pro-Gly-Ile-Gly-Lys-Thr	212-219
	2	Gly-Leu-Ser-Gly-Ser-Gly-Lys-Thr	614-621
Walker B	1	Val-Leu-Phe-Ile-Asp-Glu-Val	280-285
	2	Val-Leu-Leu-Phe-Asp-Glu-Val	682-687
Sensor 1	1	Thr	317
	2	Asn	728
Sensor 2	2	Gly-Ala-Arg	824-826
Arginine finger	1	Arg-Arg	333-334
	2	Arg-Ile	765-766
Diaphragm loop	1	Lys-Tyr-Lys-Gly	256-259
	2	Gly-Tyr-Val-Gly	661-664

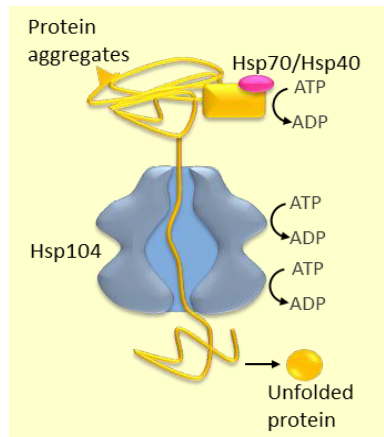


Figure 2 The substrate threading model for protein disaggregation by Hsp104¹⁷.

พรีออนคืออะไร

พรีออน คือ โปรตีนที่ผิดปกติ หรือมีโครงสร้างเปลี่ยนไปจากเดิม โดยพรีออนสามารถส่งต่อหรือถ่ายทอดจากเซลล์สู่เซลล์ได้ ซึ่งคล้ายกับการถ่ายทอดสารพันธุกรรม โปรตีนปกติในเซลล์เมื่อเกิดการม้วนพับผิดปกติ หรือมีโครงสร้างเป็นบีตาชีตเพิ่มขึ้น โปรตีนนี้จึงเกิดการรวมกลุ่มกันได้ขนาดใหญ่ขึ้น จากการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างบริเวณไฮโดรโฟบิกในโปรตีน เกิดเป็นพอลิเมอร์หรือไฟเบอร์ หรือเป็นอมัยลอยด์ไฟบริล (amyloid fibril) ที่มีสมบัติไม่ละลายน้ำซึ่งเป็นรูปแบบที่มีเสถียรภาพสูง ทนทานต่อสารเคมีซักล้าง โปรตีนชนิดอื่นที่มีความผิดปกติลักษณะเดียวกับในพรีออน มักพบว่าเกี่ยวข้องกับกลุ่มอาการของโรคสมองเสื่อม (neurodegenerative diseases) ในมนุษย์ ซึ่งเกิดจากการสะสมของโปรตีนที่มีการม้วนพับผิดปกติในสมอง เช่น โรคอัลไซเมอร์ (alzheimer) โรคสมองฝ่อ (transmissible spongiform encephalopathies; TSEs) จากพรีออน และโรคฮันติงตัน (huntington)²⁰ เป็นต้น แต่ในขณะเดียวกันพรีออนสามารถพบได้ในจุลินทรีย์ เช่น รา หรือยีสต์ได้เช่นกัน โดยไม่เป็นสาเหตุของโรค ทั้งยังอาจส่งผลในแง่ที่เป็นประโยชน์ต่อเซลล์นั้นอีกด้วย²¹⁻²³ เช่น ยีสต์ที่สร้างอะตินันไม่ได้เพราะมีรหัสหยุดเพิ่มขึ้นในยีน แต่ถ้ายีสต์นั้นมีพรีออนของโปรตีน Sup35 จะส่งผลให้แปลรหัสผ่านรหัสหยุดแล้วสร้างอะตินันได้ ซึ่งพรีออนนี้เกิดจากโปรตีนในเซลล์เปลี่ยนแปลงจากปกติไปเป็นไอโซฟอร์มที่มีโครงสร้างตติยภูมิที่ต่างกัน จึงทำให้คุณสมบัติการทำงานในเซลล์แตกต่างกันไปจากเดิม

ยีสต์พรีออน

ในยีสต์เองพบว่ามีโปรตีนที่มีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างแล้วถ่ายทอดจากเซลล์สู่เซลล์ โดยไม่ได้เกิดจากการส่งต่อของสารพันธุกรรม ซึ่งถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อกว่า 50 ปีมาแล้วโดยให้ชื่อโปรตีนนี้ว่า [PSI⁺] ซึ่งต่อมาจึงเรียกโปรตีนลักษณะนี้ว่ายีสต์พรีออน (yeast prion)^{23,24} มีรายงานการค้นพบโปรตีนปกติในยีสต์ *S. cerevisiae* ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนไปเป็นพรีออนต่างๆ แล้วอย่างน้อย 9 โปรตีน ที่สามารถถ่ายทอดและแพร่ขยายในรูปแบบที่เกาะกลุ่มรวมกันเป็นพอลิเมอร์คล้ายกับอมัยลอยด์ (amyloid-like aggregated forms) หรือพรีออน ได้แก่ โปรตีน Sup35 Ure2 Rnq1 Swi1 Cyc8 Mot3 Pma1/Std1 และ Sfp1 เป็นต้น²⁵

[PSI⁺] ไอโซฟอร์มเป็นชื่อเรียกรูปแบบพรีออนของโปรตีน Sup35 ในยีสต์ ซึ่งจัดเป็น translational termination factor; eRF3 ในพวกยูคาริโอต เกี่ยวข้องกับการหยุดการแปลรหัสสร้างโปรตีน ยีสต์สายพันธุ์ [PSI⁺] มี Sup35 เปลี่ยนมาอยู่ในรูปพรีออน แล้วส่งผลให้เกิดความบกพร่องไม่จดจำรหัสหยุด (stop codons) การสังเคราะห์โปรตีน²⁶ เช่น ยีสต์ที่มี [PSI⁺] ในเซลล์กลายพันธุ์แบบ *ade1-14* (UGA) สามารถตรวจพบและแยกออกจากยีสต์ที่เป็น [psi⁻] เพราะมีการกลายพันธุ์แบบ nonsense คือ มีรหัสหยุด (UGA) เพิ่มขึ้นตรงบริเวณยีนที่กำหนดการสร้างโปรตีนเพื่อผลิตอะตินันจึง สังเคราะห์อะตินันไม่ได้ และมีการสะสมสารสีแดง โดยยีสต์กลายพันธุ์แบบ *ade1-14* ที่เป็น [psi⁻] จะอ่านพบรหัสหยุดก่อนจะได้โปรตีนที่สมบูรณ์ ทำให้ยีสต์นี้เจริญได้เมื่อเติมอะตินันให้เท่านั้น และมีโคโลนีสีแดง แต่ถ้ายีสต์นั้นมี [PSI⁺] พรีออนอยู่จะไปกุดการแสดงออกของ *ade1-14* nonsense allele ได้ (Figure 3) เพราะไม่จดจำรหัสหยุด จึงสามารถอ่านผ่านรหัส UGA ไปจนกระทั่งสังเคราะห์ได้อะตินันออกมา ยีสต์จึงเจริญได้โดยไม่ต้องเติมอะตินัน และโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อเป็นสีขาว²⁷ จากสีของโคโลนีที่แตกต่างกันนี้ จึงนิยมนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยสำหรับบ่งชี้การมีหรือไม่มี [PSI⁺] ในเซลล์ยีสต์ นอกจากนี้ยังพบว่าสภาวะ [PSI⁺] สามารถถูกขจัดให้หมดไปจากเซลล์ยีสต์ได้ เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เติมสารกวานีดีนไฮโดรคลอไรด์ (GdnHCl) เนื่องจากสารนี้มีผลยับยั้งกิจกรรมของ Hsp104^{12,28} แสดงให้เห็นว่า Hsp104 มีความสำคัญต่อการคงอยู่ของพรีออนในยีสต์

โครงสร้างของโปรตีน Sup35

หน้าที่ของ Sup35 แต่เดิมคือหยุดการแปลรหัสสังเคราะห์โปรตีน (eRF3) โดยทำหน้าที่ร่วมกับ Sup45 (eRF1) จดจำรหัสหยุดการสร้างโปรตีน แล้วส่งเสริมให้เกิดการปลดปล่อยสายพอลิเพปไทด์ที่สร้างเสร็จสิ้นแล้ว (Figure 3) และ Sup35 ยังทำงานร่วมกับ poly(A)-binding protein (Pab1) เพื่อช่วย

ให้เกิดการสลายตัวของ mRNA ถ้าเซลล์มี $[PSI^+]$ อยู่โปรตีน Sup35 จะถูกเหนี่ยวนำให้ไปรวมกับพรีออน เกิดเป็นกลุ่มก้อนใหญ่เรียกว่าไฟบิล จึงไม่เหลือ Sup35 ปกติเพื่อทำหน้าที่เดิมภายในเซลล์ ส่งผลให้การสังเคราะห์โปรตีนบางชนิดเกิดการอ่านข้ามผ่านรหัสหยุดไป จึงอาจไม่ได้สายพอลิเพปไทด์ที่ต้องการสมบูรณ์²⁶

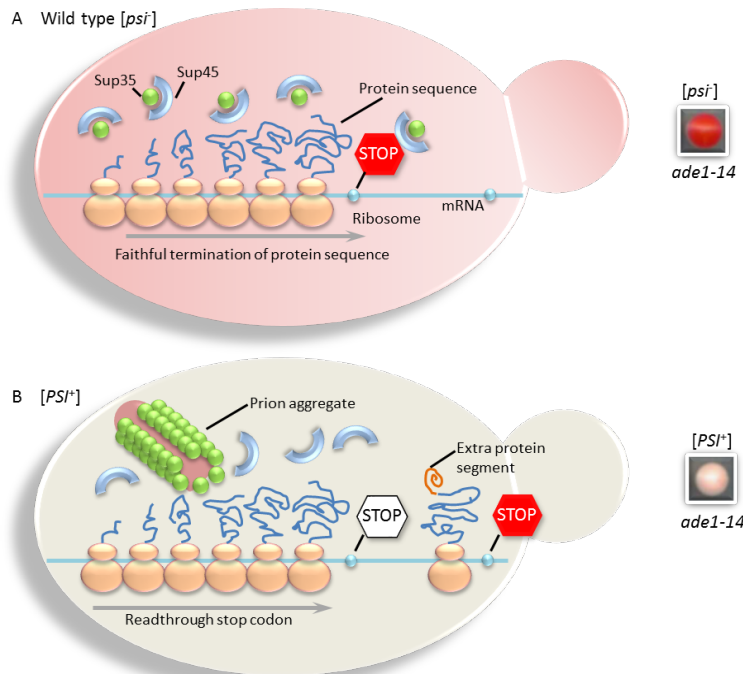


Figure 3 Protein translation and the effects of normal Sup35 and its $[PSI^+]$ form in yeast²⁷.

Sup35 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 76.5 กิโลดาลตัน (Figure 4) ประกอบด้วย 3 โดเมน ได้แก่ N-terminal domain (ตั้งแต่ 1-123) M (middle) domain (ตั้งแต่ 124-253) และ C-terminal domain (ตั้งแต่ 254-685)²⁹ ส่วนของ Prion domain (PrD; aa 1-97) อยู่บริเวณกรดอะมิโนลำดับที่ 123 ของบริเวณปลาย N ซึ่งมีกรดอะมิโน Q/N จำนวนมากเป็นเพปไทด์ที่เรียงซ้ำๆ กันอยู่ 9 เพปไทด์ เช่น PGGYQQYN ซึ่งคล้ายคลึงกับบริเวณที่ซ้ำกันที่พบในพรีออนของมนุษย์ เช่น PH GGGWGQ³⁰ ส่วน PrD ของ Sup35 ประกอบด้วย 2 บริเวณย่อย คือ QN-rich region (QNR; aa 1-40) เป็นกรดอะมิโนที่มีขั้วและไม่มีประจุซึ่งลำดับกรดอะมิโนตำแหน่ง 8-26 นี้จำเป็นสำหรับการเพิ่มขยายพรีออน³⁰ และส่วน oligopeptide region (OPR; aa 41-97) ซึ่งมีโอลิโกเพปไทด์ 5.5 เพปไทด์ที่ซ้ำๆ กัน³⁰ บริเวณ PrD ซึ่งสำคัญกับการสร้าง และการเพิ่มขยายของ $[PSI^+]$ พรีออน เนื่องจากเมื่อมีการกลายพันธุ์เกิดขึ้นที่บริเวณ QNR หรือ OPR จะส่งผลให้เกิดความบกพร่องในการเพิ่มขยาย $[PSI^+]$ ³² รวม

ไปถึงบริเวณปลาย N เมื่อนำเฉพาะบริเวณ N ไปแสดงออกในเซลล์ที่มี $[PIN^+]$ พบว่าสามารถส่งเสริมการก่อตัวใหม่ของ $[PSI^+]$ พรีออนในเซลล์นี้ได้ ดังนั้นบริเวณ N จึงมีความสำคัญกับการก่อตัวใหม่ของพรีออนในเซลล์ยีสต์^{32,33}

บริเวณ M ของ Sup35 ประกอบด้วยกรดอะมิโนพวกที่มีขั้วสูงและมีประจุบวก เช่น ไลซีน¹⁵ ส่วน M นี้ไม่จำเป็นสำหรับการเพิ่มขยายพันธุ์ $[PSI^+]$ แต่สำคัญต่อความเสถียรของ Sup35 ในระหว่างการแบ่งเซลล์³⁴ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่ากรดอะมิโนจำนวน 20 ตัว (aa 129-148) ของบริเวณ M จำเป็นต่อการทำงานของ Hsp104 เพราะเป็นบริเวณที่จะจับกับ Hsp104 แล้วกระตุ้นให้เอนไซม์ ATPase เกิดการทำงาน³⁵ บริเวณ C ของ Sup35 ไม่จำเป็นสำหรับการเพิ่มขยาย $[PSI^+]$ แต่มีส่วนช่วยการทำงานภายในเซลล์ของ Sup35 ในการหยุดการสังเคราะห์โปรตีน³⁶ โดยส่วน C มีบริเวณอนุรักษ์ที่ใช้จับกับ GTP และ Sup45 เพื่อเหนี่ยวนำให้เกิดการปลดปล่อยสายพอลิเพปไทด์หลังการสังเคราะห์โปรตีนเสร็จสิ้น³⁷

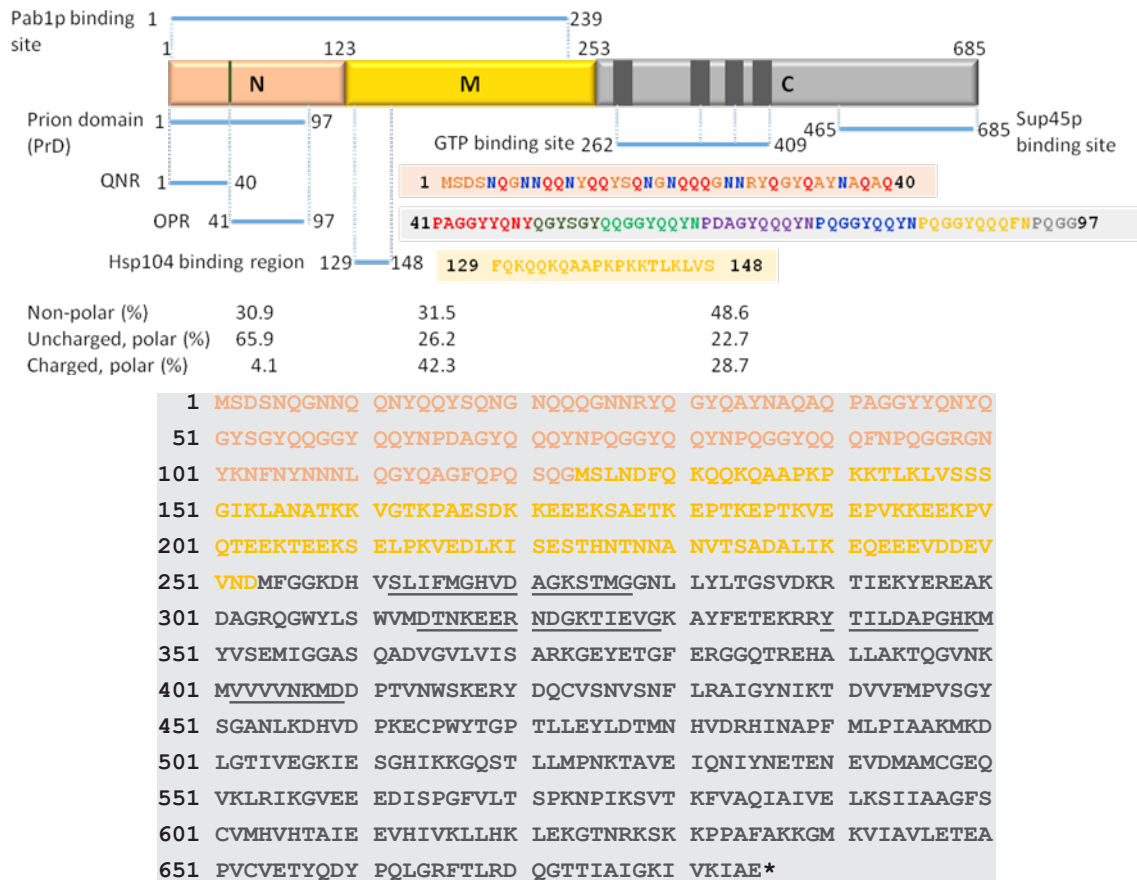


Figure 4 Structure of *S. cerevisiae* Sup35 and amino acid sequences. N, M and C refer to the N-terminal (orange), middle (yellow) and C-terminal (grey) regions of Sup35, respectively. Grey underlines represent the four GTP binding sites of the C region (YDR172W from <http://www.yeastgenome.org> and <http://www.uniprot.org>)^{31,35,43,44}.

