

ปีที่ 39 ฉบับที่ 5 กันยายน - ตุลาคม 2563

ISSN (Print Edition) : 1686-9664

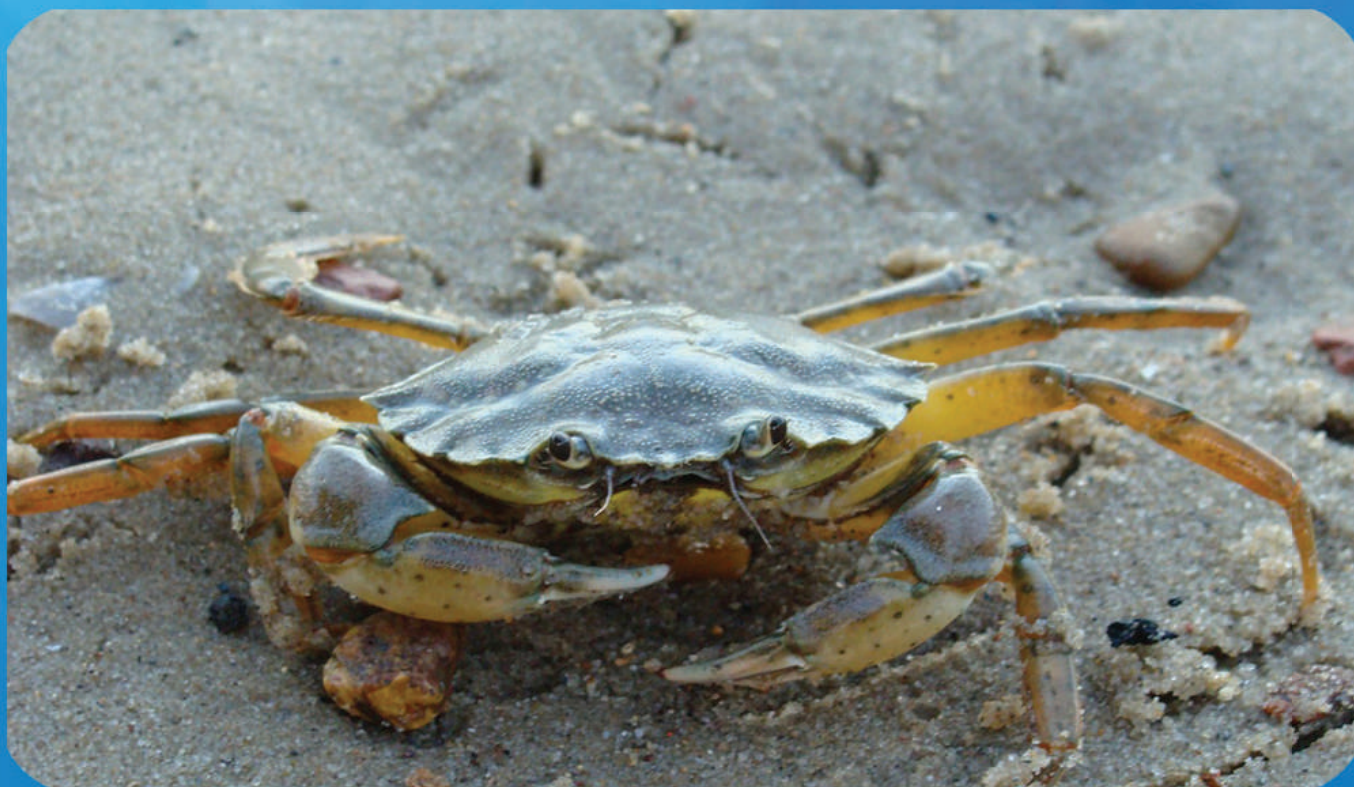
ISSN (Online Edition) : 2586-9795



วารสาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

www.journal.msu.ac.th



Journal of Science and Technology Mahasarakham University

Index 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 โทรศัพท์โทรสาร 0-4375-4416

ที่ปรึกษา

อธิการบดีมหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ ไบไม้
ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย บุญแสง

บรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ปรีชา ประเทพา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ ประมวล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร ศิริอมรพรรณ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายสัตวแพทย์ ดร.วรพล เองวานิช
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.วัลยา สุทธิชา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ บุญเกิด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.ละอองศรี เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณิ พรหมเทศ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.ประณีต อานเป็ร้อง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ เสนาะเมือง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร.อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุนันท์ สายกระสุน
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา บุญยะลีพรรณ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญใจ กนกเมธากุล
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉันทนา อารมย์ดี
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญจง ขาวสิทธิวงษ์
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.พรเทพ ถนนวนแก้ว
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.นฤมล แสงประดับ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ คำเหม็ง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ยืน ภู่วรรณ
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.อริชฎี กุมพล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ศิริเกษม ศิริลักษณ์
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต บุญปก
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพรัตน์ พุทธกาล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา เพ็ชรชนะ
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสกสรร สุขะเสนา
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิญา วงศ์พิริโยธยา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อลงกรณ์ ละม่อม
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.ณัฐพล ภูมิพันธุ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมนึก พ่วงพรพิทักษ์
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.รัชชจินดา วัฒนาลัย
มหาวิทยาลัยสยาม
Mr.Adrian R. Plant
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เลขานุการ

ฉวีวรรณ อรรถเศรษฐ์

ผู้ช่วยเลขานุการ

พักรวีไล รุ่งวิสัย
จิรารัตน์ ภูสีฤทธิ

กำหนดเผยแพร่

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

บทความและความคิดเห็นในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม เป็นความคิดเห็นของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป และบทความในวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สงวนสิทธิ์ตามกฎหมายไทย การจะนำไปเผยแพร่ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากกองบรรณาธิการเท่านั้น

บทบรรณาธิการ

Gerard Piel กล่าวไว้ว่า “Without publication, science is dead.” จึงเป็นหน้าที่ของวารสารทางวิชาการที่จะช่วยดำรงไว้ซึ่งการเผยแพร่งานวิจัยที่มีคุณภาพทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้เผยแพร่แนวคิดใหม่ๆ และองค์ความรู้จากงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสู่สาธารณะมาเป็นเวลาหลายปี ซึ่งปีนี้เป็นปีที่ 39 แล้ว และวารสารฉบับที่ 5 ของปีนี้ มีบทความที่ได้รับการตอบรับตีพิมพ์ ด้าน Agricultural Science 1 บทความ Biological Science 2 บทความ Computer and IT 4 บทความ Engineering 3 บทความ Environment Science 1 บทความ และด้าน Health Science อีก 1 บทความ ทางกองบรรณาธิการขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาต่างๆ ที่ได้ช่วยในขบวนการ double-blind peer review บทความต่างๆ โดยอาจมีการปฏิเสธหรือให้แก้ไขทางเทคนิค ก่อนตอบรับให้ตีพิมพ์ กองบรรณาธิการได้เลือกเฉพาะผู้ทรงคุณวุฒิที่เชี่ยวชาญตรงกับบทความที่เสนอเข้ามาจริงๆ และกรณีความเห็นผู้เชี่ยวชาญขัดแย้งกัน ก็จะมีการหาผู้ทรงคุณวุฒิเพิ่มเติม เพื่อสรุปผล

ที่สำคัญการจัดทำวารสารฉบับนี้สำเร็จได้ด้วย ผู้ส่งบทความที่เสียสละเวลาเขียนบทความ ส่งเข้าร่วมพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ ทั้งที่ได้รับการตอบรับและปฏิเสธ เจ้าหน้าที่ประจำกองวารสาร ทีมกองบรรณาธิการทุกท่าน และการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในนามของกองบรรณาธิการ ต้องขอขอบพระคุณทุกท่านและทุกฝ่ายเป็นอย่างสูง ณ ที่นี้ เรากำลังก้าวเข้าสู่ปีที่ 40 ในเร็วๆ นี้ หากเป็นคนที่ถือว่ามีประสบการณ์ ผ่านร้อนผ่านหนาวมาไม่น้อย วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ขอขอบพระคุณที่ฝ่ายที่มีส่วนช่วยเหลือการทำงานของเราก็คง ทำให้เราได้เติบโตมาจนจะครบ 40 ปี และมีส่วนช่วยร่วมในงาน Publication ของวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศไทย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมนึก พ่วงพรพิทักษ์

กองบรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิชาการ

Agricultural Science

กัญชง: วัตถุดิบอาหารแห่งอนาคตสำหรับการเลี้ยงไก่ไข่สู่การผลิตไข่ไก่เพื่อสุขภาพ 481

Hemp: novel feedstuff for raising laying hens to healthy egg production

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, พิชญา ฉ่ำชื่น

Manatsanun Nopparatmaitree, Pitchaya Chumcaun

บทความวิจัย

Biological Science

พลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla spp.*) บริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี 496

Population dynamics of Mud crab (*Scylla spp.*) at the mangrove forest of Laem Phak

Bia receiving effluent from Phetchaburi Municipal wastewater treatment system

เสถียรพงษ์ ขาวหิต

Satienpong Khowhit

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวและการตรวจสอบความไวของต้นกล้าต่อรังสีแกมมา 506

Embryo of Pink Lotus and White Lotus (*Nelumbo Nucifera* Gaertn.) tissue culture and determination of seedling sensitivity to gamma rays

อติกานต์ แยมปู, มนัสวี เดชกล้า, นฤมล บุญมัน, ธราธร ทิระพลจิตติ, ศิริรัตน์ พักปากน้ำ

Atikan Yampul, Manussawee Dechkla, Narumon Boonman, Tharathon Teerakathiti, Sirirat Phakpaknam

Computer and Information Technology

ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติอำเภอเขาต้อมด้วยหลักการออนโทโลยี 514

Recommendation system Khao Kho natural tourism by ontology

ธินาพันธ์ นธิยวิทย์

Thinaphan Nithiyuwit

การวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อเกมมือถือพีบีจีด้วยเหมืองข้อความ 523

Opinion analysis on PlayerUnknown's Battlegrounds (PUBG) mobile games using text mining

วสวัตดี อินทร์แปลง, จารีย์ ทองคำ

Wossawat Inplang, Jaree Thongkam

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในการทำเหมืองข้อความ 532

The application of graph theory on text mining

สุรัสวดี นางแล, ธนายุทธ ช่างเรื่อนงาม

Suruswadee Nanglae, Thanayut Changruenngam

สารบัญ

- การเปรียบเทียบวิธีการสืบค้นข้อความภาษาไทยระหว่างเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิง
ความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูล
อย่างมีโครงสร้าง 539
- The Comparison of Data Query in Thai Text between Text Processing and Structured
Query Language (SQL)**
อิทธิศักดิ์ ศรีดำ
Idhisak Sridam
- Engineering**
- ผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้
เครื่องคั่วสเปาเตดเบด 551
- Effect of degree of roast on roasted coffee physical and sensory qualities using
spouted bed roaster**
กิตติศักดิ์ วรินันท์กิตติ, สุชน ทรัพย์สิงห์, เอกภูมิ บุญธรรม, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์
Kittisak Witinantakit, Suchon Supsing, Eakpoom Boonthum, Chaiyong Taechapairoj
- วิธีการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองโดยวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง 560
- Cavendish quality testing by using a non-destructive method**
ธนาชาติ ศรีเปารยะ, อภิเดช บูรณวงศ์, คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์
Thanachart Sripaurya, Apidet Booranawong, Kanadit Chetpattananondh
- การจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ
ของอาคารต้นแบบมหาวิทยาลัยพะเยา 572
- Building energy management for reducing the electricity demand of air conditioning
systems in prototype building at the University of Phayao**
นัทธีธนนท์ พงษ์พานิช, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล
Nuttanon Pongpanit, Bunyawat Vichanpol
- Environmental Science**
- การผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน 580
- Bio-coal and Green Fuel Production from Durian Peel**
ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์, ศิริวรรณ แก้วสวิง, อมรปุระภา ทิศกระโทก
Panjai Saueprasearsit, Siriwan Kaewsawing, Amornprapa Thitkrathok
- Health Science**
- การพัฒนาตำรับเอสเซนส์ที่มีสารต้านออกซิเดชันจากสารสกัดเห็ดนางรมดำ 587
- Development of antioxidant essence formulation from Kummer (*Pleurotus ostreatus* (Fr.)) extract**
ลภัสรดา มุ่งหมาย, มธุกร สายนาคำ, ธรรมบุญ รุ่งสังข์, วีรยา ปรีดาลิขิต
Lapatrada Mungmai, Mathukorn Sainakham, Tammanoon Rungsang, Weeraya Preedalikit

กัญชง: วัตถุดิบอาหารแห่งอนาคตสำหรับการเลี้ยงไก่ไข่สู่การผลิตไข่ไก่เพื่อสุขภาพ

Hemp: novel feedstuff for raising laying hens to healthy egg production

มนัสนันท์ นพรัตน์ไมตรี^{1*}, พิชญา จุ่มชื่น¹
Manatsanun Nopparatmaitree^{1*}, Pitchaya Chumcaun¹

Received: 3 September 2019 ; Revised: 21 February 2020 ; Accepted: 24 March 2020

บทคัดย่อ

เมล็ดกัญชงอุดมไปด้วยโภชนาการโดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดอะมิโนจำเป็นและกรดไขมันจำเป็นสำหรับการดำรงชีพอย่างมีสุขภาพดี เมล็ดกัญชงประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต 32 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 33 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 24 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ และ 9 ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งยังประกอบด้วยเยื่อใย วิตามิน และ แร่ธาตุ ส่วนน้ำมันเมล็ดกัญชงประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ประกอบด้วย กรดลิโนเลอิก 60 เปอร์เซ็นต์ กรดแอลฟาไลโนเลนิก 17 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ และ แหล่งของกรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 ที่สมดุล นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในเมล็ดกัญชง คือ Δ -9 tetrahydrocannabinol การรวบรวมเอกสารครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้เมล็ดกัญชง (มากกว่า 20-30 เปอร์เซ็นต์) กากเมล็ดกัญชง (20 เปอร์เซ็นต์) และน้ำมันเมล็ดกัญชง (มากกว่า 9 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์) ในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อสมรรถภาพการผลิตของไก่ไข่ และนำไปสู่การสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในไข่ไก่

คำสำคัญ: กัญชง ไก่ไข่ วัตถุดิบอาหารสัตว์ ไข่ไก่เพื่อสุขภาพ

Abstract

Hemp seed is rich in nutrients, especially for the essential amino acid and essential fatty acid necessary to maintain a healthy life. Hemp seed contains 32 to 34% carbohydrate, 33 to 35% fat, 24 to 25% crude protein and 9 to 11% include fiber, vitamins and mineral. In addition, hemp seed oil contains 75 to 80% polyunsaturated fatty acids (PUFA) including 60% linoleic acid, 17 to 19% α -linolenic acid and making balanced source of n-6 and n-3 PUFAs. Moreover, the bioactive component in hemp seed is a Δ -9 tetrahydrocannabinol. Based on the results of the current review, the inclusion in higher levels of the hemp seed (>20-30%) hemp seed meal (20%) and hemp oil (>9-12%) in the diets of laying hens does not affect overall performance of birds and leads to the enrichment of the n-3 fatty acid content of eggs.

Keywords: Hemp, Laying hen, Feedstuff, Healthy egg

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

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

* Corresponding e-mail: Nopparatmaitree_m@silpakorn.edu

บทนำ

ปัจจุบันอัตราการเสียชีวิตของคนไทยเกิดจากโรคหลอดเลือดและหัวใจประมาณ 20,855 คนต่อปี หรือ 2 คนต่อชั่วโมง โดยมีสาเหตุหลักจากการบริโภคอาหารที่มีไขมันและคอเลสเตอรอลสูง ทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจและมีความต้องการอาหารที่มีประโยชน์และลดความเสี่ยงของโรค¹ ทั้งนี้ไข่ไก่จัดเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วน ราคาถูก และสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัย หากแต่อัตราส่วนของการบริโภคไข่ไก่ของประเทศไทยต่ำกว่าประเทศที่พัฒนาแล้ว² นอกจากนี้ในช่วงที่ผ่านมาระบบการผลิตไข่ไก่ประสบปัญหาไข่ไก่ล้นตลาด³ ส่งผลต่อราคาขายไข่ไก่ที่ต่ำลงสวนทางกับต้นทุนค่าอาหารที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อความเสี่ยงต่อการขาดทุนของเกษตรกรผู้เลี้ยงไข่ไก่ และเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีการเสนอแนวคิดในการพัฒนาไข่ไก่ให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีการสะสมโภชนาการสำคัญที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และช่วยส่งเสริมสุขภาพมากกว่าการให้โภชนาการทั่วไปควบคู่กับการรณรงค์ให้คนไทยเพิ่มอัตราการบริโภคไข่ไก่มากขึ้น อันนำไปสู่การสร้างมูลค่าเพิ่มของไข่ไก่ในอนาคต

กอรกับในปี 2562 พระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ (ฉบับที่ 7) มีการปรับเปลี่ยนมาตรการการใช้กัญชา (Cannabis or Marijuana) และพืชกระท่อมในการควบคุมยาเสพติดให้โทษประเภท 5 ให้สอดคล้องกับหลักสากลเพื่อให้ใช้ในการวิจัยและใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ได้⁴ ทั้งนี้กัญชา

มีพืชร่วมสกุลเดียวกันที่มีความน่าสนใจอย่างมากในการนำมาใช้ประโยชน์ คือ กัญชง (Hemp) เนื่องจากกัญชงเป็นพืชที่ให้เส้นใยสูงและสารเสพติด Delta-9-tetrahydrocannabinol (Δ^9 THC หรือ THC) ต่ำกว่ากัญชา อีกทั้งเมล็ดกัญชงมีโปรตีนสูงและอุดมไปด้วยกรดไขมัน โอเมก้า 3 และ 6⁵ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) และกรดลิโนเลนิก (α Linolenic acid)⁶ ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันตั้งต้นที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ในการสร้างเป็น Eicosapentaenoic (EPA) และ Docosahexaenoic acid (DHA) ที่มีคุณสมบัติบำรุงสมอง ป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ และช่วยลดการเกิดโรคมะเร็ง⁷ โดยเมล็ดกัญชงสามารถนำมาสกัดทำน้ำมันใช้ในการปรุงอาหาร ส่งผลให้มีเศษเมล็ดกัญชงเหลือทิ้งจำนวนมากที่ยังมีศักยภาพในการใช้เป็นอาหารสัตว์ได้⁸

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์ในการรวบรวมข้อมูลด้านโภชนาการอาหารสัตว์และสารพฤกษเคมีของกัญชง รวมถึงผลการใช้ประโยชน์จากเมล็ดและเศษเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชงสกัดน้ำมันในอาหารไข่ไก่ต่อสมรรถภาพการผลิต คุณภาพไข่ และปริมาณของกรดไขมันสะสมในพลาสมาและไข่แดง อันเป็นแนวทางสำหรับการผลิตไข่ไก่เชิงออกแบบ (Designer egg) ที่มีการสะสมโภชนาการและสารที่มีสมบัติเชิงหน้าที่ (Functional ingredient) สู่การเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ (Healthy food) สำหรับผู้บริโภคและการเพิ่มมูลค่าของไข่ไก่ในอนาคต



A. Hemp inflorescences

B. Hemp seed

C. Hemp seed oil

Figure 1 Hemp

Source: สยาม (มมป.)⁹ (A.) Medthai (2015)¹⁰ (B.) และ Wan (2017)¹¹ (C.)

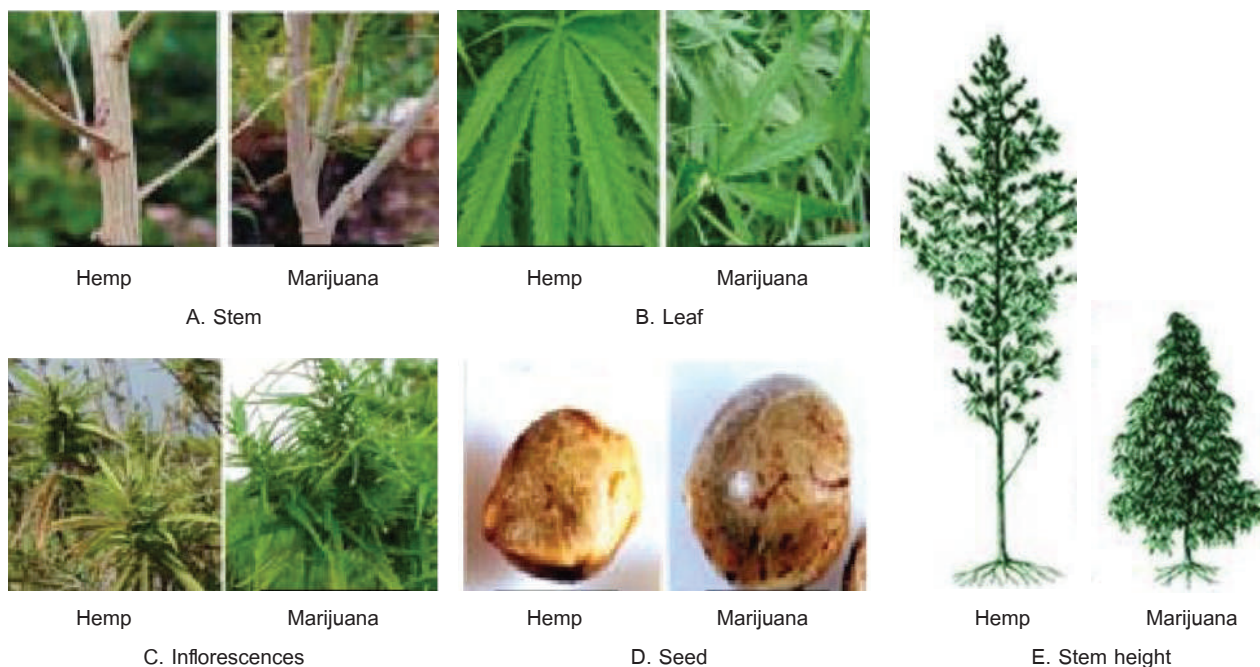


Figure 2 The difference between hemp and marijuana
Source: สยาม (มมป.)⁹ (A. B. C. and D.) และ MedThai¹² (E.)

Table 1 Morphological and chemical characteristic of hemp and marijuana

ลักษณะ	กัญชง	กัญชา
ลำต้น	ลำต้นสูงเรียวยาวประมาณ 2 เมตร การแตกกิ่งน้อย มีข้อปล้องยาว เปลือกหนา ให้เส้นใยยาวและคุณภาพสูง	ลำต้นเตี้ยเป็นพุ่มกว้าง การแตกกิ่งมาก มีข้อปล้องสั้น เปลือกบาง ไม่เหนียว ลอกยาก ให้เส้นใยสั้นและคุณภาพต่ำ
เส้นใย	ลำต้นให้เส้นใยประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์	ลำต้นให้เส้นใยประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์
ใบ	ใบใหญ่มีสีเขียวอ่อนหรือสีเขียวอมเหลือง ใบมี 7 ถึง 11 แฉก ใบเรียงตัวห่างทำให้ทรงพุ่มมีความโปร่ง	ใบเล็กแคบเรียวยาวมีเขียวจัด ใบมี 5 ถึง 7 แฉก (กัญชาหางกระรอก มี 5 แฉก) ใบเรียงตัวชิดกัน ทำให้ทรงพุ่มแน่นทึบไม่โปร่งแสง
ดอก	ดอกมีอายุมากกว่า 4 เดือน ช่อดอกมีขนาดเล็ก มีปริมาณ THC ประมาณ 0.1 ถึง 7.0 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ไม่นิยมนำใบและช่อดอกตัวเมียมาสูบ เนื่องจากทำให้มีอาการปวดหัว	ดอกมีอายุประมาณ 3 เดือน ช่อดอกมีขนาดใหญ่ มีปริมาณ THC ประมาณ 1 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้นิยมนำใบและช่อดอกตัวเมียมาสูบเนื่องจากมีกลิ่นหอมและออกฤทธิ์ทำให้เคลิบเคลิ้ม
เมล็ด	เมล็ดขนาดใหญ่ ผิวหยาบด้าน มีลายเล็กน้อย	เมล็ดขนาดเล็ก ผิวมันวาว มีลาย
ราก	รากเป็นระบบรากแก้ว มีรากแขนงจำนวนมาก	รากเป็นระบบรากแก้ว มีรากแขนงจำนวนมาก