บทบาทของ Hsp104 ในการเพิ่มขยาย [PSI⁺] พร็ออน (prion propagation)

โมเลกุลาร์แชพเพอโรน Hsp104 นอกจากจะสำคัญต่อการตอบสนองในสภาวะกดดันของยีสต์ โดยช่วยแยกโปรตีนออกจากกลุ่มที่เสียสภาพแล้วนั้น ยังพบว่าจำเป็นสำหรับการคงอยู่และเพิ่มขยายทั้งใน [PSI⁺] พร็ออน และยีสต์พร็ออนชนิดอื่น พร็ออนในยีสต์มักสูญหายไปจากเซลล์ เมื่อยีสต์นั้นไม่มีแชพเพอโรน Hsp104 ทั้งจากการนำยีนออกไปหรือทำให้กลายพันธุ์และการถูกยับยั้งการทำงานด้วยสาร GdnHCl ซึ่งทำให้สูญเสียกิจกรรมของ Hsp104 รวมไปถึงกรณีที่มีระดับแสดงออกของยีน *HSP104* สูงกว่าปกติ (over-expression) ทั้งหมดนี้ส่งผลให้ [PSI⁺] พร็ออน ถูกขจัดไปจากเซลล์เกิดเป็นสภาวะ [psi⁻] แสดงให้เห็นว่าในเซลล์ยีสต์ควรมีปริมาณของ Hsp104 อยู่ในระดับกลางไม่มากหรือน้อยเกินไป จึงมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะช่วยให้ [PSI⁺] พร็ออนยังคงอยู่ในเซลล์ต่อไปได้ การนำยีน *HSP104* ออกจากยีสต์ส่งผลให้ลักษณะฟีโนไทป์ที่เป็น [PSI⁺]

ของยีสต์หายไปเกิด [psi⁻] เรียกว่า psi-no-more หรือ PNM เพราะยีสต์นั้นจะไม่สามารถกลับมาสู่สภาวะแบบ [PSI⁺] ได้อีก จนกว่าจะนำยีน *HSP104* ใส่กลับเข้าไป แล้วจึงนำ [PSI⁺] พร็ออนใส่เข้าสู่เซลล์ยีสต์อีกครั้ง¹² แม้ว่า Hsp104 มีความสำคัญในการเพิ่มขยายของพร็ออนอื่นในยีสต์เช่น [URE3] และ [PIN⁺] แต่การมี Hsp104 ปริมาณสูงในเซลล์กลับไม่ส่งผลให้พร็ออนทั้ง 2 ชนิดสูญหายไปจากเซลล์^{33,38} มีเพียง [MOD⁺] พร็ออน ที่พบว่าถูกขจัดออกจากเซลล์ได้ เมื่อมีการแสดงออกของ Hsp104 ในระดับสูงเช่นเดียวกับใน [PSI⁺]³⁹ มีรายงานว่า Hsp104 สามารถตัดหรือแยกให้โปรตีน Sup35 หรือ Ure2 ที่รวมกลุ่มกันอยู่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงได้ และเมื่อนำกลุ่มโปรตีนขนาดเล็กนี้ไปถ่ายทอดเข้าสู่เซลล์ พบว่าสามารถเหนี่ยวนำให้โปรตีนปกติในเซลล์เปลี่ยนเป็นสภาวะพร็ออน^{40,41} นอกจากนี้การมี Hsp104 ระดับสูงอยู่เป็นเวลานาน ส่งผลให้ความสามารถของไฟบริล [URE3] ที่จะไปเหนี่ยวนำให้เกิดสภาวะพร็ออนในเซลล์สูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่าไฟบริล

[PSI⁺] มักอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และไม่เหนียวทำให้เกิดสภาวะปรืออน⁴¹ ดังนั้นผลที่เกิดของ Hsp104 ต่อการเพิ่มขยายปรืออนจึงขึ้นอยู่กับทั้งระดับ Hsp104 ในเซลล์ และชนิดของปรืออน

มีการศึกษาพบว่าแซพเพอโรน Hsp104 สามารถจับกับ Sup35 แล้วทำให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง Hsp104 และการทำงานของ ATPase ซึ่งช่วยยืนยันได้ว่า Hsp104 และ Sup35 น่าจะมีการทำงานร่วมกันในกิจกรรมบางอย่างในเซลล์^{42,43} จึงมีความพยายามศึกษาถึงความสัมพันธ์ของโปรตีนทั้ง 2 ชนิดนี้ ซึ่งนำไปสู่การเสนอรูปแบบ เพื่อใช้อธิบายถึงบทบาทของ Hsp104 ต่อการเพิ่มขยายปรืออนในยีสต์ 2 รูปแบบ (Figure 5) ได้แก่ รูปแบบที่ 1 Hsp104 กระตุ้นให้ Sup35 เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปอยู่ในรูปของ oligomeric intermediate แล้วทำให้เกิดการรวมกลุ่ม และมีขนาดใหญ่ขึ้นจนกระทั่งอยู่ในสภาวะ [PSI⁺] ปรืออน^{12,29,44,45} อย่างไรก็ตามพบว่า การแสดงออกของ Sup35 ในระดับที่สูงขึ้นจะเหนียวทำให้เกิดการสร้าง [PSI⁺] ปรืออนได้เมื่อไม่มี Hsp104 ในเซลล์ แสดงว่า Hsp104 อาจไม่มีความจำเป็นต่อการก่อตัวใหม่ของ Sup35 ในรูปของ oligomeric intermediate ก่อนจะเข้าสู่สภาวะปรืออน³³ สำหรับรูปแบบที่ 2 Hsp104 ไปดึงสายพอลิเพปไทด์ออกจากปรืออน ซึ่งเป็นกลุ่มโปรตีนก้อนใหญ่ ทำให้ถูกแบ่งแยกเป็นกลุ่มย่อยๆ จนกระทั่งได้โปรตีนที่อนุภาคขนาดเล็กลง และมีคุณสมบัติเป็นเหมือนปรืออนตั้งต้นเรียกว่า พรอพากอน (propagon) หรือ seed สำหรับการเพิ่มขยายจำนวนกลายเป็นปรืออนในเซลล์ต่อไป⁴⁶ พรอพากอนนี้ถูกถ่ายทอดต่อไปกับเซลล์ลูกของยีสต์ในระหว่างการแตกหน่อเพิ่มจำนวนเซลล์ แล้วจึงมีการเพิ่มขยายในเซลล์ลูกโดยการเหนียวนำ Sup35 ปกติให้เข้ามารวมกลุ่มกับพรอพากอน จนกระทั่งขยายขนาดเป็นปรืออนไฟบริล ส่งผลให้สภาวะ [PSI⁺] ปรืออนยังคงอยู่ต่อไป^{29,47} มีรายงานการวิจัยพบว่า Hsp104 ทำหน้าที่แยกพอลิเพปไทด์แต่ละสายออกจากกลุ่มโปรตีน แล้วดึงผ่านช่องทางตรงกลางวงแหวนหน้าของ Hsp104 ซึ่งข้อมูลนี้สนับสนุนการทำงานของ Hsp104 ตามรูปแบบที่ 2 ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การเพิ่มขยายปรืออน โดยที่ปรืออนถูกแบ่งเป็นชิ้นๆ ที่ขนาดเล็กลง ดังนั้นกลไกการทำงานแบบนี้ของ Hsp104 จึงจำเป็นสำหรับการแยกโปรตีนออกจากกลุ่ม และช่วยในการเพิ่มขยายปรืออน⁴⁷ นอกจากนี้ยังพบว่าการยับยั้งกิจกรรมของ ATPase ใน Hsp104 ด้วย GdnHCl ทำให้ Hsp104 ไม่สามารถดึงแยกปรืออนได้ จึงไม่มีการสร้างพรอพากอนใหม่ออกมา เมื่อไม่มีโมเลกุลตั้งต้นปรืออน จึงไม่มีการเพิ่มขยาย⁴⁸ (Figure 5) หน้าที่ของ Hsp104 ในการแยกโปรตีนออกจากกลุ่ม ต้องทำงานร่วมกับแซพเพอโรนสนับสนุน Hsp70 (Ssa1/2) ซึ่ง

ไปจับกับ Sup35 ที่บริเวณ PrD ของเซลล์ที่เป็น [PSI⁺]⁴⁹ โดยคาดว่าทั้ง Hsp40 (Sis1) และ Hsp70 น่าจะมีส่วนช่วยในการนำโปรตีน เพื่อส่งผ่านช่องทางตรงกลางของ Hsp104 (Figure 6)⁵⁰ อย่างไรก็ตามมีรายงานว่า ในกรณีที่ไม่ได้มี Hsp70 (Ssa1) พบว่า Hsp104 เพียงลำพังสามารถดึงแยกสายพอลิเพปไทด์ออกจากกลุ่มโปรตีนที่เสียสภาพ และปรืออน Sup35 และ Ure3 ได้ โดยผ่านการไฮโดรไลซ์ ATP⁵¹ สรุปได้ว่ากระบวนการดึงแยกโปรตีนออกจากกลุ่มของ Hsp104 เกิดขึ้นได้ทั้งแบบอาศัยและไม่อาศัย Hsp70 (Figure 6)

ผลของระดับ Hsp104 สูงต่อการเพิ่มขยาย [PSI⁺] ปรืออน

ตามข้อมูลข้างต้น Hsp104 ทำหน้าที่ในการเพิ่มขยายปรืออนภายในเซลล์ โดยทำให้ปรืออนพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ แยกออกเป็นหลายโมเลกุลย่อย ซึ่งสามารถถ่ายทอดไปยังเซลล์ลูกได้ แต่พบว่าหาก Hsp104 มีระดับการแสดงออกที่เพิ่มสูงมากจะส่งผลให้ [PSI⁺] ถูกจัดออกจากเซลล์อย่างรวดเร็ว ในการเจริญในระยะ exponential phase โดยไม่มีผลกระทบต่ออัตราการรอดชีวิตของยีสต์¹² แต่ระดับที่เพิ่มขึ้นของ Hsp104 ภายใต้สภาวะฮีทช็อก (heat shock) ไม่มีผลจัด [PSI⁺] ปรืออน อาจเนื่องจากมีฮีทช็อกโปรตีนอื่นในเซลล์ที่เพิ่มขึ้นด้วย เช่น Hsp70 จึงช่วยในการปกป้อง [PSI⁺] จากการถูกจัดได้⁵² แม้ว่าปริมาณที่สูงขึ้นกว่าปกติของ Hsp104 สามารถจัด [PSI⁺] ปรืออนได้ แต่ [PSI⁺] สามารถก่อตัวขึ้นใหม่ได้ถ้าในเซลล์ยีสต์มี [PIN⁺] อยู่ และมีระดับของ Sup35 ที่สูงพอ^{40,53} มีการเสนอกลไกว่าเพราะเหตุใดเซลล์ที่มี Hsp104 อยู่ในระดับที่สูงจึงสามารถจัด [PSI⁺] ได้ไว้หลายสมมุติฐานด้วยกัน เช่น สมมุติฐานหนึ่งคาดว่าระดับที่สูงของ Hsp104 ทำให้ Sup35 พอลิเมอร์ถูกแยกออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์จนกระทั่งได้ Sup35 ในรูปปกติเท่านั้น ไม่มีการสร้างพรอพากอนใหม่ เพื่อตั้งต้นการเพิ่มขยายปรืออน^{46,53} และพบการเพิ่มขนาดใหญ่อขึ้นของ Sup35 พอลิเมอร์ได้ใน [PSI⁺] เซลล์ที่มี HSP104 ถูกจัดการแสดงออก ไม่มีกิจกรรมดึงแบ่งพอลิเมอร์ เพื่อผลิตพรอพากอน ข้อมูลนี้สนับสนุนว่าการจัด [PSI⁺] ออกจากเซลล์ น่าจะเกิดจากกิจกรรมที่สมบูรณ์ของ Hsp104 ในการแยกโปรตีนออกจากกลุ่มขนาดใหญ่⁵⁴ อย่างไรก็ตามอีกสมมุติฐานหนึ่งพบว่าการกลายพันธุ์ที่บริเวณปลาย N (aa 1-165) ของ Hsp104 ไม่กระทบต่อการตอบสนองของ Hsp104 ต่ออุณหภูมิสูง แต่มีผลกับการคงอยู่ของ [PSI⁺] แสดงให้เห็นว่าบริเวณปลาย N ไม่จำเป็นสำหรับหน้าที่ตามปกติของ Hsp104 และการแยกโปรตีนออกจากกลุ่มในสภาวะอุณหภูมิสูง แต่มีความสำคัญต่อการจัด [PSI⁺] เมื่อมีปริมาณ Hsp104 ในระดับสูง⁵³ จากผลการศึกษาเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่าการจัด [PSI⁺] ในสภาวะ

ที่ระดับ Hsp104 สูงกว่าปกติไม่ได้เกิดขึ้นง่าย ๆ ด้วยกิจกรรมตามปกติของ Hsp104 ในการแยกโปรตีนออกจากพรีออนพอลิเมอร์ได้สมบูรณ์ ดังนั้นการขจัด [PSI⁺] จากเซลล์ด้วย Hsp104 ปริมาณสูง อาจเกิดจากกลไกการทำงานอื่นที่แตกต่างออกไป ต่อมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของ Hsp104 กับกลุ่มแซพเพอโรน Hsp90 ได้แก่ Cpr7 และ Sti1 โดยทำการกลายพันธุ์ด้วยการนำยีนแซพเพอโรนทั้ง 2 ชนิดออกจากเซลล์ แล้วพบว่าไม่เกิดการขจัด [PSI⁺] เมื่อมี Hsp104 ปริมาณมาก^{56,57} แสดงว่าโปรตีน Hsp104 ไม่เพียงทำงานร่วมกับ Hsp70 และ Hsp40 เท่านั้น แต่ยังมีการทำงานร่วมกับแซพเพอโรน Sti1 และ Cpr7 อีกด้วย และมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการขจัดพรีออนออกจากเซลล์ ซึ่งแซพเพอโรนทั้ง 2 ชนิดนี้ สามารถจับกับบริเวณโมทีฟโดเมน tetra-tricopeptide repeat (TPR-binding motif) ที่ปลาย C ของ Hsp104 ได้⁵⁸ นอกจากนี้ Hsp104 แล้ว Sti1 และ Cpr7 ยังทำงานร่วมกับ Hsp70 ด้วยเช่นกัน^{59,60} แล้วยังพบอีกว่าในยีสต์ [PSI⁺] ที่มีการกลายพันธุ์ที่บริเวณ NBD1 และ NBD2 ของ Hsp104 ซึ่งทำให้ไม่มีกิจกรรมของ ATPase ต้องเกิดการขจัด [PSI⁺] ออกจากเซลล์ แต่การขจัดแบบนี้จะไม่เกิดขึ้นถ้าในเซลล์นั้นไม่มี Cpr7 และ Sti1 อยู่ด้วย^{12,56} สรุปได้ว่าแซพเพอโรน Cpr7 และ Sti1 มีส่วนสำคัญในการขจัด [PSI⁺] แต่ไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขยาย [PSI⁺] พรีออนในเซลล์ นอกจากนี้ Cox et al (2003)⁶¹ ได้เสนอว่าระดับของ Hsp104 ที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลต่อสัดส่วนการถ่ายทอดพรีออนจากเซลล์แม่สู่ลูก (π) ซึ่งสอดคล้องกับการค้นพบที่ว่า การเพิ่มขึ้นของระดับ Hsp104 ในเซลล์ทำให้ค่า π ลดลง หรือเซลล์ลูกได้รับถ่ายทอดพรีออนน้อยลงนั่นเอง จนกระทั่งไม่มีพรีออนเหลือตั้งต้นในเซลล์ลูก⁶²

ซึ่งอาจเกิดจากการขัดขวาง หรือมีความบกพร่องบางอย่างในการส่งต่อพรีออนสู่เซลล์ลูก อย่างไรก็ตามการศึกษายีสต์โปรตีนในกลุ่ม cytoskeleton/polarisome เช่น Sir2 Spa2 Hof1 และโปรตีน formin Bni1 ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกับ Hsp104 ในการควบคุมการขนส่งโปรตีนต่าง ๆ จากเซลล์แม่สู่ลูกให้เกิดขึ้นในสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการส่งผ่านโปรตีนเสียสภาพ และเกาะกลุ่มกันต่อไปยังเซลล์ลูกได้⁶³⁻⁶⁵ มีรายงานการวิจัยพบว่าการนำโปรตีนเหล่านี้ออก มีผลต่อการถ่ายทอดพรีออนเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่กระทบโดยตรงต่อการเพิ่มขยาย และการขจัด [PSI⁺] พรีออน เมื่อมีระดับของ Hsp104 เพิ่มขึ้น⁶⁶ แสดงว่าการเพิ่มขึ้นของ Hsp104 ก่อให้เกิดการรบกวนขั้นตอนการส่งพรีออนสู่เซลล์ลูกด้วยกลไกที่ไม่อาศัยการกิจกรรมของ Sir2 Hof1 Spa2 และ Bnr1 แต่ยังมีโปรตีนในกลุ่มนี้ คือ Btn2 ซึ่งพบว่าสามารถทำงานร่วมกับ Sis1 ในการขจัดพรีออนชนิดอื่นจากยีสต์ได้^{67,68} ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาถึงความเกี่ยวข้องของ [PSI⁺] โดยตรง

ต่อมาในปี ค.ศ. 2018 Greene et al⁶⁹ ได้เสนอแนวคิดของการขจัด [PSI⁺] เมื่อ Hsp104 มีปริมาณสูง ว่าไม่ได้เกิดขึ้นจากการยับยั้งกิจกรรมของ Hsp104 จนกระทั่งไม่มีพรีออน และการส่งต่อพรีออนแบบไม่สมมาตรจากเซลล์แม่สู่ลูก แต่เกิดจาก [PSI⁺] พรีออนถูกทำให้สลายตัวไปหมด จึงไม่มีพรีออน ด้วยกิจกรรมการตัดแต่ง (trimming activity) ของ Hsp104 โดยการตัดแยกโปรตีนที่เป็นหน่วยย่อยออกจากพรีออนพอลิเมอร์จนหมด ซึ่งแตกต่างจากกลไกการดึงแยกสายพอลิเพปไทด์ เพราะการตัดแต่งแบบนี้ไม่ทำให้เกิดพรีออนใหม่

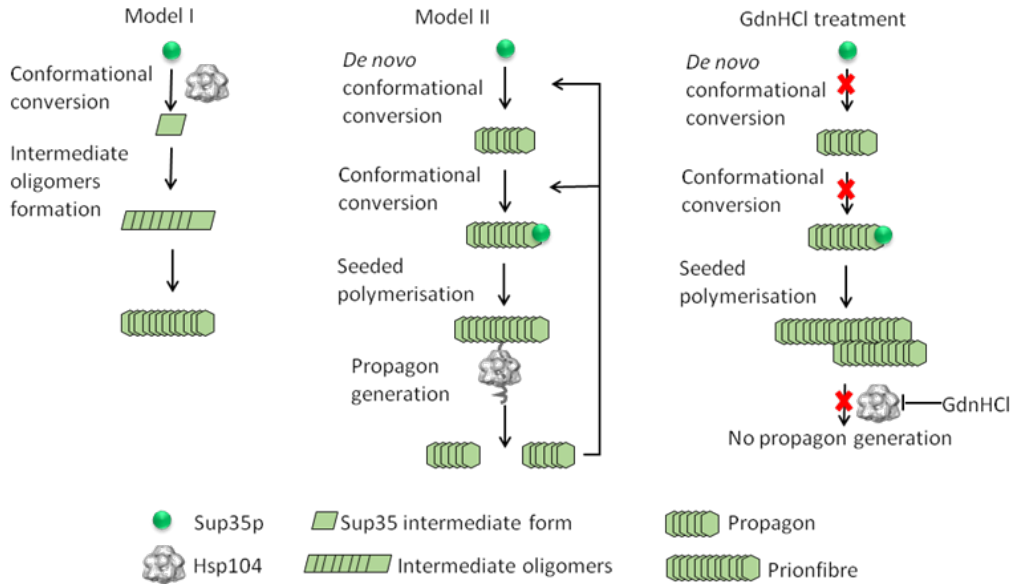


Figure 5 Two proposed models of Sup35 prion propagation and the model of Hsp104 function inhibited by GdnHCl^{46,53}.