Source: องค์การเภสัชกรรมและภาคีเครือข่าย (2561)¹³

กัญชง

กัญชงจัดเป็นพืชวงศ์ Cannabaceae ในสกุลกัญชา (*Cannabis*) ซึ่งพืชสกุลนี้มีทั้งหมด 3 ชนิด คือ กัญชง (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) กัญชา (*Cannabis sativa* subsp. *indica*) และ *Cannabis ruderalis* ที่เป็นวัชพืชในยุโรป⁹ ทั้งนี้กัญชงลักษณะทางพฤกษศาสตร์คล้ายคลึงกับกัญชา ดังแสดงใน Figure 1 และ Figure 2 หากแต่กัญชงมีสาร THC ในปริมาณน้อยจึงไม่จัดเป็นสารเสพติดเหมือนกัญชา¹² โดยองค์การเภสัชกรรมและภาคีเครือข่าย (2561)¹³ จำแนกลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) และสารพฤกษเคมี (Phytochemistry) ของพืชกัญชาและกัญชงดังรายละเอียดแสดงใน Table 1

ทั้งนี้ลักษณะโดยทั่วไปของกัญชงมักมีลำต้นที่สูงเรียวมีความสูงมากกว่า 2 เมตร ใบใหญ่ ขอบด้านข้างของแฉกใบย่อยโค้งกว้าง ใบสีเขียวอมเหลือง เมื่อออกดอกช่อดอกจะมียางไม่มากและมีสาร THC ต่ำกว่า 0.3 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในทางกฎหมายสากลจึงไม่ถือว่ากัญชงเป็น สารเสพติดเนื่องจากมีสารออกฤทธิ์ที่กระตุ้นประสาทน้อยมาก¹⁴ นอกจากนี้เปลือกกัญชงยังให้เส้นใยคุณภาพสูง มีลักษณะอ่อนนุ่ม เหนียว ทนทาน แข็งแรง และเป็นเส้นใยที่ยาวสามารถนำไปแปรรูปในเชิงอุตสาหกรรม เช่น สิ่งทอ กระดาษ เป็นต้น อีกทั้งส่วนแกนของต้นกัญชงสามารถดูดซับกลิ่นได้ดี ในส่วนของเมล็ดกัญชง มีลายประสีน้ำตาล ผิวเรียบมัน¹⁵ และมีคุณค่าทาง

โภชนาการสูงเหมาะสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางหรือการผลิตอาหาร เช่น การใช้เป็นเมล็ดพืช น้ำมันและการสกัดน้ำมัน ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร นมจากเมล็ดกัญชง และผลิตเป็นแป้งทดแทนถั่วเหลือง⁸

โดยในประเทศไทยสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ พระบรมราชชนนีพันปีหลวง ทรงพระราชเสาวนีย์ในการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกกัญชงในพื้นที่ตำบลพบพระ อำเภอพบพระ จังหวัดตาก เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในครัวเรือนและการผลิตเครื่องนุ่งห่ม¹⁷ นอกจากนี้มูลนิธิโครงการหลวงและสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ยังสนองตอบพระราชเสาวนีย์ในการวิจัยและคัดเลือกพันธุ์กัญชงเพื่อให้มีสาร THC ต่ำ ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบ Mass selection ทำให้ได้กัญชงจำนวน 4 พันธุ์ คือ RPF1, RPF2, RPF3 และ RPF4 ที่ได้รับการขึ้นทะเบียนพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2554 ดังแสดงใน Table 2¹⁸ โดยในปัจจุบันการปลูก กัญชงในประเทศไทยอย่างถูกต้องตามกฎหมายต้องได้รับอนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุข ก่อนการปลูกโดยไม่มีการยกเว้นและยังไม่สามารถปลูกได้อย่างเสรี ทั้งนี้ในปัจจุบันยังจำกัดให้เฉพาะหน่วยงานรัฐเป็นผู้ขออนุญาตเท่านั้น โดยในส่วนของประชาชนทั่วไปสามารถขออนุญาตปลูกได้ตามแนวทาง คือ ครอบครัพละ ไม่เกิน 1 ไร่ ภายหลังจากที่กระทรวงสาธารณสุขมีการประกาศอนุญาตต่อไป¹⁹

Table 2 Characteristic of hemp breed in Thailand

Characteristic of hemp breed	RPF1	RPF2	RPF3	RPF4
THC content (% of weight)	0.3	0.3	0.3	0.3
CBD content (% of weight)	0.5	0.5	0.5	0.5
Seed width (mm)	4.47	4.11	4.50	4.49
Seed height (mm)	5.11	4.89	5.21	5.13
Seed thickness (mm)	3.75	3.52	3.86	3.69
1,000 seed weight (g)	34.20	30.87	34.40	30.93
Stem height (m)	3.16-4.67	2.65-4.90	2.81-5.40	2.73-4.42

Source: สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) (มมป.)¹⁸

องค์ประกอบทางโภชนาของกัญชง เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบอาหารไก่ไข่

ปัจจุบันมีการนำเมล็ดกัญชงมาสกัดเป็นน้ำมันเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องสำอาง จึงทำให้มีเศษเหลือทิ้งจากการสกัดน้ำมัน ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยศึกษาการใช้ประโยชน์จากกัญชงและเศษเหลือทิ้งเพื่อพัฒนาเป็นอาหาร

ไก่ไข่ 5 รูปแบบ เช่น เมล็ดกัญชง (Whole hemp seed) เมล็ดกัญชงกระเทาะเปลือก (Dehulled hemp seed) เปลือกเมล็ดกัญชง (Hemp seed hull) น้ำมันเมล็ดกัญชง (Hemp seed) และกากเมล็ดกัญชง (Hemp seed meal/cake) ซึ่งแสดงคุณค่าทางโภชนาการของเมล็ดกัญชงและเศษเหลือทิ้งจากเมล็ดกัญชง ดังแสดงใน Table 3

1. ไขมันในเมล็ดกัญชง

เมล็ดกัญชงประกอบไปด้วยน้ำมัน 31 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ และน้ำมันกัญชงมีพลังงาน (Apparent metabolizable energy AME_n) ประมาณ 8,812.00 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม^{20, 21} ซึ่งจัดเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว ประมาณ 3 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทั้งนี้ เมล็ดกัญชงมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาวเชิงซ้อน (Polyunsaturated fatty acids ; PUFAs) ประมาณ 75 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของไขมันทั้งหมด ได้แก่ กรดลิโนเลอิก ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ กรดแอลฟาไลโนเลนิก ประมาณ 17 ถึง 19 เปอร์เซ็นต์ และกรดแกมมาลิโนเลอิก (Gamma linoleic) ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงใน Table 4 นอกจากนี้กัญชงยังเป็นแหล่งของกรดไขมัน โอเมก้า 3 และ 6²² ที่มีสัดส่วนของกรดไขมัน โอเมก้า 3 ต่อโอเมก้า 6 ประมาณ

2.5 ต่อ 1²⁰ ถึง 3 ต่อ 1 โดยกรดไขมันโอเมก้ามีประโยชน์ดังนี้

1.1 กรดไขมันโอเมก้า 3 เช่น กรดแอลฟาไลโนเลนิก EPA และ DHA เป็นต้น สามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดช่วยเพิ่มไลโปโปรตีนประเภทความหนาแน่นสูง (High density lipoprotein: HDL) ยังช่วยลดคอเลสเตอรอล (Cholesterol) และ ไตรกรีเซอไรด์ (Triglyceride) ในเลือด รวมถึงป้องกันโรคมะเร็งและโรคข้ออักเสบได้²³

1.2 กรดไขมันโอเมก้า 6 เช่น กรดลิโนเลอิก และ กรดอะราชิโดนิก (Arachidonic acid) เป็นต้น สามารถช่วยรักษาโครงสร้างของเซลล์ผิวหนังและเยื่อต่างๆ ทำให้เลือดแข็งตัว (Thromboxane) และสามารถช่วยละลายลิ่มเลือด (Prostacyclin)²⁴

Table 3 Nutrients composition of hemp

Nutrients composition (%)	Hemp seed		Dehulled hemp		Hemp meal		Hemp seed hull	
	Sandison (2017) ²⁵	Callaway (2004) ²⁰	Sandison (2017) ²⁵	Sandison (2017) ²⁵	Callaway (2004) ²⁰	Callaway (2004) ²⁰	Sandison (2017) ²⁵	
Dry matter	94.10	93.50	95.10	92.60	94.40	94.90		
Moisture	6.50	6.50	5.40	6.80	5.60	5.10		
Crude protein	24.10	24.80	32.30	31.70	33.50	12.70		
Ether extract	31.10	35.5	45.40	11.80	11.10	10.30		
Ash	6.20	7.20	6.10	7.00	7.20	3.90		
Carbohydrate	-	27.60	-	-	42.60	-		
Total dietary fiber	-	27.60	-	-	42.60	-		
Digestible fiber	-	5.40	-	-	16.40	-		
Non-digestible fiber	-	22.20	-	-	26.20	-		
Neutral detergent fiber	35.00	-	7.80	38.90	-	64.90		
Gross energy (MJ/KG)	23.70	22.00	23.90	17.00	17.00	20.20		
Source:	Sandison (2017) ²⁵	Callaway (2004) ²⁰	Sandison (2017) ²⁵	Sandison (2017) ²⁵	Callaway (2004) ²⁰	Sandison (2017) ²⁵		

Table 4 Fatty acid in hemp seed

Fatty acid (% of oil)	Hemp seed oil			
	Leizer <i>et al.</i> (2000) ²⁶	Callaway (2004) ²⁰	Bazdidi <i>et al.</i> (2016) ¹⁵	Sandison (2017) ²⁵
Palmitic acid (C _{16:0})	5.00-7.00	5.00	7.40	6.50
Steric acid (C _{18:0})	3.00-4.00	2.00	2.90	2.40
Oleic acid (C _{18:1})	8.00-13.00	9.00	15.00	10.80
Linoleic acid (C _{18:2})	52.00-62.00	56.00	56.00	55.30
Gamma-linolenic acid (C _{18:3})	3.00-4.00	4.00	1.70	3.10
Alpha-linolenic acid (C _{18:3})	8.00 -13.00	22.00	16.30	19.80
Stearidonic acid (C _{18:4})	-	2.00	-	1.40
PUFA	-	84.00	-	4.50
Source:	Leizer <i>et al.</i> (2000) ²⁶	Callaway (2004) ²⁰	Bazdidi <i>et al.</i> (2016) ¹⁵	Sandison (2017) ²⁵

2. โปรตีนในเมล็ดักัญชง

เมล็ดักัญชงประกอบไปด้วยโปรตีน 24 เปอร์เซ็นต์ และมีอัตราการย่อยได้ของโปรตีน (Crude protein digestibility) 85 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์^{20,21} ทั้งนี้โปรตีนในเมล็ดักัญชงประกอบด้วย อัลบูมิน (Albumin) และ อีเดสติน (Edestin) ประมาณ 35 และ 65 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ²⁸ ดังแสดงใน Figure 3 โดยอัลบูมินจัดเป็นโปรตีนโกลบูลินคุณภาพสูงที่สามารถย่อยได้สูงและเป็นแหล่งสำคัญของ Free radical scavengers ส่วนอีเดสตินเป็นโปรตีนโกลบูลินที่พบในักัญชงเท่านั้นมีคุณสมบัติในการช่วยซ่อมแซม DNA ช่วยในระบบภูมิคุ้มกันใช้ในการผลิตแอนติบอดี ฮอร์โมน และเอนไซม์ ทั้งนี้ักัญชงประกอบไปด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและเป็นโปรตีนคุณภาพสูงเทียบเท่ากับไข่ขาวและ ถั่วเหลือง^{21,27} ดังแสดงใน Table 5

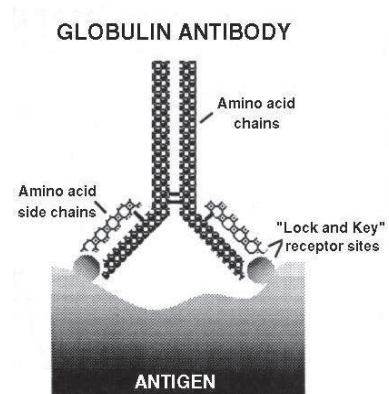
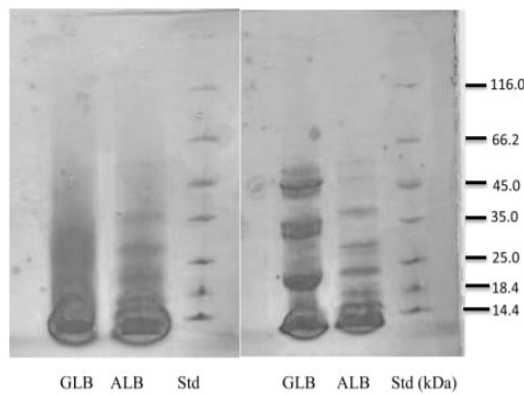
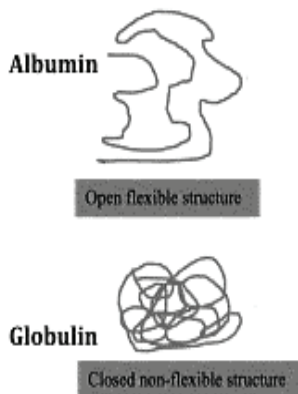
3. คาร์โบไฮเดรตในเมล็ดักัญชง

เมล็ดักัญชงมีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 27.60 เปอร์เซ็นต์ และ เยื่อใยรวม 27.60 เปอร์เซ็นต์ แบ่งเป็น เยื่อใยที่ย่อยได้และเยื่อใยที่ย่อยไม่ได้ประมาณ 5.40 และ 22.22 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ²⁰ ทั้งนี้เยื่อใยส่วนใหญ่จัดเป็นโครงสร้างของผนังเซลล์พืช ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเยื่อใยอาหาร (Dietary

fiber) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพคติน และ ลิกนิน เป็นต้น ซึ่งมีหลายงานวิจัยอธิบายประโยชน์ของเยื่อใยอาหารต่อการพัฒนาต่อทางเดินอาหาร²⁸ และการที่อาหารมีเยื่อใยต่ำยังสามารถเพิ่มอุบัติการณ์ความผิดปกติของลำไส้ (Incidence of enteric disorders)²⁹ นอกจากนี้ยังมีรายงานถึงประโยชน์ของเยื่อใยอาหารในการพัฒนาสมรรถภาพการผลิตและการย่อยได้ของสัตว์ปีก²⁹ การพัฒนากระเพาะบด²⁸ การผลิตเอนไซม์³⁰ ทั้งนี้ปริมาณเยื่อใยระดับปานกลางสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตและการย่อยได้ของสัตว์ปีกในช่วงแรกเกิดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อใช้ร่วมกับแหล่งไขมันอิ่มตัว³¹

4. แร่ธาตุและวิตามินในเมล็ดักัญชง

เมล็ดักัญชงประกอบด้วยวิตามิน 3 ชนิด คือ วิตามินอี วิตามินบี 1 และ วิตามินบี 2 ประมาณ 90.00, 0.40, และ 0.10 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้เมล็ดักัญชงยังมีแร่ธาตุเป็นองค์ประกอบหลายชนิด เช่น ฟอสฟอรัส โปรแตสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก โซเดียม และแร่ธาตุอื่นๆ ประมาณ 1,160.00, 859.00, 483.00, 145.00, 14.00, 12.00 และ 16.00 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม ตามลำดับ^{25,20}



A. Albumin and Globulin in hemp

B. Globulin antibody

Figure 3 Protein in hemp

Source: Malomo and Aluko (2014)³² (A.) และ Osburn (1992)²⁷ (B.)

Table 5 Amino acid and protein in hemp

Amino acid and protein in hemp (%)	Amino acid in hemp				Protein in hemp	
	Hemp seed	Dehulled hemp	Hemp meal	Hemp seed hull	Albumin	Globulin
Histidine	1.20	1.42	1.25	1.30	3.68	3.87
Isoleucine	1.20	1.27	1.33	0.96	2.02	2.86
Leucine	0.94	0.90	0.91	0.89	4.05	5.57
Lysine	0.62	0.61	0.58	0.50	7.37	3.69
Methionine + Cystine	1.63	1.77	1.60	0.90	4.94	7.39
Phenylalanine+Tyrosine	1.13	1.20	1.13	1.02	3.34	6.68
Threonine	1.23	1.04	1.02	0.85	4.63	2.60
Tryptophan	0.87	0.96	0.91	0.52	0.16	0.34
Valine	1.36	1.42	1.40	1.59	2.90	3.41
Glycine	-	-	-	-	8.26	4.10
Serine	-	-	-	-	5.12	5.73
Glutamic acid	-	-	-	-	20.37	21.48
Proline	-	-	-	-	3.82	3.87
Aspartic acid	-	-	-	-	7.93	9.47
Arginine	-	-	-	-	12.82	16.12
Alanine	-	-	-	-	3.91	2.84
Aromatic amino acids ^a	-	-	-	-	3.50	7.02
Hydrophobic amino acid ^b	-	-	-	-	17.82	22.07
Source:	Sandison (2017)²⁵				Malomo and Aluko (2014)³²	

^a Aromatic amino acids: Tyr, Phe, and Trp.

^b Hydrophobic amino acid: Ala, Cys, Val, Met, Ile, and Leu.

สารพฤกษเคมีสำคัญในกัญชงสำหรับไก่ไข่

กัญชงมีสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ (Cannabinoids) เป็นองค์ประกอบ จัดเป็นสารประกอบ Terpeno-phenolic ที่ไม่มีขั้วและละลายได้ดีในไขมัน ทั้งนี้เมื่อสูดดมเข้าสู่ร่างกายจะสามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และตัวกั้นระหว่างเลือดกับสมอง (Blood brain barrier) ได้ ทั้งนี้สารกลุ่มแคนนาบินอยด์ที่สำคัญในกัญชงประกอบด้วยสาร THC ที่สามารถออกฤทธิ์ต่อระบบประสาททำให้รู้สึกผ่อนคลายและมีความสุขและสาร Cannabinol (CBN) ที่เกิดจากการสลายตัวของ THC มีฤทธิ์กล่อมประสาท ทั้งนี้ปริมาณ THC ที่สูงขึ้นในกัญชงจะแปรผกผันต่อปริมาณของ CBN ในกัญชง นอกจากนี้ยังพบสารกลุ่มแคนนาบินอยด์ที่ไม่มีฤทธิ์ทางประสาท 3 ชนิด คือ สาร Cannabidiol (CBD) ที่สามารถยับยั้งการทำงานของ THC รวมถึงสาร Cannabichromene (CBC) และ สาร Cannabigerol (CBG)²⁵ ดังแสดงใน Figure 4 นอกจากนี้ในกัญชงยังพบน้ำมันระเหยอีกหลายชนิด เช่น Cannabichromenic acid ฟลาโวนอยด์ และ เทอร์ปีน เป็นต้น รวมถึงเลซิติน และโคลีน ทั้งนี้สารกลุ่ม cannabinoids terpenes และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายอื่นๆ พบมากที่สุดในส่วนช่อดอกตัวเมียซึ่งถูกขับออกมาโดย Grandular trichomes ในรูปเรซินหรือสารเหนียว³³

ปัจจุบันมีการนำสารพฤกษเคมีของกัญชงและกัญชามาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ เช่น Cannabidiol คือ สารออกฤทธิ์แคนนาบินอยด์ที่ระเหยเป็นไอที่อุณหภูมิต่างๆ สำหรับต้าน Human immunodeficiency virus (HIV) และ แก้วปวด รวมถึงสาร Cannabidiol (CBD) คือ สารออกฤทธิ์แคนนาบินอยด์หลักจากกัญชาที่ถูกนำมาใช้สำหรับคลายความกังวลและลดการเกิดต้อหิน นอกจากนี้ยังมีการใช้สาร THC คือ สารออกฤทธิ์แคนนาบินอยด์หลักจากกัญชาสำหรับแก้ปวด ทูเรตต์ซินโดรม (Tourette syndrome) ภาวะกล้ามเนื้อเกร็ง HIV และลดการเกิดต้อหิน ส่วนสาร THC/CBD คือ ส่วนผสมของ CBD และ THC สามารถใช้สำหรับรักษาภาวะกล้ามเนื้อเกร็ง นอกจากนี้สาร Dronabinol หรือ THC สังเคราะห์ ถูกใช้สำหรับแก้อาการคลื่นไส้ อาเจียน ภาวะกล้ามเนื้อเกร็ง อาการปวดและนอนไม่หลับ อีกทั้งยังมีการใช้สาร Nabilone คือ อนุพันธ์ของ แคนนาบินอยด์สังเคราะห์ที่มีฤทธิ์ต้าน THC เพื่อรักษาภาวะกล้ามเนื้อเกร็ง HIV อาการปวด นอนไม่หลับและคลื่นไส้ อาเจียน รวมถึงการใช้สาร Nabixmols ที่ประกอบด้วย 25 mg THC และ 25 mg CBD ใน 1 มิลลิลิตร สำหรับการรักษาภาวะกล้ามเนื้อเกร็ง อาการปวด และ คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น³⁴

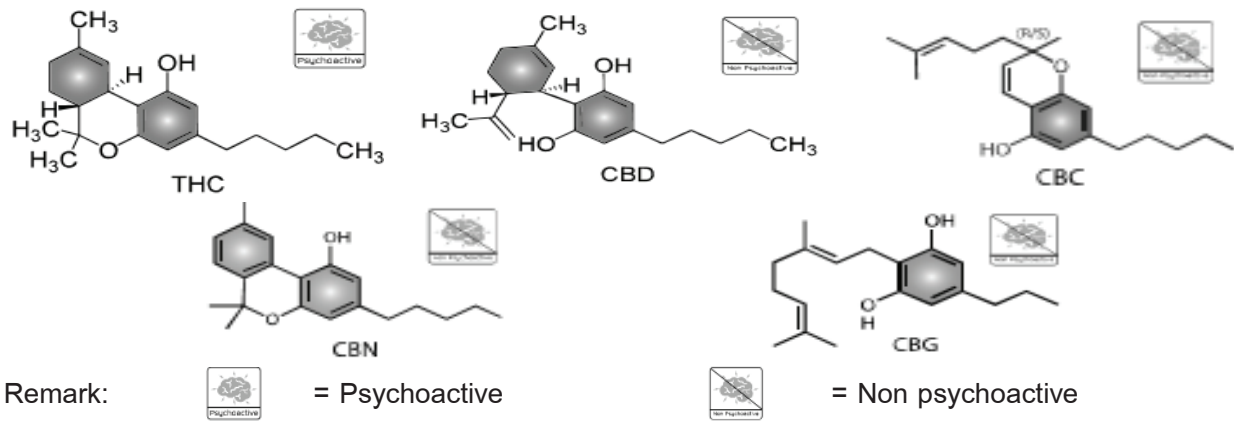


Figure 4 Cannabinoids in hemp

Source: องค์การเภสัชกรรม (2561)³⁵

แนวทางการประโยชน์จากสารพิษจากเคมีของกัญชงต่อการเลี้ยงไก่ไข่

สาร Cannabinoids ในกัญชงสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ สารกลุ่ม Phytocannabinoids ที่พบในพืชตระกูลกัญชง และกัญชาตามธรรมชาติ สารกลุ่ม Cannabinoids สังเคราะห์ (Synthetic cannabinoids) ทางห้องปฏิบัติการ และ สารร่างกายสร้างขึ้น คือ Endocannabinoids หรือ Endogenous cannabinoids อันเป็นผลพลอยได้ของสมองและสามารถพบได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น anandamide (AEA) กรดไขมันโอเมก้า 3 และ 6 เป็นต้น ทั้งนี้สาร Cannabinoids ทั้ง 3 ชนิดสามารถจับกับ Cannabinoid receptor (CB receptor) โดย Anandamide (Arachidonyl-ethanolamide: AEA) และ 2 Arachidonoyl-glycerol (2-AG) เป็นสาร Endocannabinoids ที่สำคัญในร่างกาย ทั้งนี้ Endocannabinoid system (ECS) มีบทบาทสำคัญต่อการควบคุมสมดุลของพลังงานในร่างกาย โดยการควบคุมปริมาณการกินได้ผ่านระบบประสาทส่วนกลาง และควบคุมการสร้างไขมันผ่านระบบประสาทส่วนปลาย ทั้งนี้ การจับของ Endocannabinoid ที่ CB1 receptor ในระบบประสาทส่วนกลางบทบาทต่อการควบคุมการกินอาหาร ความอึด ความจำ ความเจ็บปวด การติดยา และการเคลื่อนไหว อีกทั้งยังสามารถจับกับ CB1 receptor ที่อวัยวะต่างๆ เช่น ตับ กล้ามเนื้อ ทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อไขมัน และ Islets of langerhans ของตับอ่อน ซึ่งมีผลต่อการรักษาสมดุลของพลังงานในร่างกายผ่านการควบคุมกระบวนการเมแทบอลิซึมของไขมันและกลูโคส นอกจากนี้ Endocannabinoid สามารถจับที่ CB2 receptor ในระบบภูมิคุ้มกันมีผลต่อการควบคุมการหลั่ง cytokine ในระบบภูมิคุ้มกัน³⁶ จากคุณสมบัติของสารออกฤทธิ์สำคัญในกัญชงข้างต้น จึงมีแนวคิดในการใช้ประโยชน์จากกัญชงในการเลี้ยงไก่ไข่ ดังนี้