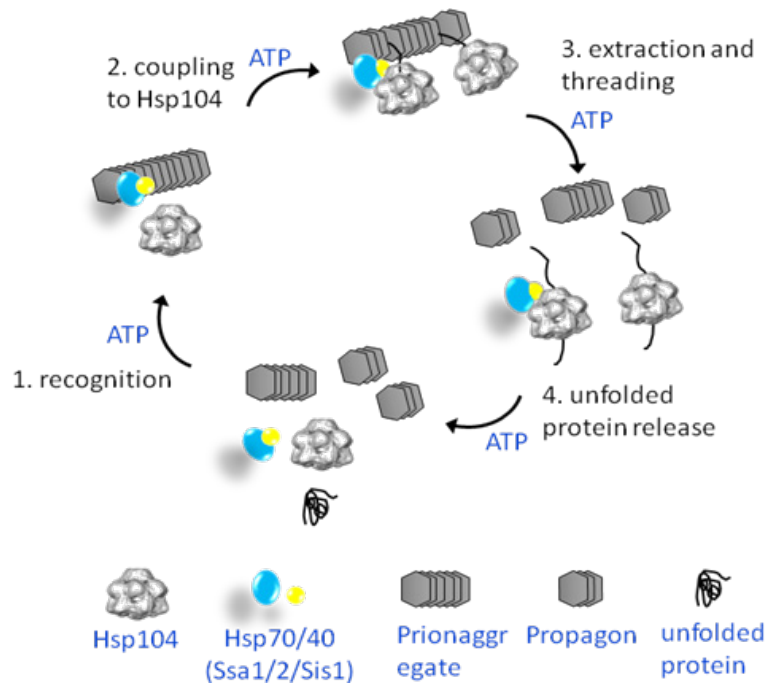


Figure 6 Proposed model of Hsp104 cooperation with the Hsp70/40 system in propagating yeast prions^{48,55}.

จากข้อมูลทั้งหมดนี้ แสดงว่ากระบวนการขจัด [PSI⁺] ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม เพื่อให้ได้มาซึ่งกลไกการทำงานของ Hsp104 ปริมาณสูง ที่ส่งผลให้พรีออนถูกขจัดออกไป โดยข้อมูลที่จะได้นี้อาจเป็นประโยชน์ต่อการรักษาโรคทางระบบประสาทและสมองในมนุษย์ ซึ่งเกิดจากการสะสมโปรตีนที่มีโครงสร้างผิดปกติจนเป็นกลุ่มอมัยลอยด์จำนวนมากในสมอง ในปัจจุบันได้มีความพยายามค้นคว้าหาหน่วัตกรรมเพื่อใช้ในการบำบัดและรักษา เช่น การทำให้โปรตีนถูกแยกออกจากกลุ่มก้อนใหญ่ และกลับไปทำหน้าที่ตามปกติ ซึ่งในเซลล์สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ยังไม่พบว่ามียาหรือสารของโปรตีนใดที่มีคุณสมบัติแบบนี้อย่างชัดเจน ตรงกันข้ามกับในยีสต์ เชื้อรา และแบคทีเรีย ที่มีแชพเพอโรนโปรตีน โดยเฉพาะ Hsp104 ในยีสต์ที่สามารถกำจัด หรือช่วยให้โปรตีนผิดปกติกลับสู่สภาวะปกติได้ และยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับทั้งการคงอยู่ การเพิ่มขยาย และการขจัดพรีออน จึงอาจเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้เป็นต้นแบบสำหรับศึกษา และประยุกต์ใช้ในการต่อสู้กับโรคทางสมองในมนุษย์ต่อไป⁷⁰

สรุป

แชพเพอโรน Hsp104 มีหน้าที่ในการช่วยให้ยีสต์อยู่รอดในสภาวะที่กดดัน เช่น ฮีทช็อค โดยแยกโปรตีนหน่วยย่อยออกจากกลุ่มโปรตีนที่เสียสภาพ อาศัยการทำงานร่วมกับเครือข่ายแชพเพอโรนสนับสนุน เพื่อช่วยให้โปรตีนนั้นเกิดการม้วนพับใหม่ และกลับสู่รูปแบบปกติ Hsp104 ยังมีหน้าที่สำคัญในการส่งเสริมการคงอยู่ และการเพิ่มขยายจำนวนยีสต์พรีออนโดยเฉพาะ [PSI⁺] พรีออน Hsp104 เข้าจับกับโปรตีนเป้าหมายกระตุ้นให้ ATPase ทำงานไฮโดรไลซ์ ATP แล้วดึงแยกสายพอลิเพปไทด์ออกจากกลุ่มโปรตีน จึงส่งผลให้เกิดโปรตีนที่มีขนาดเล็กสำหรับถ่ายถอดสู่เซลล์ลูก และใช้ในการตั้งต้นการเพิ่มขยายพรีออนครั้งใหม่ นอกจากนี้ในสภาวะที่มีระดับ Hsp104 สูงมากยังส่งผลให้เกิดการขจัด [PSI⁺] ออกจากเซลล์ยีสต์นั้นๆ ได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากกิจกรรมของ Hsp104 ที่แตกต่างกันไปจากปกติ และยังไม่สามารถสรุปกลไกได้อย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1. Craig EA, Gambill BD, Nelson RJ. Heat shock proteins: molecular chaperones of protein biogenesis. *Microbiol Rev* 1993 Jun 1;57(2):402-414.
2. Walker JE, Saraste M, Runswick MJ, Gay NJ. Distantly related sequences in the alpha- and beta-subunits of ATP synthase, myosin, kinases and other ATP-requiring enzymes and a common

nucleotide binding fold. *EMBO J* 1982 Aug 1;1(8):945-951.

3. Hanson PI, Whiteheart SW. AAA⁺ proteins: have engine, will work. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2005 Jul 1;6(7):519-529.
4. Schirmer EC, Glover JR, Singer MA, Lindquist S. HSP100/Clp proteins: a common mechanism explains diverse functions. *Trends Biochem Sci* 1996 Aug 1;21(8):289-296.
5. Dougan DA, Mogk A, Zeth K, Turgay K, Bukau B. AAA⁺ proteins and substrate recognition, it all depends on their partner in crime. *FEBS Lett* 2002 Oct 2;529(1):6-10.
6. Lindquist S, Kim G. Heat-shock protein 104 expression is sufficient for thermotolerance in yeast. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1996 May 28; 93(11):5301-5306.
7. Sanchez Y, Taulien J, Borkovich KA, Lindquist S. Hsp104 is required for tolerance to many forms of stress. *EMBO J* 1992 Jun 1;11(6):2357-2364.
8. Parsell DA, Sanchez Y, Stitzel JD, Lindquist S. Hsp104 is a highly conserved protein with two essential nucleotide-binding sites. *Nature* 1991 Sep 19;353(6341):270-273.
9. Doyle SM, Wickner S. Hsp104 and ClpB: protein disaggregating machines. *Trends Biochem Sci* 2009 Jan 1;34(1):40-48.
10. Parsell DA, Taulien J, Lindquist S. The role of heat-shock proteins in thermotolerance. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 1993 Mar 29;339(1289):279-85: 285-6.
11. Ogura T, Whiteheart SW, Wilkinson AJ. Conserved arginine residues implicated in ATP hydrolysis, nucleotide-sensing, and inter-subunit interactions in AAA and AAA⁺ ATPases. *J Struct Biol* 2004 Apr 1;146(1-2):106-112.
12. Chernoff YO, Lindquist SL, Ono B, Inge-Vechtomov SG, Liebman SW. Role of the chaperone protein Hsp104 in propagation of the yeast prion-like factor [PSI⁺]. *Science* 1995 May 12;268(5212):880-884
13. Bosl B, Grimminger V, Walter S. Substrate binding to the molecular chaperone Hsp104 and its regulation

- by nucleotides. *J Biol Chem* 2005 Nov 18;280(46):38170-38176.
14. Lum R, Niggemann M, Glover JR. Peptide and protein binding in the axial channel of Hsp104. Insights into the mechanism of protein unfolding. *J Biol Chem* 2008 Oct 31;283(44):30139-30150.
 15. Cashikar AG, Schirmer EC, Hattendorf DA, Glover JR, Ramakrishnan MS, Ware DM, et al. Defining a pathway of communication from the C-terminal peptide binding domain to the N-terminal ATPase domain in a AAA protein. *Mol Cell* 2002 Apr 9(4):751-760.
 16. Bosl B, Grimminger V, Walter S. The molecular chaperone Hsp104--a molecular machine for protein disaggregation. *J Struct Biol* 2006 Oct 1; 156(1):139-148.
 17. Tyedmers J, Mogk A, Bukau B. Cellular strategies for controlling protein aggregation. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2010 Oct 14;11(11):777-788.
 18. Hattendorf DA, Lindquist SL. Cooperative kinetics of both Hsp104 ATPase domains and interdomain communication revealed by AAA sensor-1 mutants. *EMBO J* 2002 Jan 15;21(1-2):12-21.
 19. Lee S, Sowa ME, Choi JM, Tsai FT. The ClpB/Hsp104 molecular chaperone-a protein dis-aggregating machine. *J Struct Biol* 2004 Apr 1; 146(1-2):99-105.
 20. Koo EH, Lansbury PT Jr, Kelly JW. Amyloid diseases: abnormal protein aggregation in neurodegeneration. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1999 Aug 31;96(18):9989-9990.
 21. Coustou V, Deleu C, Saupé S, Begueret J. The protein product of the *het-s* heterokaryon incompatibility gene of the fungus *Podospora anserina* behaves as a prion analog. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1997 Sep 2;94(18):9773-9778.
 22. Eaglestone SS, Cox BS, Tuite MF. Translation termination efficiency can be regulated in *Saccharomyces cerevisiae* by environmental stress through a prion-mediated mechanism. *EMBO J* 1999 Apr 1;18(7):1974-1981.
 23. True HL, Lindquist SL. A yeast prion provides a mechanism for genetic variation and phenotypic diversity. *Nature* 2000 Sep 28;407(6803):477-483.
 24. Tuite MF, Staniforth GL, Cox BS. $[PSI^+]$ turns 50. *Prion* 2015 Dec 21;9(5):318-332.
 25. Crow ET, Li L. Newly identified prions in budding yeast, and their possible functions. *Semin Cell Dev Biol* 2011 Jul 22;(5):452-459.
 26. Stansfield I, Jones KM, Kushnirov VV, Dagkesamanskaya AR, Poznyakovski AI, Paushkin SV, et al. The products of the SUP45 (eRF1) and SUP35 genes interact to mediate translation termination in *Saccharomyces cerevisiae*. *EMBO J* 1995 Sep 1;14(17):4365-4373.
 27. Partridge L, Barton NH. Evolving evolvability. *Nature* 2000 Sep 28;407(6803):457-458.
 28. Tuite MF, Cox BS. Propagation of yeast prions. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2003 Nov 1;4(11):878-890.
 29. Patino MM, Liu JJ, Glover JR, Lindquist S. Support for the prion hypothesis for inheritance of a phenotypic trait in yeast. *Science* 1996 Aug 2;273(5275):622-626.
 30. DePace AH, Santoso A, Hillner P, Weissman JS. A critical role for amino-terminal glutamine/asparagine repeats in the formation and propagation of a yeast prion. *Cell* 1998 Jun 26; 93(7): 1241-1252.
 31. Ter-Avanesyan MD, Dagkesamanskaya AR, Kushnirov VV, Smirnov VN. The SUP35 omnipotent suppressor gene is involved in the maintenance of the non-Mendelian determinant $[PSI^+]$ in the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Genetics* 1994 Jul 1;137(3):671-676.
 32. Derkatch IL, Chernoff YO, Kushnirov VV, Inge-Vechtomov SG, Liebman SW. Genesis and variability of $[PSI^+]$ prion factors in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genetics* 1996 Dec 1;144(4):1375-1386.
 33. Derkatch IL, Bradley ME, Zhou P, Chernoff YO, Liebman SW. Genetic and environmental factors affecting the *de novo* appearance of the $[PSI^+]$ prion in *Saccharomyces cerevisiae*. *Genetics* 1997 Oct 1;147(2):507-519.
 34. Liu JJ, Sondheimer N, Lindquist SL. Changes in the

- middle region of Sup35 profoundly alter the nature of epigenetic inheritance for the yeast prion [PSI⁺]. Proc Natl Acad Sci U S A 2002 Dec 10;99 Suppl 4:16446-16453.
35. Helsen CW, Glover JR. Insight into molecular basis of curing of [PSI⁺] prion by overexpression of 104-kDa heat shock protein (Hsp104). J Biol Chem 2012 Jan 2;287(1):542-556.
 36. Ter-Avanesyan MD, Kushnirov VV, Dagkesamanskaya AR, Didichenko SA, Chernoff YO, Inge-Vechtomov SG, et al. Deletion analysis of the SUP35 gene of the yeast *Saccharomyces cerevisiae* reveals two non-overlapping functional regions in the encoded protein. Mol Microbiol 1993 Mar 1;7(5):683-692.
 37. Salas-Marco J, Bedwell DM. GTP hydrolysis by eRF3 facilitates stop codon decoding during eukaryotic translation termination. Mol Cell Biol 2004 Sep 1;24(17):7769-7778.
 38. Osherovich LZ, Weissman JS. Multiple Gln/Asn-rich prion domains confer susceptibility to induction of the yeast [PSI⁺] prion. Cell 2001 Jul 27;106(2):183-194.
 39. Suzuki G, Shimazu N, Tanaka M. A yeast prion, Mod5, promotes acquired drug resistance and cell survival under environmental stress. Science 2012 Apr 20;336(6079):355-359.
 40. Shorter J, Lindquist S. Hsp104 catalyzes formation and elimination of self-replicating Sup35 prion conformers. Science 2004 Jun 18;304 (5678):1793-1797.
 41. Shorter J, Lindquist S. Destruction or potentiation of different prions catalyzed by similar Hsp104 remodeling activities. Mol Cell 2006 Aug 4;23(3):425-438.
 42. Kononenko AV, Mitkevich VA, Atkinson GC, Tenson T, Dubovaya VI, Frolova LY, et al. GTP-dependent structural rearrangement of the eRF1:eRF3 complex and eRF3 sequence motifs essential for PABP binding. Nucleic Acids Res 2010 Jan 1;38(2):548-558.
 43. Zhouravleva G, Frolova L, Le Goff X, Le Guellec R, Inge-Vechtomov S, Kisselev L, et al. Termination of translation in eukaryotes is governed by two interacting polypeptide chain release factors, eRF1 and eRF3. EMBO J 1995 Aug 15;14(16):4065-4072.
 44. Kiktev D, Vechtomov SI, Zhouravleva G. Prion-dependent lethality of sup45 mutants in *Saccharomyces cerevisiae*. Prion 2007 Apr 1;(2):136-143.
 45. Serio TR, Cashikar AG, Kowal AS, Sawicki GJ, Moslehi JJ, Serpell L, et al. Nucleated conformational conversion and the replication of conformational information by a prion determinant. Science 2000 Aug 25;289(5483):1317-1321.
 46. Paushkin SV, Kushnirov VV, Smirnov VN, Ter-Avanesyan MD. Propagation of the yeast prion-like [PSI⁺] determinant is mediated by oligomerization of the SUP35-encoded polypeptide chain release factor. EMBO J 1996 Jun 17;15(12):3127-3134.
 47. Tessarz P, Mogk A, Bukau B. Substrate threading through the central pore of the Hsp104 chaperone as a common mechanism for protein disaggregation and prion propagation. Mol Microbiol 2008 Apr 28;68(1):87-97.
 48. Ness F, Ferreira P, Cox BS, Tuite MF. Guanidine hydrochloride inhibits the generation of prion "seeds" but not prion protein aggregation in yeast. Mol Cell Biol 2002 Aug 1;22(15):5593-5605.
 49. Bagriantsev SN, Gracheva EO, Richmond JE, Liebman SW. Variant-specific [PSI⁺] infection is transmitted by Sup35 polymers within [PSI⁺] aggregates with heterogeneous protein composition. Mol Biol Cell 2008 Jun 1;19(6):2433-2443.
 50. Tipton KA, Verges KJ, Weissman JS. *In vivo* monitoring of the prion replication cycle reveals a critical role for Sis1 in delivering substrates to Hsp104. Mol Cell 2008 Nov 21;32(4):584-591.
 51. Doyle SM, Shorter J, Zolkiewski M, Hoskins JR, Lindquist S, Wickner S. Asymmetric deceleration of ClpB or Hsp104 ATPase activity unleashes protein-remodeling activity. Nat Struct Mol Biol 2007 Jan 28;14(2):114-122.
 52. Newnam GP, Wegrzyn RD, Lindquist SL, Chernoff YO. Antagonistic interactions between yeast chaperones Hsp104 and Hsp70 in prion curing. Mol