1. การใช้ประโยชน์ในการผ่อนคลายการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อขณะที่เกิดอาการบาดเจ็บและอักเสบจากการจัดการสัตว์ในฟาร์ม เช่น เกิดบาดแผลอันเกิดจากการกัดกัน การตัดปากไก่ การรักษาโรคเจ็บป่วยเรื้อรัง ฝักอักเสบ ข้อเท้าบวม คอและหน้าบวม ลดอาการคลื่นไส้ อาเจียนและอาการเกร็งของกล้ามเนื้อหรืออาการชัก เป็นต้น

2. การใช้ประโยชน์ในการกระตุ้นการกินอาหารและการลดความตึงเครียดในสภาวะต่างๆ เช่น สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะในฤดูร้อน การเลี้ยงในสภาพที่มีความหนาแน่นสูง และผ่อนคลาย เมื่อมีการจัดการสัตว์ที่เสี่ยงต่อการเกิดความเครียดต่างๆ เช่น การเคลื่อนย้าย การจับเพื่อทำวัคซีน และก่อนหรือระหว่าง การขนส่ง เป็นต้น

แนวทางในการใช้ประโยชน์จากกัญชงในอาหารไก่ไข่กับภาวะการบริโภครอาหารเพื่อสุขภาพ

แนวคิดเกี่ยวกับอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ (Healthy food) กำเนิดมาจากประเทศญี่ปุ่น ในปี 1970 และพัฒนาเป็นอาหารฟังก์ชัน (Functional food) ในปี 1985 ทั้งนี้การนิยามความหมายของอาหารฟังก์ชันอย่างหลากหลาย^{37, 38} ได้แก่

1. อาหารส่งเสริมสุขภาพที่มีประโยชน์มากกว่าอาหารดั้งเดิม
2. อาหารที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพนอกเหนือจากโภชนาการที่ได้รับในชีวิตประจำวัน
3. อาหารที่มีส่วนประกอบตามธรรมชาติหรืออาหารที่มีเพิ่มสารอาหารให้มากขึ้นเพื่อส่งเสริมสุขภาพเมื่อบริโภคในปริมาณที่เหมาะสมในชีวิตประจำวัน
4. อาหารที่มีส่วนประกอบที่มีประโยชน์ต่อกระบวนการทำงานของร่างกายและสุขภาพนอกเหนือจากการเป็นโภชนาการพื้นฐาน

5. อาหารที่มีโภชนาที่ถูกรับเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไปเพื่อประโยชน์ต่อสุขภาพ

ปัจจุบันมีการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตไข่ไก่ที่มีโภชนาที่เหมาะสมต่อสุขภาพของผู้บริโภค โดยอาศัยแนวคิดการออกแบบไข่ไก่ด้วยการปรับสูตรอาหารสัตว์ด้วยวัตถุดิบชนิดต่างๆ เช่น น้ำมันปลา สาหร่าย และ ฟิชไขมัน เป็นต้น เพื่อไข่ไก่สะสมโภชนาหรือสารอาหาร เชิงหน้าที่ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ได้ต่อตัวไก่และผู้บริโภคนอกเหนือจากการให้โภชนาพื้นฐาน³⁸ ซึ่งไข่ไก่เหล่านี้ถูกเรียกว่า ไข่ไก่เพื่อสุขภาพ (Healthy egg) ไข่ไก่ฟังก์ชัน (Functional egg) หรือ ไข่ไก่เชิงออกแบบ (Designer egg) ทั้งนี้ผลผลิตไข่ไก่ประมาณ 3 ถึง 5% ในท้องตลาด คือ ไข่ไก่เชิงออกแบบที่ปรับปรุงโภชนา เช่น การลดปริมาณคอเลสเตอรอล การปรับองค์ประกอบกรดไขมันในไข่ไก่ การสะสมกรดไขมันจำเป็น รวมถึงกรดไขมันโอเมก้า 3 โอเมก้า 6 และโอเมก้า 9 ในไข่ไก่เพื่อเป็นอาหารส่งเสริมสุขภาพและลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ ของผู้บริโภค เช่น ความดันโลหิตสูง โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคทางประสาทวิทยา และการบำรุงสมอง เป็นต้น⁴⁰ ทั้งนี้จากคุณสมบัติด้านโภชนาการของกัญชงชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของกัญชงในการเป็นวัตถุดิบแห่งอนาคตสำหรับการใช้ประโยชน์ในการเลี้ยงไก่ไข่ทั้งต่อการปรับปรุงสมรรถนะ การผลิต รวมถึงการผลิตไข่ไก่ที่มีการสะสมโภชนาที่มีประโยชน์เพื่อผลิตเป็นไข่ไก่เพื่อสุขภาพ

การประโยชน์จากกัญชงเป็นอาหารไก่ไข่ต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพของไข่ไก่

กัญชงอุดมไปด้วยโปรตีนและกรดไขมันที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของสัตว์ โดยการเมแทบอลิซึมโปรตีนและกรดไขมันจากกัญชงเป็นกรดอะมิโนและพลังงานในรูปของ ATP เพื่อในการดำรงชีพและการให้ผลผลิตไข่ของไก่ไข่⁴¹ ทั้งนี้มีหลายงานวิจัยชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการใช้กัญชงในอาหารไก่ไข่ในหลายรูปแบบ กล่าวคือ

1. การใช้เมล็ดกัญชงในอาหารไก่ไข่ พบว่า สามารถใช้เมล็ดกัญชงทดแทน การใช้กากถั่วเหลืองและข้าวสาลีที่ระดับ 0 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารโดยไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัวอัตราการไข่ และน้ำหนักไข่ รวมถึงไม่มีผลกระทบต่อมวลไข่และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม⁵ นอกจากนี้การเสริมเมล็ดกัญชง 0 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไข่แดง ไข่ขาว และเปลือกไข่ รวมถึง Haugh unit และ ค่าคะแนนสีของไข่แดง¹⁵ อีกทั้งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาเปลือกไข่ ค่าความถ่วงจำเพาะ และความสูงของไข่ขาว⁵

2. การใช้กากเมล็ดกัญชงในอาหารไก่ไข่ พบว่า การใช้กากเมล็ดกัญชงที่ระดับ 0-20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่

ไม่มีผลต่ออัตราการไข่ ปริมาณการกินได้ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม⁴³ รวมถึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวไก่⁴⁴ ทั้งนี้ระดับการใช้กากเมล็ดกัญชงที่ระดับ 0 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลกระทบต่อความสูงไข่ขาว น้ำหนักไข่ น้ำหนักไข่แดง น้ำหนักไข่ขาว และน้ำหนักเปลือกไข่⁴⁴

3. การใช้น้ำมันเมล็ดกัญชงในอาหารไก่ไข่ พบว่า การเสริมน้ำมันเมล็ดกัญชงที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่⁶ ไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัว น้ำหนักไข่ อัตราการไข่ มวลไข่ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม สอดคล้องกับ Neijet *et al.* (2014)⁴² รายงานถึงการใช้ไขมันเมล็ดกัญชง 4.5 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์เป็นแหล่งไขมันทดแทนไขมันข้าวโพดในอาหารไก่ไข่ รวมถึง Gakhar *et al.* (2011)⁶ รายงานถึงผลใช้น้ำมันเมล็ดกัญชงได้สูงถึง 12 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้ น้ำหนักตัว น้ำหนักไข่ อัตราการไข่ มวลไข่ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม นอกจากนี้การใช้น้ำมันเมล็ดกัญชง 0 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ไข่แดง ไข่ขาว เปลือกไข่ Haugh unit และค่าคะแนนสีของไข่แดง¹⁵ สอดคล้องกับ Neijet *et al.* (2014)⁴² ได้ศึกษาการใช้ไขมันเมล็ดกัญชง 4.5 และ 9.0 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่า ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของไข่

ทั้งนี้ Mierlita *et al.*, (2019)⁴⁵ ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้เมล็ดกัญชงและกากเมล็ดกัญชงในอาหารไก่ไข่ พบว่า ไก่ไข่ ที่ได้รับอาหารเมล็ดกัญชง 8.04 เปอร์เซ็นต์ ทดแทนกากถั่วเหลืองโดยไม่ใช้แหล่งไขมันมีน้ำหนักไข่และมวลไข่สูงกว่าไก่ไข่ที่ได้รับอาหารเมล็ดกัญชง 20.32 เปอร์เซ็นต์ทดแทนกากถั่วเหลืองโดยไม่ใช้แหล่งไขมันและไก่ไข่กลุ่มควบคุมที่มีกากถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนและใช้แหล่งไขมันน้ำมันเมล็ดทานตะวัน หากแต่การเสริมอาหารทั้ง 3 สูตรไม่มีผลต่อปริมาณการกินได้อัตราการไข่ ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นไข่ 1 กิโลกรัม รวมถึงคุณภาพทางกายภาพของไข่ คือ น้ำหนักไข่แดงและปริมาณไขมันในไข่แดง

การประโยชน์จากกัญชงเป็นอาหาร ไก่ไข่ต่อชีวเคมีในเลือดและองค์ประกอบของกรดไขมันในไข่แดง

น้ำมันกัญชงมีส่วนประกอบของสารกลุ่ม cannabinoids และอุดมไปด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 และโอเมก้า 6 จึงเหมาะสำหรับการนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ ทั้งนี้การทดลองโภชนาการต่างๆ โดยเฉพาะวัตถุดิบแหล่งไขมันในอาหารของไก่ไข่นิยมตรวจวัดค่าชีวเคมีในเลือดสามารถวัดได้จากซีรัมและพลาสมา เช่น การวัดคอเลสเตอรอลรวม

ไลโปโปรตีนความหนาแน่นสูง ไลโปโปรตีนความหนาแน่นต่ำ (Low density lipoprotein: LDL) ไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของการใช้วัตถุดิบแหล่งไขมันในอาหาร รวมถึง Aspartate aminotransferase (AST) และ Gamma glutamyltransferase (GGT) ที่นิยมตรวจวัดสำหรับการประเมินการทำงานของตับของไก่ ทั้งนี้จากงานวิจัยของ Bazdidi *et al.* (2016)¹⁵ ทำการทดลองใช้เมล็ดกัญชงทั้งหมด 5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบกับใช้น้ำมันเมล็ดกัญชง 2 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันเมล็ดกัญชง 6 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ LDL ปริมาณโปรตีนรวม และ AST ต่ำลง ทั้งยังส่งผลให้มีระดับ HDL สูงกว่าไก่ไขกลุ่มควบคุม สอดคล้องกับงานวิจัยของ Neijet *et al.* (2014)⁴² พบว่า การใช้เมล็ดกัญชงทั้งหมด 10 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ และ การใช้น้ำมันเมล็ดกัญชง 4.5 และ 9 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารไก่ไข่ ส่งผลต่อการลดลงของ AST และ GGT ในพลาสมาของไก่ไข่ เมื่อเปรียบเทียบกับไก่ไขกลุ่มควบคุม

ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงคอเลสเตอรอลในเลือดสามารถอธิบายเชิงวิทยาศาสตร์ เนื่องจากการทำงานของสาร Endogenous cannabinoids ที่สำคัญในร่างกายซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่สร้างจากสมองและสามารถพบได้ในกัญชง เช่น AEA, 2-AG, โอมิก้า 3 และ โอมิก้า 6 เป็นต้น โดยอาศัย

Endocannabinoid system (ECS) ที่ส่งผลต่อ Hypothalamus ในการกระตุ้น CB1 receptor โดยสาร AEA และ 2-AG มีผลต่อการเพิ่มการ Expression ของ Transcription factor SREBP-1C ส่งผลต่อกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ FAS และกระตุ้นการกินอาหาร³¹ อีกทั้ง ECS ยังมีบทบาทในการควบคุมการสร้างไขมัน (Lipogenesis) โดยผ่านทางระบบส่วนปลาย เช่น ตับและเซลล์ไขมัน เป็นต้น⁴⁶ จาก Figure 5 แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้น CB1 receptor ที่ตับ จาก CB1 agonist (HU210 และ Δ-9 THC) รวมถึงการเพิ่มปริมาณของไขมันในอาหารสามารถสร้าง N-arachidonoyl ethanolamine ผ่านการลดลงของ FAAH activity ซึ่งส่งผลต่อการสร้างไขมัน (De novo fatty acid synthesis) ที่เพิ่มขึ้น โดยอาศัยกลไกในการเพิ่มการ Expression ของ Transcription factor sterol regulatory element-binding protein-1c (SREBP-1c) ส่งผลให้มีการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์ต่างๆ สำหรับการสร้างไขมัน เช่น เอนไซม์ Acetyl coenzyme-A carboxylase-1 (ACC1) และ Fatty acid synthase (FAS)¹³ เป็นต้น ทั้งนี้การกระตุ้น CB1 receptor ที่เซลล์ไขมัน (Adipocytes) มีผลให้การทำงานของเอนไซม์ Lipoprotein lipase เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งมีความสำคัญในการกระบวนการสร้างไขมัน อย่างไรก็ตาม CB1 receptor มีผลต่อการสร้างไขมันที่เซลล์ไขมันค่อนข้างน้อยกว่าผลต่อการสร้างไขมันตับ³⁶

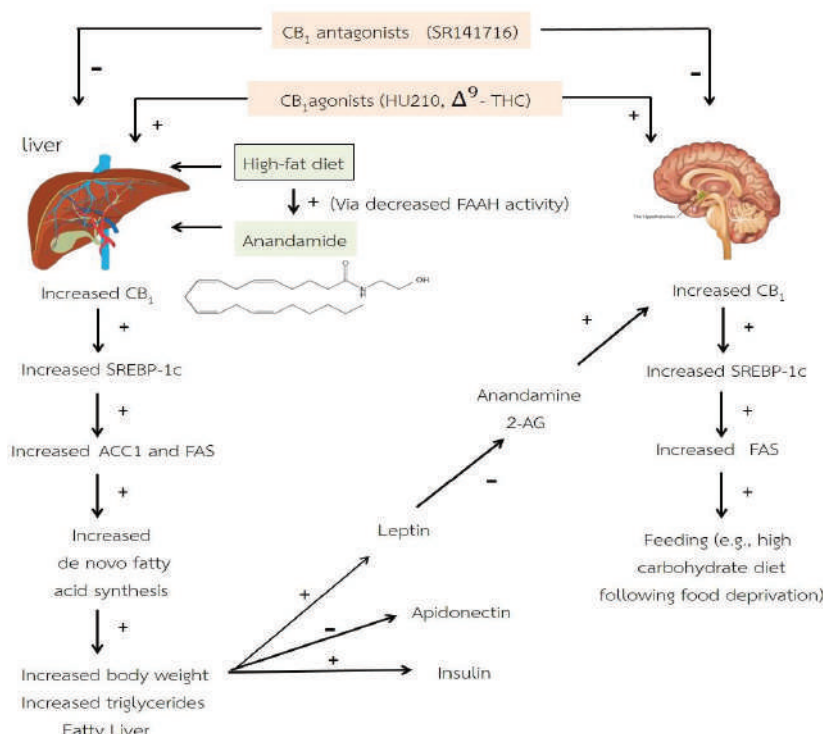


Figure 5 Effect of endocannabinoids on fatty acid synthesis
Source: Modified from วิมล (2009)³⁶

โดยกระบวนการสร้างกรดไขมันเพื่อเก็บสะสมหรือ แอนาบอลิซึมเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสร้างโดยใช้พลังงานมาจากกระบวนการ แคแทบอลิซึมซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ เซลล์มีพลังงานเพียงพอและมี Acetyl-CoA เพื่อนำไปสังเคราะห์เป็นกรดไขมันและเก็บสะสมไว้ในรูปของไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งเป็นองค์ประกอบมากที่สุดของไลโปโปรตีนชนิด ไคโลไมครอน ส่วนไลโปโปรตีนชนิด VLDL ทำหน้าที่ขนส่งไตรเอซิลกลีเซอรอลจากตับไปยังเนื้อเยื่อไขมัน ส่วน LDL ทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลที่สังเคราะห์จากตับไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ส่วน HDL ทำหน้าที่ขนส่งคอเลสเตอรอลส่วนเกินจากเนื้อเยื่อต่างๆ กลับมาสู่ตับ จากการวิจัยของ El-Sohemy and

Archer (1997)⁴⁷ พบว่า เมื่อสัตว์ได้รับอาหาร ω-3 PUFA การทำงานของไฮดรอกซี 3-3-Methylglutaryl coenzyme A (HMG-CoA) reductase จะส่งผลต่อการลดการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล (Choles-terogenesis) ทั้งนี้เอนไซม์ HMG CoA มีความเกี่ยวข้องกับวิถีการสังเคราะห์คอเลสเตอรอล กล่าวคือ เมื่อคอเลสเตอรอลในตับลดลงเอนไซม์ HMG-CoA reductase จะกระตุ้นให้เพิ่มการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลที่ตับใช้ไปและกระตุ้นการสร้าง LDL receptor ในตับและการนำคอเลสเตอรอลจากกระแสเลือดเข้าสู่เซลล์ตับ ส่งผลให้คอเลสเตอรอลในกระแสเลือดลดลง และการสะสมคอเลสเตอรอลลดลง ดังแสดงใน Figure 6

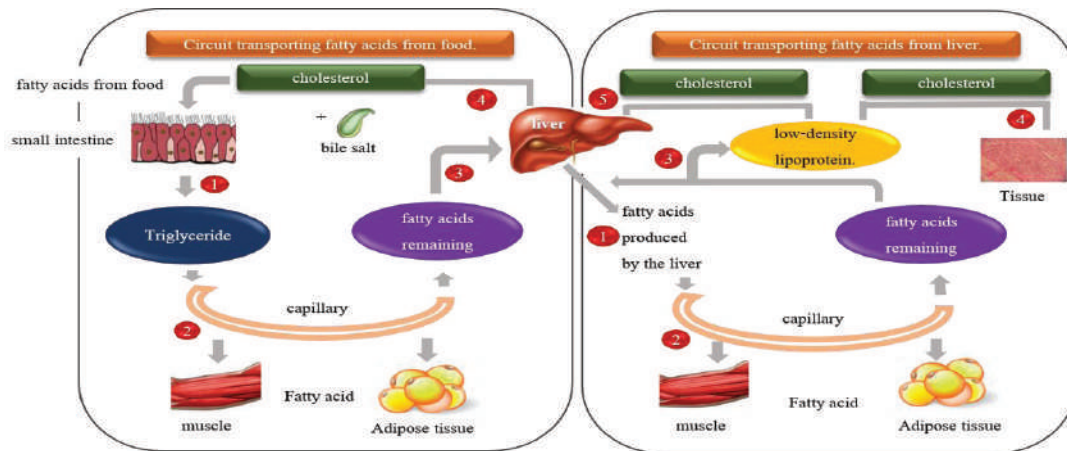


Figure 6 Process of lipid metabolism
Source: Modified from Anonymous (2552)⁴⁸

นอกจากนี้ยังหลายงานวิจัยที่แสดงให้เห็นถึงผลของการเสริมวิตามินซีในอาหารต่อการสะสมกรดไขมันที่เป็นประโยชน์ในไข่แดง Jing *et al.* (2016)⁵ ทดลองใช้น้ำมันเมล็ดกัญชงที่ระดับ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ และกัญชงโอเมก้าที่ 4 และ 8 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับ การเสริม น้ำมันเมล็ดกัญชงและกัญชงโอเมก้ามีการสะสมกรดไขมัน กรดไขมันไม่อิ่มตัว PUFAs, EPA, DPA, และ DHA ในไข่แดงสูงกว่าไก่ กลุ่มควบคุม สอดคล้องกับ Gakhar *et al.* (2011)⁵ พบว่า ไก่ไข่ที่ได้รับน้ำมันเมล็ดกัญชงในระดับ 4, 8 และ 12 เปอร์เซ็นต์ในอาหารมีการสะสม กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดอะโรมาติก EPA, DHA, และ กรดไขมันโอเมก้า 3 สะสมในไข่แดงสูงกว่าไก่กลุ่มควบคุม

ทั้งนี้ยังมีการศึกษาเปรียบเทียบผล การใช้เมล็ดกัญชง และกากเมล็ดกัญชงทดแทนกากถั่วเหลือง พบว่า สามารถเพิ่มการสะสม กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว กรดอะโรมาติก EPA, DHA, PUFAs, กรดไขมันโอเมก้า 3 และ กรดไขมันโอเมก้า 6 ในไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุม โดยการใช้เมล็ดกัญชงใน

อาหารไก่ไข่ส่งผลให้ มีการสะสมกรดไขมันโอเมก้า 3 ในไข่แดงสูงกว่าการใช้กากเมล็ดกัญชงในอาหารไก่ไข่⁴³ สอดคล้องกับ Silversides and Lefrançois. (2005)⁴⁴ ที่รายงานถึงผลการทดลองที่คล้ายคลึงกันกับ Silversides *et al.*, (2002)⁴⁴ พบว่า การเสริมกากกัญชง 5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ช่วยเพิ่มการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่ากลุ่มควบคุม ($P < 0.05$) รวมถึงการทดลองของ Gakhar *et al.* (2011)⁵ พบว่า การใช้เมล็ดกัญชงในระดับ 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ส่งผลให้มีการสะสมกรดไขมันไม่อิ่มตัว EPA, DHA, และกรดไขมันโอเมก้า 3 สะสมในไข่แดงสูงกว่ากลุ่มควบคุม

ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของกรดไขมันในไข่แดงที่พบนั้นสามารถอธิบายด้วยเหตุผลเชิงวิทยาศาสตร์ กล่าวคือ เมล็ดกัญชงประกอบด้วยกรดไขมันโอเมก้า 3 ต่อ กรดไขมันโอเมก้า 6 ในสัดส่วนของประมาณ 3 ต่อ 1 ทั้งนี้กรดไขมันโอเมก้า 3 ที่มีอยู่มากในกัญชง คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัว และกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งมีส่วนสำคัญในการเป็นสร้างตั้งต้นสำหรับการสร้างกรดไขมัน (Fatty acid biosynthesis) ที่

สำคัญ คือกรดไขมันสายยาวเชิงซ้อน EPA DHA และโอเมก้า 3 เกิดขึ้นในตับ⁴⁹ กล่าวคือ Spady (1993)⁵⁰ พบว่า กรดไขมันเชิงซ้อนสามารถสังเคราะห์เป็น EPA และ DHA ในตับและกรดไขมันที่สังเคราะห์แล้วสามารถขนส่งมาเก็บสะสมในไขแดง⁵¹ โดยสัตว์สามารถเปลี่ยนกรดไขมันเชิงซ้อนและกรดไขมันเชิงซ้อนไปเป็น