- Cell Biol 1999 Feb 1;19(2):1325-1333.
53. Hung GC, Masison DC. N-terminal domain of yeast Hsp104 chaperone is dispensable for thermotolerance and prion propagation but necessary for curing prions by Hsp104 overexpression. *Genetics* 2006 Jun 1;173(2):611-620.
 54. Kryndushkin DS, Alexandrov IM, Ter-Avanesyan MD, Kushnirov VV. Yeast $[PSI^+]$ prion aggregates are formed by small Sup35 polymers fragmented by Hsp104. *J Biol Chem* 2003 Dec 5;278(49):49636-49643.
 55. Winkler J, Tyedmers J, Bukau B, Mogk A. Chaperone networks in protein disaggregation and prion propagation. *J Struct Biol* 2012 Aug 1; 179(2):152-160.
 56. Moosavi B, Wongwigkarn J, Tuite MF. Hsp70/Hsp90 co-chaperones are required for efficient Hsp104-mediated elimination of the yeast $[PSI^+]$ prion but not for prion propagation. *Yeast* 2009 Dec 10;27(3):167-179.
 57. Reidy M, Masison DC. Sti1 regulation of Hsp70 and Hsp90 is critical for curing of *Saccharomyces cerevisiae* $[PSI^+]$ prions by Hsp104. *Mol Cell Biol* 2010 May 17;30(14):3542-3552.
 58. Abbas-Terki T, Donze O, Briand PA, Picard D. Hsp104 interacts with Hsp90 cochaperones in respiring yeast. *Mol Cell Biol* 2001 Nov 1;21(22):7569-7575.
 59. Wegele H, Haslbeck M, Reinstein J, Buchner J. Sti1 is a novel activator of the Ssa proteins. *J Biol Chem* 2003 Jul 11;278(28):25970-25976.
 60. Song Y, Masison DC. Independent regulation of Hsp70 and Hsp90 chaperones by Hsp70/Hsp90-organizing protein Sti1 (Hop1). *J Biol Chem* 2005 Oct 7;280(40):34178-34185.
 61. Cox B, Ness F, Tuite M. Analysis of the generation and segregation of propagons: entities that propagate the $[PSI^+]$ prion in yeast. *Genetics* 2003 Sep 1;165(1):23-33.
 62. Ness F, Cox BS, Wongwigkarn J, Naeimi WR, Tuite MF. Over-expression of the molecular chaperone Hsp104 in *Saccharomyces cerevisiae* results in the malpartition of $[PSI^+]$ propagons. *Mol Microbiol* 2017 Jan 10;104(1):125-143.
 63. Erjavec N, Larsson L, Grantham J, Nystrom T. Accelerated aging and failure to segregate damaged proteins in Sir2 mutants can be suppressed by overproducing the protein aggregation remodeling factor Hsp104p. *Genes Dev* 2007 Oct 1;21(19):2410-2421.
 64. Tessarz P, Schwarz M, Mogk A, Bukau B. The yeast AAA⁺ chaperone Hsp104 is part of a network that links the actin cytoskeleton with the inheritance of damaged proteins. *Mol Cell Biol* 2009 Apr 27; 29(13):3738-3745.
 65. Liu B, Larsson L, Caballero A, Hao X, Oling D, Grantham J, et al. The polarisome is required for segregation and retrograde transport of protein aggregates. *Cell* 2010 Jan 22;140(2):257-267.
 66. Wongwigkarn J. Exploring the role of the molecular chaperone Hsp104 in yeast $[PSI^+]$ prion propagation and transmission [doctoral 's thesis]. Canterbury, UK: University of Kent; 2013.
 67. Alberti S, Halfmann R, King O, Kapila A, Lindquist S. A systematic survey identifies prions and illuminates sequence features of prionogenic proteins. *Cell* 2009 Apr 3;137(1):146-158.
 68. Alberti S. Molecular mechanisms of spatial protein quality control. *Prion* 2012 Nov 1;6(5):437-442.
 69. Greene LE, Zhao X, Eisenberg E. Curing of $[PSI^+]$ by Hsp104 Overexpression: Clues to solving the puzzle. *Prion* 2018 Jan 2;12(1):9-15.
 70. Shorter J. Hsp104: a weapon to combat diverse neurodegenerative disorders. *Neurosignals* 2008 Dec 5;16(1):63-74.

การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมอนุภาคไข่ขาวด้วยวิธีทำให้เกิดอิมัลชันโดยการแพร่ของตัวทำละลาย

Optimal conditions for the preparation of egg white particles by solvent emulsification-diffusion method

สุใจ ทานิสูด¹, ประสงค์ สีหานาม^{2*}

Suchai Tanisood¹, Prasong Srihanam^{2*}

Received: 24 May 2019 ; Revised: 26 August 2019 ; Accepted: 10 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมอนุภาคไข่ขาวด้วยวิธีการทำให้เกิดอิมัลชันโดยการแพร่ของตัวทำละลาย โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายไข่ขาวเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 % (w/v) อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำ (สารละลายไข่ขาว) : วัฏภาคน้ำมัน (เอทิลอะซิเตต) เท่ากับ 0.25:100 และอัตราเร็วในการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที ผลจากการตรวจสอบสัณฐานวิทยา พบว่า อนุภาคไข่ขาวมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสารละลายไข่ขาว โดยที่ความเข้มข้น 3% (w/v) อนุภาคไข่ขาวมีรูปร่างค่อนข้างกลม อนุภาคกระจายตัวดี มีผิวหน้าเรียบ แต่เมื่อนำไปผสมยาบลูเด็กซ์แทรน อนุภาคที่เตรียมจากความเข้มข้น 5 % (w/v) มีรูปร่างกลมและเรียบที่สุด ผลของ FTIR สเปกตรัม แสดงให้เห็นว่าอนุภาคไข่ขาวมีโครงสร้างแบบเกลียวอัลฟาและเกลียวสุ่ม เมื่อผสมยาโครงสร้างของอนุภาคจะเปลี่ยนเป็นแบบแผ่นจีบเบต้ามากขึ้นซึ่งทำให้ทนต่อความร้อนได้สูงขึ้น เมื่อทดสอบรูปแบบการปลดปล่อยยา พบว่า มีลักษณะแตกต่างกันและทุกอนุภาคสามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ ผลการทดลองที่ได้นี้ มีประโยชน์ต่อการพัฒนาอนุภาคไข่ขาวสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยยาต่อไป

คำสำคัญ : ไข่ขาว สัณฐานวิทยา โครงสร้าง การปลดปล่อยยา อนุภาค

Abstract

The objective of this work is to optimize the preparation conditions of egg white particles by a solvent emulsification-diffusion method. The concentration of egg white was adjusted to 1, 2, 3, 4 and 5% (w/v), respectively, and the ratio of the water phase (egg white solution) to oil phase (ethyl acetate) was 0.25:100 mL and spinning rate was 600 rpm. Morphology observation indicated that both shape and size of the egg white particles varied according to concentrations used. At 3% (w/v) egg solution, the particles had an almost spherical shape, separated and smooth in surfaces, and these morphologies were also found at 5% (w/v) after blending with blue dextran. FTIR spectra indicated that the egg white particles co-existed as α -helix and random coil structures. Then, they changed to β -sheet when blended with drug resulting in high temperature resistance. Variable drug release profiles and drug-controlled release from all types of the egg white particles were observed. The obtained results could be used as basic information for development of the egg white particles for further drug-controlled release applications.

Key words : Egg white, Morphology, Structure, Drug release, Particle

¹นิสิตปริญญาโท สาขาเคมีศึกษา ²รองศาสตราจารย์ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมเคมีและหน่วยวิจัยเคมีสร้างสรรค์และนวัตกรรม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 ประเทศไทย

¹Master student (Chemistry), ² Assoc. Prof., the Center of Excellence in Chemistry and Creative and Innovation Chemistry Research Unit, Department of Chemistry Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

*Corresponding author: Prasong Srihanam, Department of Chemistry and Creative and Innovation Chemistry Research Unit, Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand

E-mail: psrihanam@gmail.com

บทนำ

สิ่งที่น่ากังวลใจตลอดระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา กำลังส่งผลกระทบต่อชีวิตของประชาชนและทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกลายเป็นปัญหาของประเทศทั่วโลก คือ ปัญหาขยะ โดยเฉพาะขยะพลาสติก เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่แตกสลายยากและใช้เวลานาน บางชนิดอาจยาวนานถึง 1000 ปี^{1,2} แนวทางหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจและน่าจะใช้สำหรับแก้ปัญหาขยะพลาสติก คือ การใช้พอลิเมอร์ที่แตกสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable polymer)³ ซึ่งแบ่งตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท ได้แก่ พอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ⁴ เช่น แป้ง เซลลูโลส ไพโบรินจากไหม อัลจิเนตและเคราติน⁵⁻⁷ เป็นต้น และ พอลิเมอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น พอลิยูรีเทน (polyurethane, PUR) พอลิไกลโคลิกแอซิด (polyglycolic acid, PGA), พอลิแล็กติกแอซิด (polylactic acid, PLA) และพอลิแล็กติกโคไกลโคลิกแอซิด (lactic-co-glycolic acid, PLGA) เป็นต้น⁸ พอลิเมอร์ธรรมชาติได้รับความสนใจในการศึกษาและการประยุกต์ใช้งาน เพราะมีความปลอดภัยสูงและยังมีสมบัติทางชีวภาพหลายประการที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ โดยเฉพาะทางการแพทย์และเภสัชกรรม^{9,12}

ไข่ขาว (egg white) เป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง⁵ บรรจุภัณฑ์¹³ เป็นอิมัลชันและสารเพิ่มความเข้มข้น¹⁴ โมเลกุลไข่ขาวประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิดที่มีขนาดต่างกัน ได้แก่ โอวัลบูมิน (ovalbumin) โอโวลทรานสเฟอริน (ovotransferrin) โอโวลิวคอยด์ (ovomuroid) และไลโซไซม์ (lysozyme)¹⁵ โดยโอวัลบูมินมีปริมาณมากที่สุด รายงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า โปรตีนในไข่ขาวมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่น่าสนใจ เช่น โอโวลทรานสเฟอริน และไลโซไซม์ มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนโอโวลิวคอยด์ ช่วยสมานแผลและต้านการอักเสบ¹⁶ มีฤทธิ์กระตุ้นการขยายตัวและการเจริญเติบโตของเซลล์ได้¹⁶⁻¹⁸ อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ไข่ขาวเป็นวัสดุในงานด้านชีวการแพทย์ยังคงมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากมีความเสถียรต่ำ มีรายงานการศึกษาที่ก่อนหน้านี้เกี่ยวกับการเตรียมวัสดุชีวภาพจากไข่ขาวเพื่อให้มีความแข็งแรงสูงขึ้น โดยการผสมไข่ขาวกับพอลิเมอร์ หลายชนิด เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol, PVA), พอลิเอทิลีนออกไซด์ (polyethylene oxide, PEO) แป้งและเซลลูโลสอะซิเตต¹⁹⁻²¹ เป็นต้น

โปรตีนที่มีโครงสร้างแบบเส้นใยหลายชนิด เช่น ไหมไฟโบรอิน (silk fibroin) เคราติน (keratin) เจลาติน (gelatin) และคอลลาเจน (collagen) สามารถเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่หลากหลายได้ เช่น ฟิล์ม แผ่น ไฮโดรเจล ฟองน้ำ หรืออนุภาค²⁴⁻²⁶ แต่โปรตีนที่มีโครงสร้างแบบกลม (globular) เช่น เซรีซิน และ

ไข่ขาว ยังมีรายงานเกี่ยวกับการเตรียมเป็นรูปแบบดั่งที่เตรียมจากโปรตีนเส้นใยน้อยมาก สำหรับประเทศไทย ยังไม่เคยมีรายงานเกี่ยวกับการเตรียมวัสดุที่ทำจากไข่ขาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเตรียมในรูปแบบอนุภาค ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับใช้เตรียมอนุภาคไข่ขาวด้วยวิธีการทำให้เกิดอิมัลชันโดยการแพร่ของตัวทำละลาย (water-in-oil emulsification-diffusion) เนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ประหยัดสารเคมีและไม่ต้องการอุปกรณ์และเครื่องมือขั้นสูง^{26,27} โดยการปรับเปลี่ยนปัจจัยที่มีผลต่อการก่ออนุภาค ได้แก่ ความเข้มข้นของไข่ขาว อัตราส่วนระหว่างสารละลายไข่ขาวและตัวทำละลาย (ethyl acetate) รวมทั้งอัตราเร็วในการปั่นกวน แล้วตรวจสอบและอภิปรายผลของปัจจัยเหล่านี้ต่ออนุภาคดังกล่าว

วัตถุประสงค์และวิธีการทดลอง

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการเตรียมไข่ขาว คือ ไข่ไก่จากท้องตลาด โดยนำไข่ไก่มาแยกไข่ขาวออกจากไข่แดง จากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze dryer) จะได้ผงไข่ขาว เพื่อใช้เตรียมสารละลายไข่ขาวความเข้มข้นเริ่มต้น 1, 2, 3, 4 และ 5 % (w/v) โดยการชั่งผงไข่ขาว 1, 2, 3, 4, และ 5 กรัม ตามลำดับ เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 100 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนจนผงไข่ขาวละลายอย่างสมบูรณ์

การเตรียมอนุภาค

ทำการเตรียมอนุภาคไข่ขาวด้วยวิธี water-in-oil emulsification-diffusion ตามวิธีที่เคยมีรายงานมาก่อน²⁷ มีขั้นตอนดังนี้ นำสารละลายไข่ขาวความเข้มข้นต่าง ๆ ที่เตรียมไว้ ซึ่งเปรียบเสมือนวัฏภาคน้ำ ปริมาตรแตกต่างกัน คือ 1.0, 0.5 และ 0.25 มิลลิลิตร มาหยดลงในสารละลายเอทิลอะซิเตต ซึ่งเปรียบเสมือนวัฏภาคน้ำมัน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่บรรจุในบีกเกอร์ที่มีการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กที่ความเร็ว 600 รอบ/นาที (เป็นอัตราเร็วที่ได้ทดลองมาก่อนหน้านี้ว่าเหมาะสมที่สุด) จากนั้นใช้อะลูมิเนียมฟอยล์ปิดปากบีกเกอร์เพื่อป้องกันการระเหยของเอทิลอะซิเตตระหว่างกระบวนการแพร่กระจาย ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้น นำสารละลายมาทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อทำให้อนุภาคตกตะกอน แล้วแยกเอาตะกอนไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอนุภาค

ลักษณะสัณฐานวิทยา ได้แก่ พื้นผิว พื้นที่ตัดขวางและการแยกตัวภาคของอนุภาค ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM; JEOL 6460LV, Japan) โดยนำอนุภาคมาติดบนที่วางก่อนนำไปเคลือบด้วยทองคำเพื่อเพิ่มพื้นที่เหนี่ยวนำอิเล็กตรอนก่อนที่จะนำไปส่องภายใต้กล้อง

การตรวจสอบโครงสร้างระดับทุติยภูมิ

นำอนุภาคทั้งหมดที่เตรียมได้ ไปตรวจสอบโครงสร้างระดับทุติยภูมิด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) spectrophotometer และใช้วิธีการเตรียมด้วย KBr disk โดยใช้อากาศเป็นตัวอ้างอิง ในการกำหนดค่าการวัดใช้กำลังขยาย 4 cm^{-1} และ 32 scans

การตรวจสอบสมบัติเชิงความร้อน

นำอนุภาคที่เตรียมได้ มาชั่งน้ำหนักให้อยู่ในช่วง 0.3-0.5 มิลลิกรัม แล้วบรรจุในถ้วยแพลททินัม (platinum pan) จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 50-1000 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 20 องศาเซลเซียสต่อนาทีภายใต้สภาวะของแก๊สไนโตรเจนด้วยอัตราการไหลของแก๊สที่ 100 มิลลิลิตรต่อนาที

การทดสอบรูปแบบการปลดปล่อยยาจากอนุภาค

ยาตัวอย่างที่นำมาบรรจุในอนุภาค คือ บลูเด็กซ์แทรน (blue dextran) ทำการทดสอบโดยนำอนุภาคที่ผสมยาในความเข้มข้นแตกต่างกันมาใส่หลอดไมโครเซนติพิวจ์ เติมน้ำสารละลายบัฟเฟอร์ (phosphate buffer saline, pH 7.4) ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พร้อมเขย่า เมื่อถึงเวลาที่กำหนดไว้ คือ 5, 30 นาที 1, 3, 5 และ 7 ชั่วโมง ทำการเก็บสารละลาย หลังจากเก็บสารละลายทุกครั้งจะเติมน้ำสารละลายบัฟเฟอร์ใหม่ลงไป ในหลอดไมโครเซนติพิวจ์ ด้วยปริมาตรเท่ากับที่เก็บ จากนั้น นำสารละลายที่เก็บไปตรวจสอบอัตราการปลดปล่อย blue dextran โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร หาร้อยละการปลดปล่อยจากการเปรียบเทียบกับปริมาณยาเริ่มต้นของค่าการดูดกลืนแสงก่อนบรรจุ และทำการทดสอบจนยาปลดปล่อยจากอนุภาคหมด (ไม่มีค่าการดูดกลืนแสง) ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้น (ppm) กับกราฟมาตรฐาน

ผลการทดลอง

สัณฐานวิทยาของอนุภาคไข่ขาว

ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคไข่ขาวพิจารณาจากภาพถ่าย SEM โดยภาพรวมอนุภาคไข่ขาวแตกต่างกันตามความเข้มข้นที่ใช้ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ Figure 1 แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคไข่ขาว ที่เตรียมจากความเข้มข้น 1% (w/v) พบว่า อนุภาคส่วนใหญ่มีรูปร่างหลากหลายและไม่สมมาตรพิจารณาอนุภาคที่มีรูปร่างคล้ายทรงกลม จะพบช่องว่างทางด้านข้าง พิจารณาอนุภาคที่กลม จะเห็นว่าผิวหน้าค่อนข้างย่นทำให้ดูขรุขระ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการแยกตัวภาคก่อนที่จะมีการก่ออนุภาค ในระหว่างที่เกิดกระบวนการแพร่ของน้ำจากสารละลายเคราตินไปยังเอทิลอะซิเตต (emulsification-diffusion process)²⁸ Figure 2 แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคไข่ขาวที่เตรียมจากความเข้มข้น 2% (w/v) พบว่าอนุภาคก่อตัวเป็นทรงกลมไม่สมมาตร มีรูปร่างและขนาดหลากหลาย ส่วนใหญ่คล้ายชั้นน้ำมีช่องว่างทางด้านข้างแต่แคบกว่าที่ความเข้มข้น 1% (w/v) นอกจากนี้ ยังมีผิวที่เรียบและหนากว่า ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากความเข้มข้นของไข่ขาวที่เพิ่มขึ้น จึงจับกันได้มากส่งผลให้ได้อนุภาคที่หนาขึ้นด้วย สภาวะนี้ก่อตัวเป็นอนุภาคไม่สมมาตร นอกจากนี้ อาจเป็นไปได้ว่า กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบในไข่ขาวสามารถจับกันได้กับโมเลกุลของน้ำ จึงทำให้น้ำไม่เกิดการแพร่ไปยังวัฏภาคเอทิลอะซิเตต และเมื่อระเหยน้ำออกจึงเกิดรูปร่างที่ปรากฏ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นไข่ขาวเป็น 3% (w/v) ดังแสดงใน Figure 3 พบว่าอนุภาคค่อนข้างสมมาตร มีรูปร่างส่วนใหญ่คล้ายทรงกลมอนุภาคกระจายตัวกัน มีผิวหน้าเรียบเนียนมีรอยย่นที่ผิวเล็กน้อย รอยย่นนี้คาดว่าเกิดจากการกรดอะมิโนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic amino acids) ที่เป็นส่วนประกอบในไข่ขาวยึดเหนี่ยวกันเอง^{29,30} และเมื่อความเข้มข้นสูงจึงก่อตัวกันแน่นกลายเป็นอนุภาคดีกว่าที่ความเข้มข้นต่ำซึ่งจะมีปริมาณน้ำมาก กรดอะมิโนที่มีขั้วสูงในโปรตีนไข่ขาวสามารถจับกับโมเลกุลของน้ำได้ดีผ่านพันธะเคมีต่าง ๆ เช่น พันธะไฮโดรเจน ไอออนิก หรือ ไดโพล เป็นต้น ทำให้ยากต่อการแพร่ไปยังเอทิลอะซิเตต Figure 4 แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคไข่ขาวความเข้มข้น 4% (w/v) พบว่า อนุภาคมีรูปร่างหลากหลาย ส่วนใหญ่ก่อตัวเป็นอนุภาคทรงกลมไม่สมมาตร ผลที่ได้นี้คาดว่าน่าจะเกิดจากการแพร่ของน้ำในสารละลายไข่ขาวเข้าไปยังเอทิลอะซิเตตเกิดอย่างรวดเร็ว เพราะมีปริมาตรต่ำเนื่องจากความเข้มข้นไข่ขาวสูง ทำให้ขณะที่เกิดกระบวนการแพร่ของน้ำไม่เหลือน้ำเพื่อหล่อเลี้ยงให้โมเลกุลไข่ขาวกระจายตัว ไข่ขาวจึงจับตัวกันอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาอนุภาคที่มีรูปร่างคล้ายทรงกลม พบว่ามีผิวเรียบแน่นซึ่งน่าจะเกิดจากโปรตีนไข่ขาว

ปริมาณสูงจับตัวกันจึงรวมเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี Figure 5 แสดงลักษณะวิทยาของอนุภาคไข่ขาวความเข้มข้น 5% (w/v) พบว่า อนุภาคไข่ขาวที่เตรียมได้ คล้ายกับอนุภาคใน Figure 4 ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเตรียมอนุภาคไข่ขาว คือ ใช้ความเข้มข้นของไข่ขาว 3% (w/v) อัตราส่วน W : O = 0.25:100 อัตราเร็วในการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที

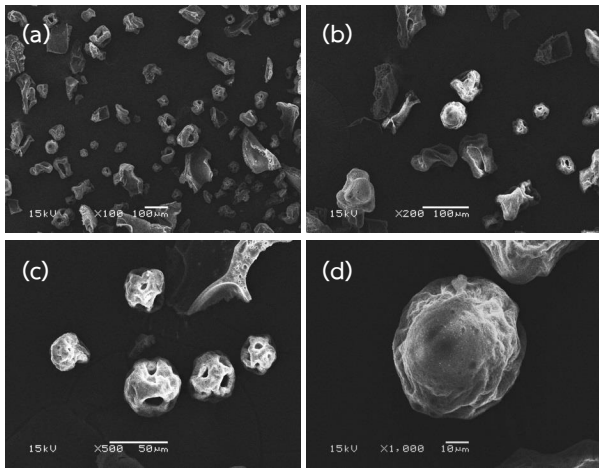


Figure 1 SEM images of 1 % (w/v) egg white particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X (c) and 1000X (d) of magnifications.

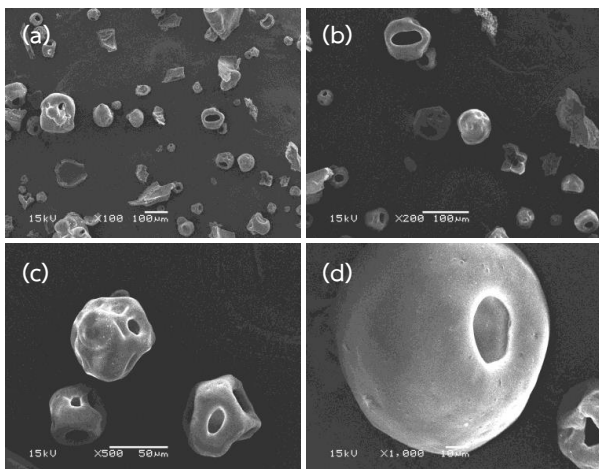


Figure 2 SEM images of 2 % (w/v) egg white particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X (c) and 1000X (d) of magnifications.

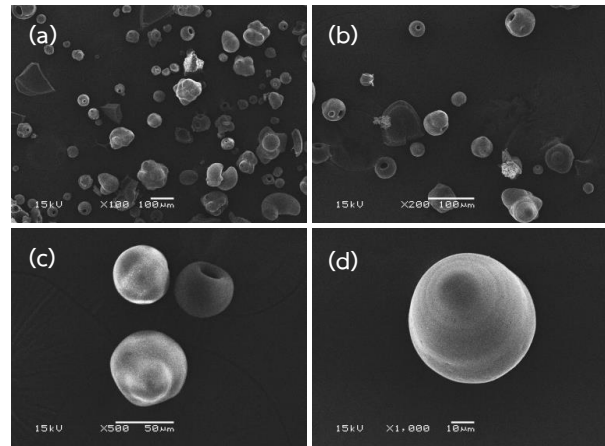


Figure 3 SEM images of 3 % (w/v) egg white particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X (c) and 1000X (d) of magnifications.

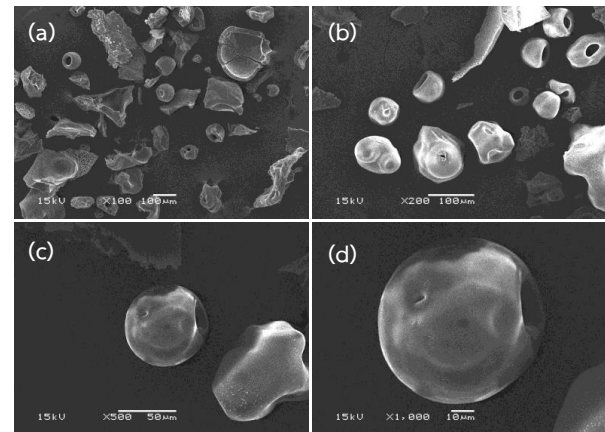


Figure 4 SEM images of 4 % (w/v) egg white particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X (c) and 1000X (d) of magnifications.

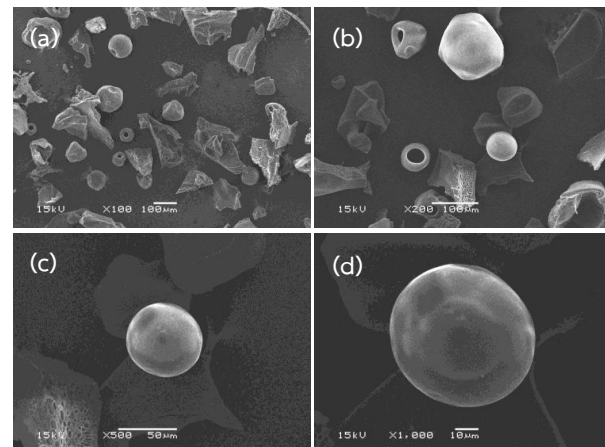


Figure 5 SEM images of 5 % (w/v) egg white particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X (c) and 1000X (d) of magnifications.

ผลของยาลูเดกซ์แทรนต่ออนุภาคไข่ขาว

เมื่อทดลองผสมยาลูเดกซ์แทรน ซึ่งเป็นยาที่มีสภาพขี้สูงและละลายน้ำได้ดี ทำให้การขึ้นรูปเป็นอนุภาคทรงกลมทำได้ยากโดยเฉพาะที่ความเข้มข้นไข่ขาวต่ำ (1 และ 2% w/v) ดังแสดงใน Figure 6-7 พบว่า อนุภาคก่อตัวเป็นทรงกลมไม่สมบูรณ์ มีรูกลวงและผิวค่อนข้างขรุขระ ซึ่งคาดว่าน่าจะมีสาเหตุมาจากยามีส่วนเข้าไปเพิ่มความเป็นขี้ของสารละลายไข่ขาว และเกิดการจับกันระหว่างโปรตีนและน้ำ ทำให้น้ำแพร่ไปยังเอทิลอะซีเตตได้ยาก จึงปรากฏเป็นรูกลวง และยังคงเหลืออยู่ในอนุภาคโดยเฉพาะบริเวณผิวหน้า ดังนั้น เมื่อเกิดการระเหยของน้ำจะทำให้บริเวณผิวหน้าขรุขระดังรูป เมื่อความเข้มข้นของไข่ขาวเพิ่มขึ้น จะสามารถเตรียมอนุภาคทรงกลมได้เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากยาทำให้สารละลายโปรตีนมีขี้สูงจึงยังคงก่อตัวเป็นอนุภาคทรงกลมไม่เต็มที่ (Figure 8) ในความเข้มข้นไข่ขาวสูง ๆ (4 และ 5% w/v) อนุภาคก่อตัวเป็นทรงกลมได้ดีขึ้นดังปรากฏใน Figure 9-10 ซึ่งเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณโปรตีนในสารละลายก็จะสูงขึ้นและจับกันหนาแน่นมากกว่าในความเข้มข้นต่ำ ส่งผลให้สามารถก่อตัวเป็นอนุภาคทรงกลมได้ดี (Figure 10)

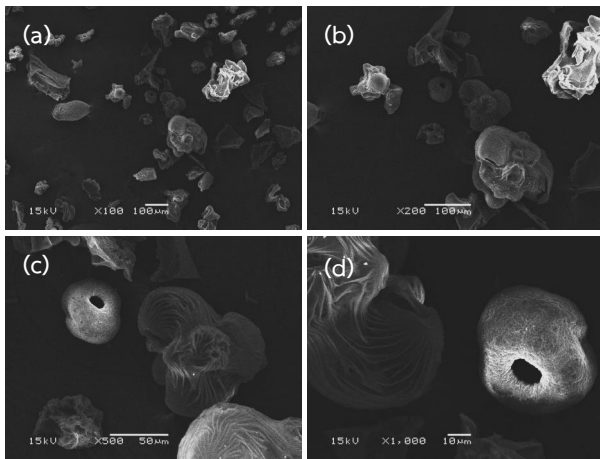


Figure 6 SEM images of 1% (w/v) egg white mixed blue dextran particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X(c) and 1000X (d) magnifications.

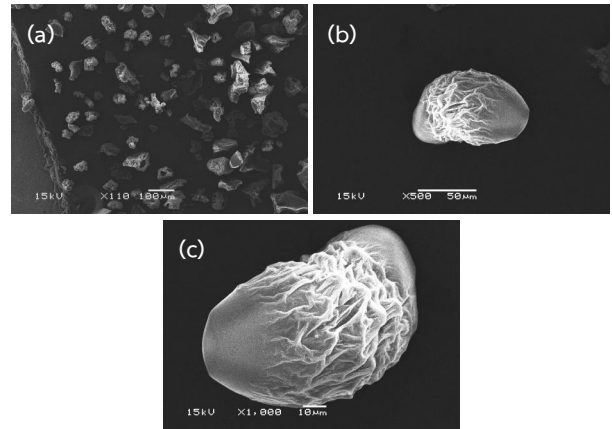


Figure 7 SEM images of 2% (w/v) egg white mixed blue dextran particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 500X(b) and 1000X (c) magnifications.

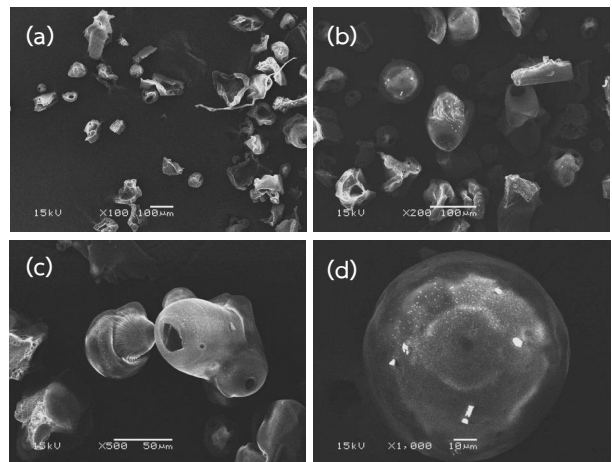


Figure 8 SEM images of 3% (w/v) egg white mixed blue dextran particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X(c) and 1000X (d) magnifications.

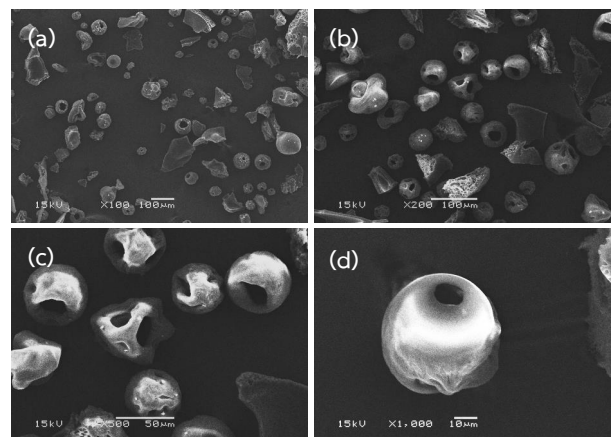


Figure 9 SEM images of 4% (w/v) egg white mixed blue dextran particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X(c) and 1000X (d) magnifications.

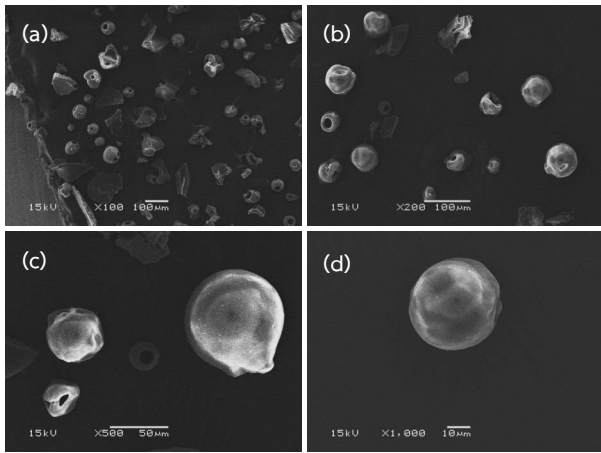


Figure 10 SEM images of 5% (w/v) egg white mixed blue dextran particles prepared by using W:O = 0.25:100 with stirring rate of 600 rpm at 100X (a), 200X (b), 500X(c) and 1000X (d) magnifications.