กรดอะราชิโดนิก (Arachidonic acid, C20:4 (Ω-6) โดยการสร้างพันธะคู่ (Desaturation) ในสายโซ่กรดไขมันออคัยเอโนไซม์ Δ-6-Desaturase ส่วนการเพิ่มความยาว (Elongation) ของสายโซ่กรดไขมันเกิดจากการต่อคาร์บอนเข้าที่ละคู่โดยออคัยเอมไซม์อีลองเกส (Elongase)⁵²

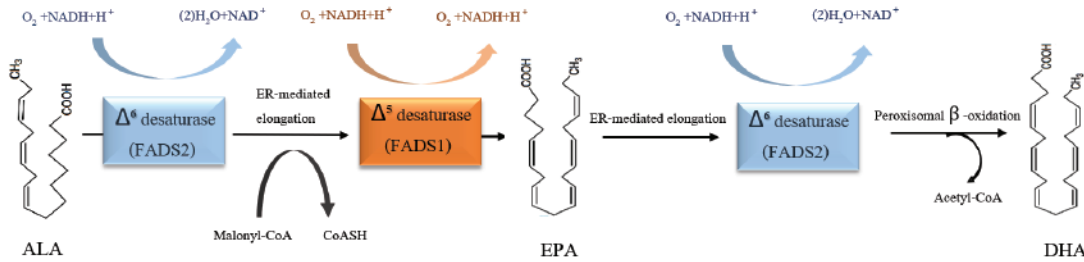


Figure 7 Process Of EPA and DHA synthesis form ALA
Source: Modified from King (2017)⁴⁴

ทั้งนี้ในสารตั้งต้นในการสังเคราะห์กรดไขมันสายยาวที่แตกต่างกันจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น กล่าวคือ หากมีกรดไขมันเชิงซ้อนเป็นสารตั้งต้นและออคัยเอโนไซม์ Δ-5-Desaturase ในการทำหน้าที่เติมพันธะคู่ให้กับกรดอะราชิโดนิกสามารถสร้างกรดไขมัน Eicosapentaenoic acid: EPA (C20: (Ω-5) และ Docosahexaenoic acid: DHA ตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกับการที่มีกรดไขมันเชิงซ้อนเป็นสารตั้งต้นและออคัยเอโนไซม์ Δ-5 Desaturase ทำหน้าที่สร้างพันธะคู่ให้กับกรดไขมัน C20:3 (Ω-7) จะสามารถสร้างได้เป็นกรดอะราชิโดนิก (C20:4 (Ω-6) เท่านั้น⁵³ ดังแสดงใน Figure 7 ทั้งนี้ไขแดงถูกสร้างและเจริญขึ้นจากรังไข่ (Ovary) ของแม่ไก่ ซึ่งนอกจากไขแดงจะมีส่วนของ Germinal disc แล้วไขแดงยังทำหน้าที่เป็นถุงอาหารสำหรับลูกไก่เพื่อใช้เป็นพลังงานสำรองในระหว่างการพัฒนาตัวภายในฟองไข่ตลอดช่วง 21 วันของกระบวนการฟัก ทั้งนี้บริเวณที่ผิวของถุงไขแดงจะมีเส้นเลือดจำนวนมากมาหล่อเลี้ยงและทำหน้าที่ขนส่งโภชนาสารต่างๆ จากแม่ไก่ เช่น ไขมัน โปรตีน แร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น เพื่อสะสมในไขแดง

สรุป

กัญชา (*Cannabis sativa L.*) มีส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพ คือ Δ-9 Tetrahydro-cannabinol (<0.3%) และสารพิษกัญชาเคมีกลุ่ม แคนนาบินอยด์ เช่น THC CBD และ CBN เป็นต้น นอกจากนี้ในเมล็ดกัญชวยังประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรต 32 ถึง 34 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 33 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนรวม 25 เปอร์เซ็นต์ และ เยื่อใย วิตามินและแร่ธาตุ 9 ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำมันเมล็ดกัญชวยังเป็นแหล่ง

ของกรดไขมันโอเมก้า 3 และ โอเมก้า 6 ประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดไขมันเชิงซ้อน กรดแอลฟาไลโนเลนิก EPA และ DHA เป็นต้น ทั้งนี้สามารถการใช้เมล็ดกัญชวยัง (20 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์) กากเมล็ดกัญชวยัง (20 เปอร์เซ็นต์) และ น้ำมันเมล็ดกัญชวยัง (9 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ในอาหารไก่ไข่ไม่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการผลิตและคุณภาพทางกายภาพของไข่ไก่ ทั้งนี้การใช้เมล็ดกัญชวยังหรือน้ำมันเมล็ดกัญชวยังในอาหารไก่ไข่สามารถลดระดับคอเลสเตอรอล ไลโปโปรตีน LDL และ AST ในเลือดของไก่ไข่ รวมถึงช่วยในการสะสมกรดไขมันที่มีประโยชน์ คือ กรดไขมันเชิงซ้อน กรดไขมันเชิงซ้อน และ กรดไขมัน โอเมก้า 3 ในไขแดง

เอกสารอ้างอิง

1. มณีสนันท์ นพรัตน์ไมตรี, อณัญญา ปานทอง, ธนชาติ ทองประสงค์, จักรกฤษ จันตรา, สิทธิศักดิ์ จินพงษ์พันธ์, ศรัณย์ หุ่นจันทร์ และ วราภรณ์ กิจพิพิธ. ผลการเสริมสารอิมัล ซีไฟเบอร์ที่ให้โภชนาในอาหารไก่ไข่ต่อการย่อยได้ ของโภชนา สมรรถภาพการผลิต ไลโปตีวิทยา และการผลิตไข่ไก่เพื่อสุขภาพ. แก่นเกษตร. 2561 ; 46(5): 887-900.
2. พูนศรี เลิศลักษณ์วงศ์. การบริโภคไข่. 2562 ; ได้จาก: <http://nutrition.anamai.moph.go.th>, 24 มกราคม 2562.
3. นิรนาม ไข่ไก่ล้นตลาด 4 ล้านฟองต่อวัน พณ.จ่อขง 'เอ็กบอร์ต' รับมือ. ไทยรัฐออนไลน์ ได้จาก <https://www.thairath.co.th/content/486322>, 23 เมษายน 2562.
4. พระราชบัญญัติยาเสพติดให้โทษ พ.ศ. 2562. เล่มที่ 136 ตอนที่ 19 ก. กรุงเทพฯ: ราชกิจจานุเบกษา ; 2562. หน้า 1-16.

5. Gakhar, E. and others. Effect of feeding hemp seed and hemp seed oil on laying hen performance and egg yolk fatty acid content: Evidence of their safety and efficacy of laying hen diets. *Poultry Science*. 2012 ; 91(3): 701-11.
6. Jing, S. and others. Performance and tissue fatty acid profile of broiler chickens and laying hens fed hemp oil and HempOmega™. *Poultry Science*, 2017 ; 96(6): 1809-1819.
7. วชิระ อ่ำพน และคณะ คู่มือพนักงานเจ้าหน้าที่ในการกำกับ ดูแล ซึ่งยาเสพติด ให้โทษประเภท 5 เฉพาะเฮมพ์ (Hemp). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ ; 2561. 168 น.
8. Johnson. Hemp as an agricultural commodity. 2019 ; Available Source: <https://fas.-org/sgp/crs/misc/RL32725.pdf>, 19 February 2019.
9. สยาม อรุณศรีมรกต. พฤกษศาสตร์ สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ การปลูก และการผลิตทั่วไปและแบบแม่นยำในพืชกัญชง-กัญชา. มมป ; ได้จาก: <https://www.nfc.or.th/wp-content/uploads/download-manager-files/seminar-62-005.pdf>, 22 เมษายน 2562.
10. Medthai. กัญชง สรรพคุณและประโยชน์ของกัญชง 14 ข้อ. 2015 ; ได้จาก: <https://medthai.com>, 29 มกราคม 2562.
11. Wan L. Hemp foods in Australia and New Zealand: Legal, on the shelves and set for boom. 2017 ; <https://www.foodnavigator-asia.com/article/2017/12/06/hemp-foods-in-australia-and-new-zealand-legal-on-the-shelves-and-set-for-boom>, 06-Dec-2017.
12. MedThai. กัญชง สรรพคุณและประโยชน์ของต้นกัญชง 14 ข้อ. 2017 ; Available from: <https://medthai.com/%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%8D%E0%B8%8A%E0%B8%87/>. 20 มิถุนายน 2015, UPDATED: 1 สิงหาคม 2017.
13. องค์การเภสัชกรรม และ ภาควิชาเภสัชวิทยา. การวิจัยและพัฒนาสารสกัดกัญชาและกัญชงทางการแพทย์เพื่อการพัฒนาประเทศ” ใน: บทสรุปสำหรับผู้บริหาร ณ ห้องแกรนด์ฮอลล์ 2 โรงแรมรามาริเด้นส์ กรุงเทพฯ ; 2561. หน้า 1-73.
14. มนทิวรา สุขเจริญ และ พันธวิศ สัมพันธ์พานิช. จุดเริ่มต้นว่าด้วยเรื่องของ “เฮมพ์” หรือ “กัญชง” ที่ไม่ใช่ “กัญชา”. วารสารสิ่งแวดล้อม. 2562 ; 23 (3): 348.
15. Bazdidi, N. and others. Evaluation of dietary hempseed and hempseed oil and performance, egg quality and some blood parameters in laying hens after peak period. *Poultry science Journal*. 2016, 4(2): 89-95.
16. อาคม กาญจนประโชติ. กัญชง: Hemp. เชียงใหม่: โทน คัลเลอร์ เชียงใหม่ ; 2550. 90 หน้า.
17. ภูมิรัฐศ สัมพันธ์พานิช และ กาญจนินภา พงศ์พนรัตน์. เฮมพ์ รากเหง้าแห่งวิถีชีวิตวัฒนธรรมชาวม้ง. วารสารสิ่งแวดล้อม. 2562 ; 23(3): 105.
18. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). เฮมพ์ใหม่ของประเทศไทย” [ออนไลน์]. มมป ; ได้จาก: hrdi.or.th/Articles/Detail/18 [23 มกราคม 2561].
19. สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). ขออนุญาตปลูกกัญชง ทำอย่างไร [ออนไลน์]. มมป ; ได้จาก: <https://www.hrdi.or.th/Articles/Detail/48> [21 มกราคม 2563].
20. Callaway, J. Hempseed as a nutritional resource: An overview”. *Euphytica*. 2004 ; 140: 65-72.
21. House *et al.*, Evaluating the Quality of Protein from Hemp Seed (*Cannabis sativa* L.) Products Through the use of the Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score Method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010 ; 58(22): 11801-11807.
22. Parker, D.A., and others. Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oil. *Journal of science*. 2003 ; 68: 1241-1243.
23. นภัตสร มนทา, และคณะ งามี่ม่อน: ทางเลือกอาหารสัตว์เพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันโอเมก้าสามในเนื้อสัตว์และไข่สำหรับเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ. วารสารเกษตร, 2560 ; 33(3): 466.
24. อัจฉรา นิยมเดชา และคณะ. การใช้กรดไขมันโอเมก้าในการเพิ่มสมรรถภาพการผลิตและคุณภาพซากในสุกร. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์. 2558 ; 5(4): 122-131.
25. Sandison. Preliminary Assessment of Hemp Seed Products as Feed Ingredients for Laying Hens”. WSDA. Washington. 40.14 chohir. 2012. *Organic Molecules*. 2017 ; Available from: <https://14chohir.wordpress.com/2012/10/09/3-2-organic-molecules>, February 4 2019.
26. Leizer, D. and others. The composition of hemp seed oil and its potential as an important source of nutrition. *Journal of Nutraceuticals*. 2000 ; 2(4). 35-53.