โครงสร้างระดับทุติยภูมิของอนุภาค

Figure 11 และ Figure 12 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคไข่ขาวที่เตรียมจากความเข้มข้น 3% (w/v) และอนุภาคไข่ขาว (5% w/v) ผสมยาบลูเด็กซ์แทรน ตามลำดับ จากรูปปรากฏบริเวณการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง amide A (3200-3400 cm^{-1}), amide I (1700-1600 cm^{-1}), amide II (1600-1500 cm^{-1}) และ amide III (1300-1200 cm^{-1}) ซึ่งเป็นบริเวณการดูดกลืนแสงหลักของโปรตีน เมื่อพิจารณาจากการดูดกลืนแสง พบว่า อนุภาคไข่ขาวมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแบบเกลียวอัลฟา (α -helix) และแบบเกลียวสุ่ม (random coil)¹² การผสมยาบลูเด็กซ์แทรนทำให้โครงสร้างของอนุภาคไข่ขาวเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยโดยเฉพาะที่ตำแหน่ง amide II (1520 cm^{-1}) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบแผ่นจิบเบตต้า (β -sheet) และ amide III (1259 cm^{-1}) ซึ่งเป็นโครงสร้างแบบเกลียวสุ่ม³¹

สมบัติเชิงความร้อนของอนุภาค

Figure 13 และ Figure 14 แสดงสมบัติเชิงความร้อนของอนุภาคไข่ขาวและอนุภาคไข่ขาวผสมยาบลูเด็กซ์แทรน ตามลำดับ อนุภาคทั้งสองมีตำแหน่งของอุณหภูมิที่เกิดการแตกสลายมากกว่า 2 ตำแหน่ง ซึ่งมาจากองค์ประกอบของโปรตีนไข่ขาวที่มีมากกว่า 4 ชนิด การแตกสลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เกิดจากการระเหยของโมเลกุลน้ำ¹⁵ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาการแตกสลายของอนุภาคไข่ขาวที่ผสมยาบลูเด็กซ์แทรน พบว่า ยามีผลทำให้อุณหภูมิการแตกสลายเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคที่ไม่มียา

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรตีนในไข่ขาวและยาน่าจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวต่อกันผ่านพันธะไฮโดรเจนและแรงดึงดูดทางไฟฟ้า

รูปแบบการปลดปล่อยยาจากอนุภาค

รูปแบบการปลดปล่อยยาบลูเด็กซ์แทรนจากอนุภาคไข่ขาวแสดงดัง Figure 15 จากรูปจะเห็นว่า อนุภาคไข่ขาวที่เตรียมจากความเข้มข้น 5% (w/v) จะปลดปล่อยยาในปริมาณมากที่สุด รองลงมา คือ อนุภาคที่เตรียมจากไข่ขาว 2, 3, 1 และ 4% (w/v) ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อนุภาคไข่ขาวสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาได้แตกต่างกัน ขึ้นกับความเข้มข้นที่เลือกใช้ในการเตรียมอนุภาค นอกจากนี้ ปริมาณยาสูงสุดที่ปลดปล่อยออกมาจากอนุภาคไข่ขาวที่เตรียมจากความเข้มข้น 5% (w/v) คิดเป็นประมาณร้อยละ 66 เมื่อทำการทดสอบการปลดปล่อยเป็นเวลา 7 ชั่วโมง

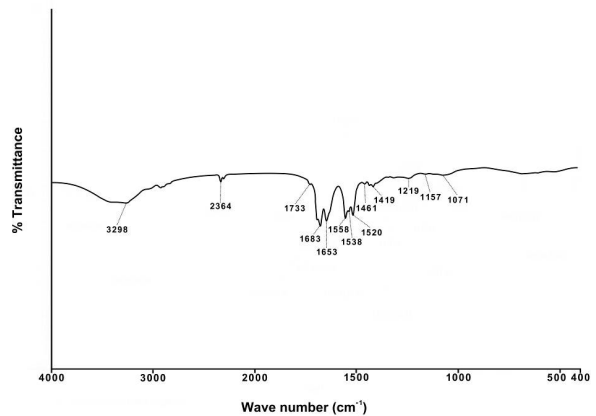


Figure 11 FTIR spectra of egg white particles prepared from 3 % (w/v) concentration.

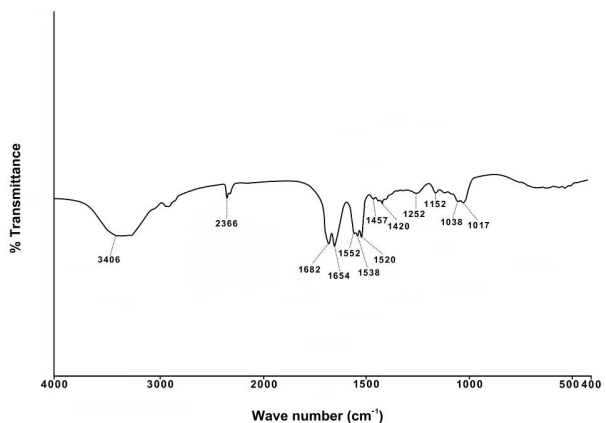


Figure 12 FTIR spectra of egg white mixed blue dextran particles prepared from 5 % (w/v) concentration.

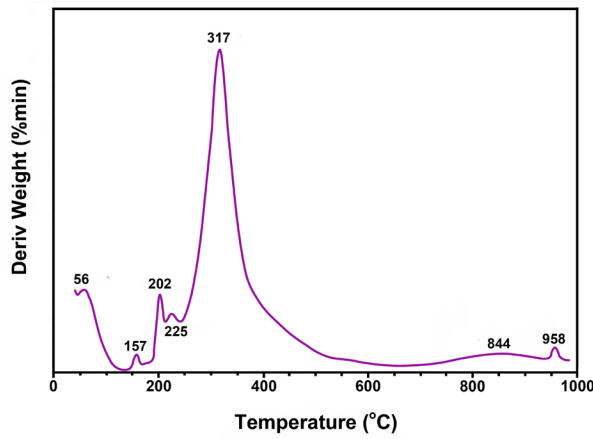


Figure 13 DTG thermogram of egg white particles prepared from 3%(w/v) concentration.

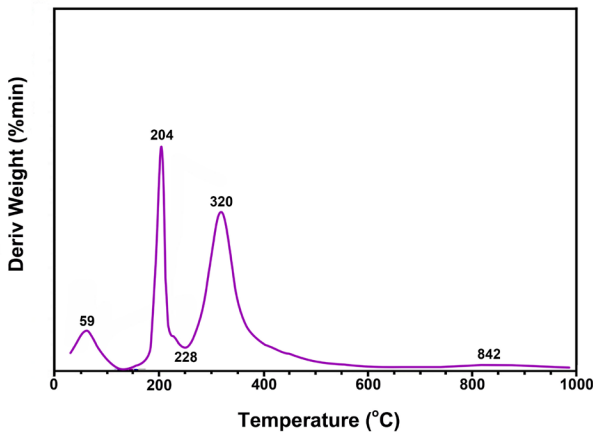


Figure 14 DTG thermogram of egg white mixed blue dextran particles prepared from 5%(w/v) concentration.

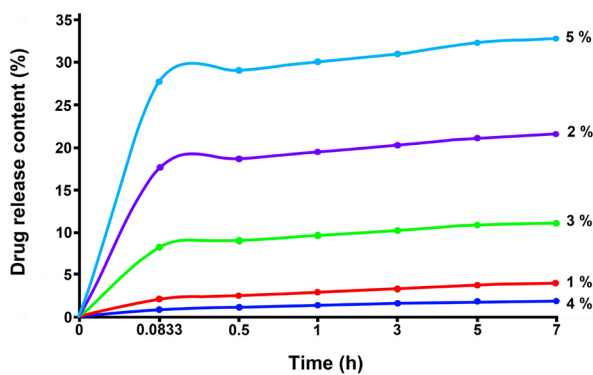


Figure 15 Releasing patterns of blue-dextran from egg white particles prepared from different concentrations.

สรุปผลการทดลอง

สามารถเตรียมอนุภาคไข่ขาวที่มีสัณฐานวิทยา โครงสร้าง ทุกติภูมิและสมบัติเชิงความร้อนแตกต่างกันตามความเข้มข้นของสารละลายไข่ขาว ด้วยวิธีการทำให้เกิดอิมัลชันโดยการแพร่ของตัวทำละลาย (solvent emulsification-diffusion method) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมอนุภาคไข่ขาว คือ ใช้ความเข้มข้นไข่ขาว 3% (w/v) อัตราส่วน W:O เท่ากับ 0.025:100 มิลลิลิตร อัตราเร็วในการปั่นกวน 600 รอบต่อนาที จะทำให้อนุภาคมีรูปร่างทรงกลม ผิวหน้าเรียบ มีขนาดสม่ำเสมอ อนุภาคไข่ขาวมีความยืดหยุ่นสูงเพราะมีโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นแบบเกลียวอัลฟาและเกลียวสุ่ม แต่อุณหภูมิจะมีโครงสร้างแข็งขึ้นเมื่อผสมยาบลูเด็กซ์แทรนเพราะจะมีโครงสร้างแบบแผ่นจับเบต้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิในการแตกสลายของอนุภาคไข่ขาวที่ผสมยาสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคไข่ขาวที่ไม่ผสมยา อนุภาคไข่ขาวมีรูปแบบการปลดปล่อยยาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายไข่ขาวที่ใช้เตรียมอนุภาค ซึ่งถือเป็นข้อดีที่จะพัฒนาอนุภาคไข่ขาวสำหรับนำส่งยาหรือโมเลกุลที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สามารถควบคุมการปลดปล่อยได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาเคมี และศูนย์เครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ห้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดสำหรับตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอนุภาค ขอขอบคุณศูนย์นวัตกรรมความเป็นเลิศทางเคมี (PERCH-CIC) ที่สนับสนุนงบประมาณบางส่วนสำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Xanthos D, Walker TR. International policies to reduce plastic marine pollution from single-use plastics (plastic bags and microbeads): A review. *Mar Pollut Bull.* 2017;118(1-2):17-26.
2. Zhao Y, Saldaña MDA. Use of potato by products and gallic acid for development of bioactive film packaging by subcritical water technology. *J Super-crit Fluid.* 2018;143:97-106.
3. Liu R, Dai L, Zou Z, Si C. Drug-loaded poly(L-lactide)/lignin stereocomplex film for enhancing stability and sustained release of trans-resveratrol. *Int J Biol Macromol.* 2018;119:1129-1136.

4. Tian H, Tang Z, Zhuang X, Chen X, Jing X. Biodegradable synthetic polymers: Preparation, functionalization and biomedical application. *Prog Polym Sci*. 2012;37(2):237-280.
5. Khot SN, Development and application of triglyceride-based polymers and composites. *J Agric Food Chem*. 2001;49(8):3957-64.
6. Lammel AS, Hu X, Park SH, Kaplan DL, Scheibel TR. Controlling silk fibroin particle features for drug delivery. *Biomaterials* 2010;31(16):4583-91.
7. Malafaya PB, Silva GA, Reis RL, Khot SN. Natural-origin polymers as carriers and scaffolds for biomolecules and cell delivery in tissue engineering applications. *J Agric Food Chem*. 2007;49(8):207-233.
8. Alizadeh-Osgouei M, Li Y, Wen C. A comprehensive review of biodegradable synthetic polymer-ceramic composites and their manufacture for biomedical applications. *Bioact Mater*. 2019;4(1):22-36.
9. Qian F, Chen D, Yang Z, Li M. 2009. In vitro and in vivo research on using antheraea pernyi silk fibroin as tissue engineering tendon scaffolds. *Mater Sci Eng. C* 2009;29(5):1527-1534.
10. Liu Y, Zhang j, Gao Y, Zhu J. Preparation and evaluation of glyceryl monooleate-coated hollow-bioadhesive microspheres for gastroretentive drug delivery. *Int J Pharm*. 2011;413(1-2):103-109.
11. Martín-Alfonso JE, Félix M, Romero A, Guerrero A. Development of new albumen based biocomposites formulations by Injection moulding using chitosan as physicochemical modifier additive. *Compos B Eng*. 2014;61:275-281.
12. You R, Zhang J, Gu S, Zhou Y, Li X, Ye D, Xu W. Regenerated egg white/silk fibroin composite films for biomedical applications. *Mater Sci Eng. C* 2017;79:430-435.
13. Yamauchi K, Maniwa M, Mori T. Cultivation of fibroblast cells on keratin-coated substrata. *J Biomater Sci Polym Ed*. 1998;9(3):259-270.
14. Kuan YH, Bhat R, Karim AA. Emulsifying and foaming properties of ultraviolet-irradiated egg white protein and sodium caseinate. *J Agric Food Chem*. 2011;59(8):4111-18.
15. Weijers M, Velde FVD, Stijnman A, Pijpekamp AVD. Structure and rheological properties of acid-induced egg white protein gels. *Food Hydrocolloid*. 2006;20:146-159.
16. Mine Y, Ma F, Lauriau S. Antimicrobial peptides released by enzymatic hydrolysis of hen egg white lysozyme. *J Agr Food Chem*. 2004;52(5):1088-1094.
17. Geng F, Huang X, Ma M. Hen egg white ovomacroglobulin promotes fibroblast migration via mediating cell adhesion and cytoskeleton. *J Sci Food Agric*. 2016;96(9):3188-3194.
18. Jalili-Firoozinezhad S, Rajabi-Zeleti S, Mohammadi P, Gaudiello E, Bonakdar S, Solati-Hashjin M, Marsano A, Aghdami N, Scherberich A, Baharvand H, Martin I. Facile fabrication of egg white macroporous sponges for tissue regeneration. *Adv Healthc Mater*. 2015;4(15):2281-2290.
19. Tomczyńska-Mlekoa, M, Terpiłowski K, Mlekoc S. New product development: cellulose/egg white protein blend fibers. *Carbohydr Polym* 2015;126:168-174.
20. Wongsasulak S, Patapeejumruswong M, Weiss J, Supaphol P, Yoovidhya T. Electrospinning of food-grade nanofibers from cellulose acetate and egg albumen blends. *J Food Eng*. 2010;98(3):370-376.
21. Zahedi P, Fallah-Darrehchi M. Electrospun egg albumin-PVA nanofibers containing tetracycline hydrochloride: morphological, drug release, antibacterial, thermal and mechanical properties. *Fiber Polym*. 2015;16(10):2184-2192.
22. Baimark Y, Srihanam P, Srisuwan Y. Phinyocheep P. Preparation of porous silk fibroin microparticles by a water-in-oil emulsification-diffusion method. *J Appl Polym Sci*. 2010;118:1127-1133.
23. Lu Q, Zhang S, Hu K, Feng Q, Cao C, Fuzhai C. Cytocompatibility and blood compatibility of multifunctional fibro/collagen/heparin scaffolds. *Biomaterials* 2007;28:2306-2313.
24. Vepari CD, Kaplan DL. Silk as a biomaterials. *Prog Polym Sci*. 2007;32:991-1007.

25. Vasconcelos A, Fredi G, Cavaco-Paulo A. Biodegradable materials based on silk fibroin and keratin. *Biomacromolecules* 2008;9:1299-1305.
26. Baimark Y, Srisa-ard M, Srihanam P. Morphology and thermal stability of silk fibroin/starch blended microparticles. *Express Polym Lett.* 2010;4(12):781-789.
27. Srihanam Pr, Srisuwan Y, Imsombut T, Baimark Y. Silk fibroin microspheres prepared by the water-in-oil emulsion solvent diffusion method for protein delivery. *Korean J Chem Eng.* 2011;28(1):293-297.
28. Sinha V, Trehan A. Biodegradable microspheres for protein delivery. *J Control Release.* 2003;90(3): 261-280.
29. Lim, LT, Mine Y, Tung MA. Transglutaminase cross-linked Egg white protein films: tensile properties and oxygen permeability. *J Agric Food Chem.* 1998;46(10):4022-4029.
30. You R, Zhang J, Gu S, Zhou Y, Li X, Ye D, Xu W. Regenerated egg white/silk fibroin composite films for biomedical applications. *Mater Sci Eng. C* 2017;79:430-435.
31. Hu X, Kaplan D, Cebe P, Determining beta-sheet crystallinity in fibrous proteins by thermal analysis and infrared spectroscopy. *Macromolecules* 2006;39:6161-6170.

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันจาก ต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วง

Physicochemical properties of Wood Vinegar from Neem trees, Eucalyptus trees, Corn trees, and Mango leaves

จารุวรรณ วิโรจน์¹

Jaruwan Viroj¹

Received: 29 July 2019 ; Revised: 2 September 2019 ; Accepted: 16 September 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วงที่ผลิตจากการเผาด้วยถังขนาด 200 ลิตรชนิดแบน และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรเมทรี ผลการศึกษาพบว่าน้ำส้มควันไม้ทั้ง 4 ชนิดมีคุณสมบัติไปตามมาตรฐานของน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพดี น้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดาพบสารประกอบทั้งสิ้น 23 ชนิด โดยพบ acetic acid มากที่สุด (44.43%) รองมาคือ formic acid (30.44%) น้ำส้มควันไม้จากต้นยูคาลิปตัสพบสารประกอบทั้งสิ้น 31 ชนิด โดยพบ acetic acid มากที่สุด (39.94%) รองลงมาคือ peracetic acid (23.09%) น้ำส้มควันไม้จากต้นข้าวโพด พบสารประกอบทั้งสิ้น 7 ชนิด โดยพบ acetic acid มากที่สุด (53.72%) รองลงมาคือ peracetic acid (25.14%) และน้ำส้มควันไม้จากใบมะม่วงพบสารประกอบทั้งสิ้น 10 ชนิด โดยพบ acetic acid มากที่สุด (43.30%) รองลงมาคือ formic acid (35.47%) สารที่พบในน้ำส้มควันไม้ทั้ง 4 ชนิดมีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัส ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการแพทย์ ปศุสัตว์ รวมถึงใช้ในการทำความสะอาดในครัวเรือน เพื่อลดการใช้ยาปฏิชีวนะในมนุษย์และสัตว์ และลดการใช้สารเคมีในครัวเรือน

คำสำคัญ: น้ำส้มควันไม้ สะเดา ยูคาลิปตัส ข้าวโพด มะม่วง

Abstract

This experimental research aimed to study physicochemical properties of wood vinegar from neem trees, eucalyptus trees, corn trees, and mango leaves which was produced by burning in a 200 liter flat tank and chemical components identified by Gas Chromatography – Mass Spectrometry. The results showed that all wood vinegar had good standard quality. The wood vinegar of neem trees was comprised of 23 compounds, of which the most common compound was acetic acid (44.43%) followed by formic acid (30.44%). The wood vinegar of eucalyptus trees was comprised of 31 compounds which the most common compound being acetic acid (39.94%) followed by peracetic acid (23.09%). The wood vinegar of corn trees was comprised of 7 compounds of which the most common compound was acetic acid (53.72%) followed by peracetic acid (25.14%). The wood vinegar of mango leaves was comprised of 10 compounds of which the most common compound was acetic acid (43.30%) followed by formic acid (35.47%). The compounds found in 4 types of wood vinegar have properties that kill bacteria, fungi and viruses. Those compounds have potential to be developed for use in medicine, livestock, household cleaning products for reduce using antibiotics in humans and animals and household chemicals.

Keywords: wood vinegar, neem, eucalyptus, corn, mango

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม email : jaruwan.v@msu.ac.th

¹ Assistance Professor, Faculty of Public Health, Mahasarakham University.

บทนำ

น้ำส้มควันไม้ (Wood vinegar) เป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตถ่าน น้ำส้มควันไม้มีลักษณะเป็นของเหลวและส่วนใหญ่จะมีกรดอินทรีย์ ฟีนอล และฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืช รวมทั้งเร่งการงอกของเมล็ดพืช อีกทั้งยังเป็นสารป้องกันเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคในพืช¹ และสามารถใช้เป็นสารประกอบหลักในการทำผลิตภัณฑ์ในการไล่แมลงในครัวเรือน² นอกจากนี้ น้ำส้มควันไม้ยังมีคุณสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งได้มีการนำน้ำส้มควันไม้มาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์แชมพู สบู่ และเจลล้างมือ³

ในปัจจุบันหน่วยงานภาครัฐได้ประชาสัมพันธ์ให้เกษตรกรทราบประโยชน์ และส่งเสริมให้นำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เพื่อให้เกษตรกรสามารถลดการใช้สารเคมี เนื่องจากข้อจำกัดในองค์ความรู้เรื่ององค์ประกอบของน้ำส้มควันไม้และคุณสมบัติ ทำให้การใช้น้ำส้มควันไม้ไม่แพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเคมีที่มีจำหน่ายหลากหลายยี่ห้อในท้องตลาด สารเคมีที่จำหน่ายในท้องตลาดเหล่านั้นมีพิษที่ร้ายแรงต่อผู้บริโภค หากมีการใช้สารเคมีปริมาณมากจะก่อให้เกิดปัญหาแก่ระบบทางเดินหายใจ ระบบผิวหนัง และอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย⁴ และสารเคมีดังกล่าวก่อให้เกิดพิษสะสมในผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดโรคโรคเมเร็งต่างๆ ในมนุษย์ได้⁵ น้ำส้มควันไม้ นับว่าเป็นทางเลือกที่ใหม่ที่สำคัญของการแก้ไขปัญหาการใช้สารเคมีในเกษตรกรและในครัวเรือน

สะเดาเป็นพันธุ์ไม้ที่มีฤทธิ์ในการกำจัดแมลง เป็นต้นไม้ที่มีกิ่งก้านจำนวนมาก ยูคาลิปตัสเป็นพันธุ์ไม้ชนิดโตเร็วมีกิ่งก้านจำนวนมาก และมีฤทธิ์ในการกำจัดแมลง⁶ ข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการจำหน่ายในรูปของฝักข้าวโพด ส่วนต้นข้าวโพดถูกนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์บางส่วน และมีบางส่วนที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์⁷ มะม่วงเป็นพืชขนาดใหญ่ ใบของมะม่วงร่วงลงมาจากต้น จะก่อให้เกิดกองเศษใบไม้จำนวนมาก ใบมะม่วงมีสารในกลุ่มที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา และเชื้อไวรัส⁸

การนำต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วง มาผลิตเป็นน้ำส้มควันไม้ นับได้ว่าเป็นการนำวัสดุธรรมชาติที่พบได้มากในชุมชนมาใช้ประโยชน์ แต่มีความจำเป็นต้องเข้าใจคุณสมบัติและองค์ประกอบของสารดังกล่าว ดังนั้นการศึกษานี้จึงทำการศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วง เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งจะนำไปสู่การทดแทนการใช้สารเคมี

เกษตรและลดผลกระทบต่อการใช้สารเคมีในสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Study) โดยการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยเตาเผาขนาด 200 ลิตรแบบนอน และนำน้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดที่ได้ไปศึกษาคูณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี

การเตรียมไม้จากต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และใบมะม่วง

นำต้นสะเดา (*Azadirachta indica*) ต้นยูคาลิปตัส (*Eucalyptus globulus Labill*) ต้นข้าวโพด (*Zea Mays*) และใบมะม่วง (*Mangifera Indica*) ที่เก็บมาจากจังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย ในเดือนธันวาคม มาผึ่งแดดเพื่อไล่ความชื้นจำนวน 4 สัปดาห์

การผลิตถังสกัดน้ำส้มควันไม้แบบนอน

- นำถังเหล็กขนาด 200 ลิตร มาทำเป็นตัวเตา เจาะทั้งหน้าและด้านหลังของเตา โดยให้มีรูกลมที่เจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว
- ปรับพื้นที่สำหรับการวางเตาเผาถ่าน โดยปรับพื้นที่ที่จะติดตั้งให้ลาดเอียงเล็กน้อยให้หน้าเตาอยู่สูงกว่าท้ายเตา ด้วยการนำอิฐแดงวางเป็นฐานไว้ที่หน้าเตา ตอกเสาค้ำยันสำหรับใช้ประคองผนังเตาด้านนอก โดยตอกเสาให้มีระยะห่าง 80 x 80 เซนติเมตร (ซม.) ซึ่งวัดจากเส้นผ่าศูนย์กลางของเสา ค้ำยัน
- นำสังกะสีที่ใช้ทำเป็นผนังเตาด้านนอกมาวางแนบกับเสา ค้ำยันให้ตั้งฉากด้านข้างทั้ง 2 ด้าน โดยมีระยะห่างประมาณ 10 ซม. โดยวัดจากขอบตัวเตาที่ยื่นออกมาจนสุดจนถึงผนังเตาด้านในด้านหลัง แล้วเทดินประคองด้านข้างตัวเตาพอประมาณ
- นำตัวเตาที่เจาะทั้งหน้าและด้านหลังของเตาเสร็จแล้ว มาวางไว้ตรงกึ่งกลางระหว่างเสา ค้ำยัน โดยให้รูกลมที่เจาะอยู่ด้านล่าง เพื่อประกอบกับท่อฉากงอโยหิน ที่เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้วไว้เพื่อระบายน้ำส้มควันไม้
- ประกอบท่อฉากงอโยหิน โดยให้ด้านที่ใหญ่ที่สุดสวมเข้าไปในช่องที่เจาะไว้ในด้านท้ายของตัวเตา และนำดินมาก่อล้อมบริเวณรูที่เจาะไว้ที่ท่อฉากงอโยหิน ประกอบท่อตรงโยหินสวมเข้ากับช่องฉากงอโยหินที่ประกอบไว้ท้ายเตา ตอกไม้ขนาดพอประมาณข้างท่อ นำลวดผูกยึดท่อตรงโยหินให้แน่น
- ประสานรอยต่อระหว่างตัวเตา ช่องฉากงอโยหิน และปล่องควันให้สนิท ปิดผนังเตาด้านหลังโดยวางผนังเตาด้าน

หลังให้ห่างจากข้ออ ประมาณ 10 – 15 ซม.

7. ตักดินที่เตรียมไว้เทลงในช่องว่างระหว่างตัวเตา และผนังเตาด้านหลังทั้ง 3 ด้าน และตัดไม้เพื่อนำมาทำเป็นหมอนหนุนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 – 3 นิ้ว ยาวประมาณ 20 – 25 ซม. จำนวน 3 ท่อน วางขวางด้านล่างของตัวเตา

ขั้นตอนการผลิตและเก็บน้ำส้มควันไม้

1. บรรจุไม้แต่ละชนิดจำนวนน้ำหนัก 100 กิโลกรัม ในถังสกัดน้ำส้มควันไม้แบบนอนที่เตรียมไว้ แล้วปิดหน้าเตาที่เจาะรูไว้ขนาด 20 x 20 ซม. โดยหันด้านที่เจาะรูไว้ด้านล่าง

2. เริ่มจุดไฟหน้าเตา โดยจุดไฟบริเวณช่องไฟบริเวณอิฐก้อนแรกสุด ใส่เชื้อเพลิงทีละน้อยในช่องไฟ ช่วงนี้จะเป็นของการให้ความร้อนในเตาเพื่อไล่ความชื้นในเนื้อไม้

3. เมื่อสังเกตสีของควันที่ปากปล่องเป็นสีขาวอมเหลือง และมีกลิ่นฉุนแสบจมูก ให้หรี่ไฟหน้าเตาลง ช่วงนี้ให้เริ่มเก็บน้ำส้มควันไม้ โดยใช้ท่อไม้ไผ่ทะลุตลอดทั้งลำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4 นิ้ว ยาวมากกว่า 4 เมตร ปลายด้านที่โตกว่า ให้เจาะรูสำหรับให้น้ำส้มควันไม้ไหลออก โดยรูห่างจากปลายท่อด้านโตประมาณ 30 ซม.

4. เมื่อควันร้อนในกระบอกลูกไม้ไฟได้รับความเย็นจากอากาศภายนอก ควันก็จะควบแน่นจับกันเป็นหยดน้ำและไหลลงมาตามท่อ น้ำส้มควันไม้จะไหลออกมาจากรูที่เจาะไว้เป็นไม้ไฟ ช่วงเก็บน้ำส้มควันไม้นี้จะใช้เวลา 4 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิปากปล่องจะอยู่ในช่วง 80 – 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิปากปล่องควัน ลีกลงไป 10 ซม.

5. เมื่อเก็บน้ำส้มควันไม้แล้ว ให้เก็บน้ำส้มควันไม้ในภาชนะที่บดแสง และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้

1. การวัดความเป็นกรด – เบส

นำน้ำส้มควันไม้ปริมาณ 50 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร และนำหัวจุ่มของเครื่อง pH Meter จุ่มลงในน้ำส้มควันไม้ กดปุ่มอ่าน และบันทึกค่า โดยทำซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

2. วิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะ

นำน้ำส้มควันไม้มาหาค่าความถ่วงจำเพาะ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยเทน้ำส้มควันไม้ปริมาณ 450 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร และทำการจุ่มเครื่องไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ลงในน้ำส้มควันไม้ ทำการอ่านค่าและบันทึกค่า โดยทำซ้ำจำนวน 3 ครั้งต่อหนึ่งตัวอย่าง

3. วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี – แมสสเปกโตรเมทรี (Gas Chromatography – Mass Spectrometry; GC – MS) โดยทำการวิเคราะห์ในสภาวะ Inlet temperature: ที่ 250°C, วิธีการวิเคราะห์ Splitless, 0.10 นาที, อุณหภูมิเริ่มต้น: 40°C, อุณหภูมิสิ้นสุด: 250°C ที่ 5°C/นาที, คอลัมน์: Innowax, ความยาว 30 m, 250 µm I.D., ก๊าซที่ใช้: ก๊าซฮีเลียมบริสุทธิ์, วิธีการวิเคราะห์ Ionization: Electron ionization และวิธีการวิเคราะห์ Acquisition: Scan, 25 – 250 amu

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่ออธิบายคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

ผลการศึกษา

คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำส้มควันไม้

น้ำส้มของไม้แต่ละชนิดมีลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกัน น้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดมีสีที่ต่างกัน น้ำส้มควันไม้ทุกชนิดมีความเป็นกรด โดยน้ำส้มควันไม้จากต้นยูคาลิปตัสมีค่าความเป็นกรดมากที่สุดคือ pH เท่ากับ 2.87 น้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดามีค่าความถ่วงจำเพาะมากที่สุดคือ 1.182 ปริมาณของน้ำส้มควันไม้ที่ได้จากการเผาไม้แต่ละชนิดจำนวน 100 กิโลกรัมด้วยเตาเผาขนาด 200 ลิตรแบบนอน พบว่าต้นสะเดาให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้มากที่สุดคือ 6,000 มิลลิลิตร รองลงมาคือต้นยูคาลิปตัสซึ่งให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้จำนวน 5,000 มิลลิลิตร (Table 1)

Table 1 Physical properties of wood vinegar of neem trees, eucalyptus trees, corn trees and mango leaves

Wood vinegar	Physical properties			
	pH $\bar{x} \pm SD$	color	specific gravity $\bar{x} \pm SD$	amount (ml)
neem trees	3.27 ± 0.01	dark red	1.182 ± 0.01	6,000
eucalyptus trees	2.87 ± 0.01	red brown	1.171 ± 0.00	5,000
corn trees	3.61 ± 0.01	yellow	1.023 ± 0.00	4,000
mango leaves	3.28 ± 0.01	dark brown	1.015 ± 0.01	3,500

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำส้มควันไม้

ผลการวิเคราะห์สารประกอบทางเคมีของน้ำส้มควันไม้ด้วยเครื่อง GC – MS พบว่าน้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดาพบสารประกอบทั้งสิ้น 23 ชนิด โดยสารประกอบที่พบมากที่สุดคือ acetic acid 44.43% รองลงมาคือ formic acid 30.44% และ furfuryl alcohol 5.19%

น้ำส้มควันไม้จากต้นยูคาลิปตัสพบสารประกอบทั้งสิ้น 31 ชนิด โดยสารประกอบที่พบมากที่สุดคือ acetic acid 39.94% รองลงมาคือ peracetic acid 23.09% และ 2-Propanone 4.81%

น้ำส้มควันไม้จากต้นข้าวโพดพบสารประกอบทั้งสิ้น 7 ชนิด โดยสารประกอบที่พบมากที่สุดคือ acetic acid 53.72% รองลงมาคือ peracetic acid 25.14% และ dimethyl 12.21%

น้ำส้มควันไม้จากใบมะม่วงพบสารประกอบทั้งสิ้น 10 ชนิด สารประกอบที่พบมากที่สุดคือ acetic acid 43.30% รองลงมาคือ formic acid 35.47% และ methyl alcohol 7.07% (Table 2)

Table 2 Chemical component of wood vinegar of neem trees, eucalyptus trees, corn trees and mango leaves

Chemical type	Amount (% the peak area)			
	neem trees	eucalyptus trees	corn trees	mango leaves
Acetic acid	44.43	39.94	53.72	43.3
Formic acid	30.44	4.19	4.02	35.47
Peracetic acid	-	23.09	25.14	-
Methyl alcohol, Methanol, Dimethyl*	0.61	0.86	12.21	7.07
Phenol	0.32	0.53	2.18	2.97
3,5-dimethyl	-	1.96	-	-
Acetone	3.66	-	-	5.42
Butane	-	1.42	-	1.97
Furan	1.04	3.45	1.65	1.64
Butanoic acid	3.31	2.95	-	1.21
2-Furanmethanol	0.9	1.62	-	0.47
Ethanone	-	0.55	-	0.48
Benzene	0.4	0.28	1.08	-
Propanoic acid	4.1	-	-	-
2-Methylbutane	0.68	-	-	-

Table 2 Chemical component of wood vinegar of neem trees, eucalyptus trees, corn trees and mango leaves (Continue)

Chemical type	Amount (% the peak area)			
	neem trees	eucalyptus trees	corn trees	mango leaves
Pentane	0.19	0.44	-	-
2-Propanone	0.41	4.81	-	-
Cyclohexane	0.72	0.21	-	-
2-Furanone	0.14	0.23	-	-
Pentanoic acid	-	0.96	-	-
Acetol acetate	-	0.55	-	-
3-Heptyne	-	0.27	-	-
Pilocarpine	-	0.14	-	-
Propyl ester	-	0.18	-	-
Pyrazine	-	0.34	-	-
2-Cyclopentane	-	0.53	-	-
3-hydroxy-2-methyl-	-	0.78	-	-
2-methoxy	-	1.18	-	-
Pentyl cyanide	-	0.25	-	-
2,4-Dimethoxyphenol	-	3.54	-	-
Benzoic acid	-	0.85	-	-
Dibutyl phthalate	-	0.71	-	-
Phthalic acid	-	2.54	-	-
Furfuryl alcohol	4.79	-	-	-
Glycine	0.21	-	-	-
Mequinol	1.59	-	-	-
Oxetane	0.61	-	-	-
Butanediol	0.22	-	-	-
Syringol	0.7	-	-	-
Pentanal	-	0.65	-	-
7-Cyclopentane	0.34	-	-	-
Sorbic aldehyde	0.19	-	-	-

Note “ - ” is meaning not found that chemical component

วิจารณ์และสรุปผล

น้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดา ต้นยูคาลิปตัส ต้นข้าวโพด และ ไบโม่ม่วง ที่ผลิตด้วยการเผาด้วยถังขนาด 200 ลิตรแบบ นอน มีคุณภาพและมีคุณสมบัติที่ดีเป็นไปตามคุณสมบัติที่ แนะนำของสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยศิลปากร และ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวง พลังงาน ที่แนะนำว่าคุณสมบัติของน้ำส้มควันไม้ที่ดีควรมีสี เหลือง สีน้ำตาลแดงจาง หรือน้ำตาลแดง มีค่า pH ระหว่าง 1.5 ถึง 3.7 และมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.005¹ โดยการ ศึกษาที่พบว่าน้ำส้มควันไม้จากต้นสะเดามีสีแดงเข้ม น้ำส้ม ควันไม้จากต้นยูคาลิปตัสมีสีน้ำตาลแดง น้ำส้มควันไม้ต้น ข้าวโพดมีสีเหลือง และน้ำส้มควันไม้จากไบโม่ม่วงมีสีน้ำตาล เข้ม น้ำส้มควันไม้แต่ละชนิดมีลักษณะเป็นของเหลวเนื้อ เดียวกัน ไม่แยกชั้น ค่า pH ของน้ำส้มควันไม้ทั้ง 4 ชนิดมีค่า pH ระหว่าง 2.87 ถึง 3.61 และน้ำส้มควันไม้จากไม้ทั้ง 4 ชนิด มีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1.015 ผลการศึกษานี้เป็นการ ยืนยันว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ไม้ทั้ง 4 นำมาเผาด้วยถัง 200 ลิตรแบบนอน สามารถผลิตน้ำส้มควันไม้ที่มีคุณภาพตาม มาตรฐานที่แนะนำ

น้ำส้มควันไม้ที่ผลิตได้จากพืชแต่ละชนิดจะให้คุณสมบัติ ของน้ำส้มควันไม้ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีความแตกต่าง ในเชิงองค์ประกอบทางเคมีของเซลล์พืช จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าลำดับของต้นไม้ยืนต้นให้ปริมาณน้ำส้มควันไม้ และมี ส่วนประกอบของสารเคมีมากกว่าส่วนของใบ โดยลำดับของ ต้นยูคาลิปตัส พบสารประกอบมากที่สุด คือพบสารประกอบ จำนวน 31 ชนิด แต่ในใบของมะม่วง และต้นข้าวโพดพบ สารประกอบเพียง 10 และ 7 ชนิดตามลำดับ

น้ำส้มควันไม้ของพืชทั้ง 4 ชนิด พบ acetic acid เป็นส่วน ประกอบมากที่สุด สอดคล้องกันการศึกษาที่ผ่านมาซึ่งทำการ ศึกษาองค์ประกอบของสารในน้ำส้มควันไม้จากต้นยูคาลิปตัส ซึ่งพบว่าองค์ประกอบของสารส่วนใหญ่คือ acetic acid¹⁰ แต่ ปริมาณสารจะมีความแตกต่างกันขึ้นกับประเภทและชนิดของ ไม้ acetic acid เป็นสารที่เป็นประโยชน์และมีการไปใช้ในด้าน การเกษตร ปศุสัตว์ การแพทย์ และอุตสาหกรรม โดย acetic acid มีการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ใช้ในการปราบ แมลงศัตรูพืช และสารดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อ แบคทีเรีย โดยการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การนำ acetic acid ไปผสมในอาหารสัตว์ สามารถป้องกันอาการท้องเสียในสัตว์ และลดการเจ็บป่วยจากเชื้อแบคทีเรียได้ ทั้งนี้เนื่องจากสาร ดังกล่าวยังมีฤทธิ์ในการฆ่าจุลินทรีย์ก่อโรคในสัตว์ได้¹¹ นอกจากนี้ acetic acid ได้นำไปใช้ในการผลิตในการทำยาฆ่าเชื้อที่แผล ในมนุษย์¹² acetic acid ยังมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อราในพืช¹³ และ

สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องใช้ใน ครวเรือนได้

นอกจากนี้ในน้ำส้มควันไม้พบ formic acid ซึ่งเป็นกรด อินทรีย์ที่มีการนำมาใช้ในการฆ่าจุลินทรีย์ก่อโรคในปศุสัตว์ เนื่องจากคุณสมบัติของ formic acid มีความเป็นกรดจึงทำให้ เกิดสภาวะที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ก่อโรค ดังตัวอย่างเช่น ประเทศในยุโรปได้มีการนำ formic acid มาใช้ในการฆ่าเชื้อ Salmonella ในการปศุสัตว์^{14, 15} นอกจากนี้ formic acid ยังเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยมีการนำมาใช้เป็นสารกันเสีย โดย formic acid สามารถ ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารได้¹⁶ และได้ มีการนำ formic acid มาใช้ในการรักษาคุณภาพของเครื่อง สสำอางค์¹⁷ นอกจากนี้ยังพบว่าในน้ำส้มควันไม้พบ peracetic acid ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำสารดังกล่าวมาใช้ในการทำความสะอาดและฆ่าเชื้อโรคในสถานพยาบาล เนื่องจาก peracetic acid มีความสามารถในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อ ไวรัส ในอุตสาหกรรมได้มีการนำ peracetic acid มาใช้เป็นสาร ในการกำจัดน้ำเสีย¹⁸ และพบว่าสารดังกล่าวสามารถลดจำนวน แบคทีเรียที่ผิวหนังของปลาและไม่ก่อให้เกิดผิวดอกปลา¹⁹ นอกจากนี้ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าน้ำส้มควันไม้ทั้ง 4 ชนิด มี methyl alcohol เป็นสารประกอบ ซึ่งมีการนำมา methyl alcohol มาใช้ประโยชน์ในการเป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรม และนำมาใช้เป็นสารประกอบในการผลิตสีทาไม้ ยาลอกสี²⁰ เป็นต้น แต่ methyl alcohol มีความเป็นพิษต่อร่างกายของ มนุษย์ด้วยเช่นกัน โดย methyl alcohol สามารถถูกดูดซึมได้ ทางผิวหนัง และสามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ทางลมหายใจ ซึ่ง ผู้ที่สูดดมสารดังกล่าวเข้าไปในร่างกายจะเกิดการระคายเคือง ต่อทางเดินหายใจ ทำให้หลอดลมและหลอดคออักเสบได้ นอกจากนี้สารดังกล่าวยังก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเยื่อเมือก ทำให้เยื่อเมือกอักเสบ และหากมีการบริโภคสารดังกล่าวจะ ทำให้เกิดการเสียชีวิตได้²¹

น้ำส้มควันไม้ของต้นสะเดา และไบโม่ม่วง พบสาร ประกอบหลักที่คล้ายกัน คือ acetic acid และ formic acid ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในการปราบแมลงศัตรูพืช และสารดังกล่าว มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อ โรคในสัตว์ได้ น้ำส้มควันไม้ของต้นยูคาลิปตัส และต้นข้าวโพด พบสารประกอบหลักที่คล้ายกัน คือ acetic acid และ peracetic acid ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และ เชื้อไวรัส ซึ่งสารดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้ในการ แพทย์เพื่อกำจัดเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา และเชื้อไวรัส ในมนุษย์ และสัตว์ได้ และสามารถนำไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการ ทำความสะอาดในครัวเรือน เพื่อลดการใช้สารเคมีในครัว

เรือน แต่ทั้งนี้ยังมีความจำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาสูตรน้ำส้มควันไม้สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ โดยควรศึกษาถึงปริมาณที่เหมาะสมในการนำไปใช้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งาน

ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ด้วยถังขนาด 200 ลิตรชนิดแบน ซึ่งเป็นชนิดถังที่ประดิษฐ์ได้ง่าย และมีการใช้งานจริงในชุมชนนั้น ยังคงมีข้อจำกัดเรื่องมลพิษทางอากาศ เนื่องจากถังดังกล่าวมีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดมลพิษทางอากาศขณะที่ทำการผลิตน้ำส้มควันไม้ ดังนั้นหากต้องการส่งเสริมให้ประชาชนในชุมชนผลิตน้ำส้มควันไม้เพื่อไว้ใช้งาน จึงควรมีการพัฒนาถังผลิตน้ำส้มควันไม้ที่สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์ เพื่อลดปัญหาหมอกควันซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

การนำวัสดุเหลือใช้ในชุมชน เช่น ใบมะม่วง ต้นข้าวโพด มาใช้ในการผลิตน้ำส้มควันไม้ นับว่าเป็นประโยชน์ ทั้งนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหลือใช้ดังกล่าว นอกจากนี้ควรมีการส่งเสริมให้ประชาชนในชุมชนได้ทราบถึงประโยชน์และแนวทางการผลิตน้ำส้มควันไม้ให้มากขึ้น ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิต และลดการพึ่งพาสารเคมีในท้องตลาด รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในครัวเรือน แต่การส่งเสริมดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนองค์ความรู้จากสหวิชาชีพ เช่น สาธารณสุข เกษตร ปศุสัตว์ สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ ในการพัฒนาองค์ความรู้และพิจารณาความเหมาะสมของการนำน้ำส้มควันไม้ไปใช้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้คณะสาธารณสุขศาสตร์ประจำปี งบประมาณ 2556 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. สุพรรณชัย มั่งมีสิทธิ์. คู่มือการผลิตถ่านคุณภาพสูงและน้ำส้มควันไม้เพื่อใช้ในครัวเรือน. นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร; 2551.
2. จารุวรรณ วิโรจน์, น้ำผึ้ง ดุงโคกกรวด. การพัฒนาคุณภาพน้ำส้มควันไม้ต่อการกำจัดมด. มหาสารคาม: คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม; 2556.
3. กิตติกร สาสุจิตต์, นิกราน หอมดวง, ณัฐวุฒิ ดุษฎี. การเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์น้ำส้มควันไม้เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ชุมชนของศูนย์เรียนรู้การเกษตรพอเพียง บ้านหนองไข ตำบลป่าสัก จังหวัดลำพูน. *Journal of Community*

Development and Life Quality. 2561;2(2):125-32.

4. Oluwole O, Cheke RA. Health and environmental impacts of pesticide use practices: a case study of farmers in Ekiti State, Nigeria. *International journal of agricultural sustainability.* 2009;7(3):153-63.
5. Damalas CA. Understanding benefits and risks of pesticide use. *Scientific Research and Essays.* 2009;4(10):945-9.
6. ขวัญชัย สมบัติศิริ. สะเดามิติใหม่ของการป้องกันและกำจัดแมลง. กรุงเทพฯ: ภาควิชากีฏวิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2540.
7. กรมป่าไม้. ยูคาลิปตัส (คามานดูแลนซิส). กรุงเทพฯ: กรมป่าไม้; 2540.
8. ระภาส วีระแพทย์. สารานุกรมสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. กรุงเทพฯ: โครงการสารานุกรมสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว; 2553.
9. ยุวดี จอมพิทักษ์. มะม่วงสมุนไพรรักษา 11 โรค. กรุงเทพฯ: ธนบรรณปิ่นเกล้า; 2549.
10. Heapparat Y, Chandumpai A, Leelasuphakul W, Laemsak N, Ponglimanont C. Physicochemical Characteristics of Wood Vinegars from Carbonization of *Leucaena leucocephala*, *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Hevea brasiliensis* and *Dendrocalamus asper*. *Kasetsart Journal - Natural Science.* 2014;48(6):916-28.
11. Chao N, Thong HT, QuynhChau H, Tam V, Rui Z. Effects of charcoal and wood vinegar dietary supplementation to diarrhea incidence and faecal hydrogen sulfide emissions in pigs. *Int J Sci Res Pub.* 2016;6:707-13.
12. Nagoba B, Wadher B, Kulkarni P, Kolhe S. Acetic acid treatment of pseudomonas wound infections. *Eur J Gen Med.* 2008;5(2):104-6.
13. Chuaboon W, Ponghirantanachoke N, Athinuwat D. Application of wood vinegar for fungal disease controls in paddy rice. *Applied Environmental Research.* 2016;38(3):77-85.
14. Livestock. Formic acid. 2011 [cited 2019 16 July]; Available from: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Formic%20Acid%20TR.pdf>.

15. Al-Natour MQ, Alshawabkeh KM. Using varying levels of formic acid to limit growth of *Salmonella gallinarum* in contaminated broiler feed. Asian-australasian journal of animal sciences. 2005;18(3):390-5.
16. Anyasi T, Jideani A, Edokpayi J, Anokwuru C. Application of organic acids in food preservation. Organic acids, characteristics, properties and synthesis; Vargas, C, Ed. 2017:1-47.
17. Belsito DV, Klaassen CD, Liebler DC, Hill RA. Amended safety assessment of formic acid and sodium formate as used in cosmetics; 2013.
18. Kitis M. Disinfection of wastewater with peracetic acid: a review. Environment international. 2004;30(1):47-55.
19. Hushangi R, Hosseini Shekarabi S. Effect of a peracetic acid-based disinfectant on growth, hematology and histology of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Fishes. 2018;3(1):10.
20. Klier K. Methanol synthesis. Advances in catalysis: Elsevier; 1982. p. 243-313.
21. Kruse J. Methanol poisoning. Intensive Care Medicine. 1992;18(7):391-7.

คำแนะนำสำหรับผู้พิมพ์

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม กำหนดพิมพ์ปีละ 6 ฉบับ ฉบับที่ 1 (มกราคม-กุมภาพันธ์) ฉบับที่ 2 (มีนาคม-เมษายน) ฉบับที่ 3 (พฤษภาคม-มิถุนายน) ฉบับที่ 4 (กรกฎาคม-สิงหาคม) ฉบับที่ 5 (กันยายน-ตุลาคม) ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งเรื่องมาพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิก และไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อนและไม่อยู่ในระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลง แก้ไขเนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากลและนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ 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**
 - 3.1 ชื่อเรื่องให้ใช้อักษรขนาด **18 pt. ตัวหนา**
 - 3.2 ชื่อผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวปกติ**
 - 3.3 หัวข้อหลักใช้อักษรขนาด **16 pt. ตัวหนา**
 - 3.4 หัวข้อรองใช้อักษรขนาด **14 pt. ตัวหนา**
 - 3.5 บทคัดย่อและเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด **14 pt. ตัวบาง**
 - 3.6 เชิงอรรถอยู่หน้าแรกที่เป็นรายละเอียดชื่อตำแหน่งทางวิชาการ และที่อยู่ของผู้พิมพ์ใช้อักษรขนาด **12 pt. ตัวบาง** และใส่ **Corresponding author**
4. การพิมพ์ต้นฉบับ ผู้เสนองานจะต้องพิมพ์ส่งต้นฉบับในรูปแบบของแฟ้มข้อมูลต่อไปนี้ อย่างไม่อย่างหนึ่ง ได้แก่ ".doc" (MS Word) หรือ ".rft" (Rich Text)
5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง
6. จำนวนเอกสารอ้างอิงไม่เกิน 2 หน้า
7. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)
8. การส่งบทความ ส่ง online ระบบ Thai Jo สามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th
9. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะไม่พิจารณาผลงาน

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

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

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

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหาครบถ้วนตามเรื่องเดิม มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ หรือไม่เกิน 10 บรรทัด และไม่ควรใช้คำย่อ

คำสำคัญ (Keyword) ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษาประมาณ 4-5 คำสั้น ๆ

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารประกอบ

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

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ชัดช้อนและมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปลมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิแทน

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

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

กิตติกรรมประกาศ (Adcknowledgements) ระบุสั้น ๆ ว่างานวิจัยได้รับงานสนับสนุน และความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุรายการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ Vancouver Style ดังตัวอย่างข้างล่าง และสามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

การเขียนเอกสารอ้างอิงแบบแวนคูเวอร์ (Vancouver Style)

เมื่อนำผลงานของบุคคลอื่น ไม่ว่าจะบางส่วนหรือทั้งหมดมาอ้างอิงในงานนิพนธ์ให้ใส่ตัวเลขกำกับที่ท้ายข้อความนั้น เรียงตามลำดับ 1,2,3,... โดยใช้ตัวเลขอารบิก และยกขึ้น (superscript) แล้วรวบรวมเป็นรายการอ้างอิง (Reference list หรือ Bibliography) ที่ส่วนท้ายของงานนิพนธ์

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, Coppell AL, Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998 Mar 1;55(5):697-701

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

ข. วารสารเรียงหน้าต่อเนื่องกันตลอดปี

Russell FD, Coppell AL Davenport AP. In vitro enzymatic processing of radiolabelled big ET-1 in human Kidney as a food ingredient, *Biochem Pharmacol* 1998;55:697-701

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

3. รายงานจากการประชุมวิชาการ

รูปแบบ : ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ใน: ชื่อคณะบรรณาธิการ, editors. ชื่อเอกสารรายงานการประชุม 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 บุญเลิศนิรันดร์ ทะนงศักดิ์ มณีวรรณ, พงาม เดชคำรณ, นภา ชันสุภา. การใช้เอทีฟอนกระตุ้นการสุกของพริก. ใน: เอกสารการประชุมสัมมนาทางวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 15. สถาบันวิจัยและพัฒนา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. กรุงเทพฯ; 2541. หน้า 142-9

4. การอ้างอิงจากพจนานุกรม

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

ตัวอย่าง: Stedmin's medical dictionary. 26th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1995. Apraxia; p. 119-20.

พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. กรุงเทพฯ: นานมีบุ๊คพับลิเคชันส์; 2546. หน้า 1488

5. การอ้างอิงจากหนังสือพิมพ์

รูปแบบ: ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์ ปี เดือน วัน; Sect.: sohk 15.

ตัวอย่าง: Lee G. Hospitalizations tied to ozone pollution: study estimates 50,000 admissions annually. *The Washington Post* 1996 Jun 21; Sect. A: 3(col.5).

พรรณี รุ่งรัตน์ สทศ. ดั้งที่มพัฒนาข้อสอบระดับชาติมันใจคุณภาพ. *เดลินิวส์* 12 พฤษภาคม 2548.

6. อ้างอิงจากหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

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

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

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

Instruction for Authors

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

Preparation of manuscripts:

1. Manuscripts can be written in either Thai or English with the abstract in both Thai and English. Papers should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" or ".rtf" (Rich Text) on standard size paper, A4 or 8.5x11 inches, and arranged in two columns: single space for English, double space for Thai language.

3. Browallia font type is required with font size as follows:

Title the article: 18 pt. Bold

Name(s) of the authors: 16 pt.

Main Heading: 16 pt. Bold

Sub-heading: 14 pt. Bold

Body of the text: 14 pt

Footnotes for authors and their affiliations: 12pt.

4. The number of pages to 15, including references, tables, graphs, or pictures.

5. Types of manuscripts accepted: research articles and review articles.

6. Organization of research articles.

Title: denoted in both Thai and English, must be concise and specific to the point, normally less than 100 characters.

Name(s): of the author(s) and their affiliation must be given in both Thai and English.

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

Keywords: Give at least 4-5 concise words.

The body of the text comprises the following headings:

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

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

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

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

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

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

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

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

Submission of manuscripts

1. Manuscripts should be submitted through the Thai Jo Manuscripts submission system at www.journal.msu.ac.th.
2. The uncorrected manuscripts will be rejected by the editorial board.

Review of manuscripts:

1. The editorial board will review all manuscripts for format compliance. Manuscripts formatted incorrectly will be returned to the author for correction.
2. Following submission of the corrected manuscript, the Peer Review Committee will review and offer comments
3. Manuscripts receiving the approval of the Peer Review Committee may be returned to the author for revision as advised by the Committee. Manuscripts failing to adopt the Committee's suggestions will not be published.



ใบสมัครเป็นสมาชิกรวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ชื่อ-นามสกุล

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

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

โทรศัพท์..... โทรสาร..... E-mail.....

หน่วยงาน.....

ถนน..... แขวง/ตำบล..... อำเภอ.....

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

ออกใบเสร็จในนาม.....

- สมัครเป็นสมาชิกหนึ่งปี ค่าสมัคร 400 บาท
- สมัครเป็นสมาชิกสองปีติดต่อกัน ค่าสมัคร 800 บาท

ส่งจ่ายผ่านเลขที่บัญชี 983-9-26661-6 ธนาคารกรุงไทย ชื่อบัญชี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (เงินรายได้)

สาขาท่าขอนยางมหาสารคาม

ทั้งนี้ขอให้ส่งหลักฐานการสมัคร (ใบสมัครนี้) และสำเนาการชำระเงินได้ที่ science.msu@hotmail.com หรือ ส่งเป็นเอกสารทางไปรษณีย์มาที่ งานวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150