27. Osburn, L. HEMP SEED: the most nutritionally complete food source in the world". Hemp Line Journal. 1992 ; 1(1): 14-15.
28. González-Alvarado J.M. and others. Effects of fiber source and heat processing of the cereal on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers fed diets based on corn or rice. Poultry Science. 2008 ; 87: 1779-1795.
29. Mateos, G.G. and others. Poultry response to high levels of dietary fiber sources varying in physical and chemical characteristics. Journal of Applied Poultry Research. 2012 ; 21: 156-174.
30. Svihus, B. and others. Passage rate through the anterior digestive tract of broiler chickens fed on diets with ground and whole wheat. British Poultry Science. 2002 ; 43: 662-668.
31. Jiménez-Moreno, E. and others. "Effects of source of fibre on the development and pH of the gastrointestinal tract of broilers. Animal Feed Science and Technology. 2009 ; 154: 93-101.
32. Malomo, A.S. and R.E. Aluko. A comparative study of the structural and functional properties of isolated hemp seed (*Cannabis sativa* L.) albumin and globulin fractions. Food Hydrocolloid. 2014 ; 43: 743-752.
33. ประภัสสร ทิพย์รัตน์ และชัยวัฒน์ ธิตะจारी. การวิเคราะห์สาร THC และ CBD และการศึกษา อัตราส่วนของ THC และ CBD ในเฮมพ์. ในรายงานการวิจัยเสนอต่อสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). 2551.
34. วรียา ถาอุปชิต และ นุศราพร เกษสมบูรณ์. การใช้กัญชาทางการแพทย์. วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน. 2560 ; 1: 228-240.
35. องค์การเภสัชกรรม. 2561. สารประกอบเคมีที่อยู่ในกัญชาแหล่งที่มา: <https://www.gpo.or.th/>, 21 เมษายน 2562.
36. วิมล พันธุ์เวทย์. Endocannabinoid System. Thai Pharmaceutical and Health Science Journal. 2009 ; 4(1): 84-93.
37. Surai P.E. and N.H.C. Sparks. Designer eggs: from improve of egg composition to functional food. Trends in Food Science and Technology. 2001 ; 12: 7-16.
38. ศัลยา คงสมบูรณ์เวช.อาหารฟังก์ชันและ การส่งเสริมสุขภาพ. โภชนบำบัด. 2546, 14(1): 6-17.
39. Perić L., and others. Production of poultry meat and eggs as functional food-challenges and opportunities". Biotechnology in Animal Husbandry. 2011, 27(3): 511-520.
40. Rajasekaran A., and M.Kalaivani. Designer foods and their benefits. Journal of Food Science and Technology. 2013, 50(1): 1-16.
41. พจน์ ศรีบุญลือ. และคณะ. ตำราชีวเคมี" พิมพ์ครั้งที่ 3 ขอนแก่น: ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2543.
42. Neijat M, and others. Performance, egg quality, and blood plasma chemistry of laying hens fed hempseed and hempseed. Poultry Science. 2014, 93: 2827-2840
43. Silversides F.G. and M.R. Lefrançois. The effect of feeding hemp seed meal to laying hens. British Poultry Science. 2005 ; 46(2): 231-235.
44. Silversides F.G. and others. Effect of feeding hemp seed meal to laying hens Agriculture and Agri-Food Canada 1, Nova Scotia Agricultural College 2, and Université Laval 3
45. Mierliță D. Fatty acids profile and oxidative stability of eggs from laying hens fed diets containing hemp seed or hempseed cake. South African Journal of Animal Science. 2019, 49(2): 310-321.
46. Lichtman A, and B. Cravatt. Food for thought: endocannabinoid modulation of lipogenesis. The Journal of Clinical Investigation. 2005,115: 1130-1133.
47. El-Soheby, and M.C. Archer. Regulation of mevalonate synthesis in rat mammary glands by dietary ω -3 and ω -6 polyunsaturated fatty acids. Cancer Research. 1997 ; 57: 3685-3687.
48. นรินนาม. ไตรกลีเซอไรด์และเอชดีแอล. 2552 ; ได้จาก: <https://www.doctor.-or.th/article/detail/5887>, 2 เมษายน 2561.
49. มั่นสนันท์ นพรัตน์ไมตรี และคณะ. ผลของ การเสริมเมล็ดงาขี้ม่อนในอาหารของไก่ไข่ (ระยะท้าย) ต่อการย่อยได้ของโภชนะ สมรรถนะการผลิต คุณภาพไข่ คอเลสเตรอรอล และการสะสมของกรดไขมันโอเมก้าในไข่ไก่. Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University. 2560 ; 11(1): 46-64.

50. Spady, DK. Regulatory effects of individual Ω -6 and Ω -3 polyunsaturated fatty acids on LDL transport in the rat. *The Journal of Lipid Research*. 1993 ; 34: 1337-1346.
51. Jing, S., Zhao., and J.D. House. 2016 Performance and tissue fatty acid profile of broiler chickens and laying hens fed hemp oil and HempOmega™. *Poultry Science*. 1809-1819.
52. Bézard, J and others. The metabolism and availability of essential fatty acids in animal and human tissues. *Reproduction Nutrition Development*. 1994 ; 34: 539-568.
53. Trautwein, EA. Ω -3 fatty acid-Physiological and technical aspects for their use in food. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 2001 ; 103: 45-55.
54. King Michael W. Synthesis of Omega-3 and -6 Fatty Acids. *The medicalbiochemistry page*. 2017 ; Available Source: <https://themedicalbiochemistry-page.org/omegafats.php>, 19 มีนาคม 2561.

พลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla spp.*) บริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี

Population dynamics of Mud crab (*Scylla spp.*) at the mangrove forest of Laem Phak Bia receiving effluent from Phetchaburi Municipal wastewater treatment system

เสถียรพงษ์ ขาวहित^{1*}
Satiepong Khowhit^{1*}

Received: 16 November 2019 ; Revised: 30 January 2020 ; Accepted: 24 April 2020

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ศึกษาพลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla spp.*) บริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี ทำการเก็บตัวอย่างปูทะเลในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2556 หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปูทะเลทันที ทำการวิเคราะห์พลวัตประชากรปูทะเลโดยใช้โปรแกรม FiSAT_II ผลการศึกษาพบว่าปูทะเลมีความยาว (L_{∞}) มีค่าเท่ากับ 16.54 เซนติเมตร, ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (K) ปูทะเล มีค่าเท่ากับ 0.29 ต่อปี, ค่าการเติบโต (j) ปูทะเลมีค่าเท่ากับ 1.90 อัตราการตายปูทะเลทั้งหมด (Z) เท่ากับ 2.81 ต่อปี, อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง (F) เท่ากับ 0.94 ต่อปี และอัตราการตายปูทะเลโดยธรรมชาติ (M) เท่ากับ 1.87 ต่อปี และ ค่าอัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) มีค่าเท่ากับ 0.33 และอัตราการทดแทนปูทะเลสูงที่สุดอยู่ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายน

คำสำคัญ: พลวัตประชากร ปูทะเล (*Scylla spp.*) ป่าชายเลน ระบบบำบัดน้ำเสีย

Abstract

The objective of this research was to study the population dynamics of Mud Crab (*Scylla spp.*) using length-frequency data collected during May 2012 to April 2013 at a mangrove forest that receives effluent from the Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System at Laem Phak Bia, The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project (The LERD Project), Phetchaburi Province, Thailand.

Monthly length frequency data of Mud Crab were analyzed by FiSAT_II. Asymptotic length (L_{∞}) and growth co-efficient (K) were 16.54 cm and 0.29 year⁻¹, respectively. The growth performance index (j) was 1.90. Total mortality (Z) by length-converted catch curve was 2.81 year⁻¹, of which fishing mortality (F) was 0.94 year⁻¹ and natural mortality (M) was 1.87 year⁻¹. The exploitation level (E) of Mud Crab was 0.33. The recruitment pattern was continuous with one major peak in the months of February to June.

Keywords: Population Dynamics, Mud Crab (*Scylla spp.*), Mangrove Forest, Wastewater Treatment System

¹ อาจารย์, สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Lecture, Department of Natural Resources and Environment Management, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University 44150

* Corresponding author: Satienpong Khowhit, Department of Natural Resources and Environment Management, Mahasarakham University, puiku1213@gmail.com

บทนำ

ก่อนที่จะทำการก่อตั้งโครงการฯ พื้นที่ชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ยเป็นป่าชายเลนที่เสื่อมโทรม ไม่มีรายงานว่าพบปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวในรัชกาลที่ 9 ทรงมีพระราชดำริก่อตั้งโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำรินี้ในปี พ.ศ. 2533 เพื่อแก้ปัญหาน้ำเสียจากเทศบาลชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ใช้หลักการบำบัดน้ำเสียแบบเทคโนโลยีอย่างง่าย ไม่ยุ่งยากมีประสิทธิภาพ ธรรมชาติช่วยธรรมชาติ¹ และมีการศึกษาใช้พืชป่าชายเลนให้มีความเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียจึงมีการศึกษาและทดลองปลูกพืชป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ยเริ่มตั้งแต่วันที่ 2 เมษายน 2540 ประกอบด้วยโกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) แสม (*Avicennia* sp.) ถั่วขาว (*Bruguiera cylindrica*) และโปรง (*Ceriops tagal*) (Figure 1, Figure 2) ซึ่งพืชป่าชายเลนดังกล่าวมีคุณสมบัติพิเศษในการช่วยเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสีย กรองหรือฟอกน้ำให้สะอาดขึ้นนอกจากนี้พืชป่าชายเลนจะดูดซับธาตุอาหารและสิ่งปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย ช่วยการทำงานของจุลินทรีย์ อันเป็นการใช้ประโยชน์จากพืชป่าชายเลนอีกทางหนึ่งนอกเหนือจากการเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย ที่หลบภัย แหล่งอาหาร แหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์น้ำ นอกจากนี้ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยยังมีการนำขยะจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีฝังกลบและนำดินหมักขยะจากชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีด้วยบ่อคอนกรีตไปถมบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย ส่งผลทำให้พื้นที่ป่าชายเลนบริเวณชายฝั่งทะเลแหลมผักเบี้ยเพิ่มขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2533-2549 มีพื้นที่ทั้งหมด 394 ไร่ การเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 23 ไร่ต่อปี^{2,3,4} หลังจากดำเนินงานของโครงการฯ อย่างต่อเนื่องผ่านไป 26 ปี กลับพบว่าป่าชายเลน

แหลมผักเบี้ยมีปูทะเลสกุล *Scylla* อพยพเข้ามาอยู่อาศัยจำนวน 3 ชนิดประกอบด้วย ปูทะเล (*S. paramanosian*), ปูทะเล (*S. olivacea*), ปูทะเล (*S. serrata*) สร้างอาชีพ สร้างรายได้ให้กับชาว ประมงแต่การทำประมงปูทะเลเกินศักยภาพในการผลิตได้ส่งผลทำให้ปัจจุบันปูทะเลมีการลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว^{5,6} ดังนั้นการศึกษาพลวัตประชากรปูทะเลบริเวณพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยประกอบด้วย การเติบโต อัตราการตาย อัตราการทดแทนและการนำมาใช้ประโยชน์ เป็นต้น จะทำให้ทราบวงจรชีวิตปูทะเลประกอบด้วย ช่วงเวลาวางไข่ การผสมพันธุ์และการแพร่พันธุ์ สามารถที่จะหามาตรการอนุรักษ์ทรัพยากรปูทะเลในพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยให้มีตลอดไปรวมถึงเปรียบเทียบกับบริเวณป่าชายเลนที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีกับพื้นที่ป่าชายเลนตามธรรมชาติทั่วๆ ไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

ป่าชายเลนปลูกแหลมผักเบี้ย ที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตั้งอยู่ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ตั้งอยู่บนพิกัดละติจูด 14°42.240' เหนือถึง 14°43.480' เหนือและลองจิจูด 06°17.780' ตะวันออกถึง 06°19.271' ตะวันออก ปริมาณน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ที่ถูกสูบบำบัดที่โครงการฯ เฉลี่ยประมาณ 6,167 ลูกบาศก์เมตร/วัน ด้วยอัตราการไหล 303.15 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง เข้าบ่อบำบัด 268.55 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง⁷ (Figure 1)

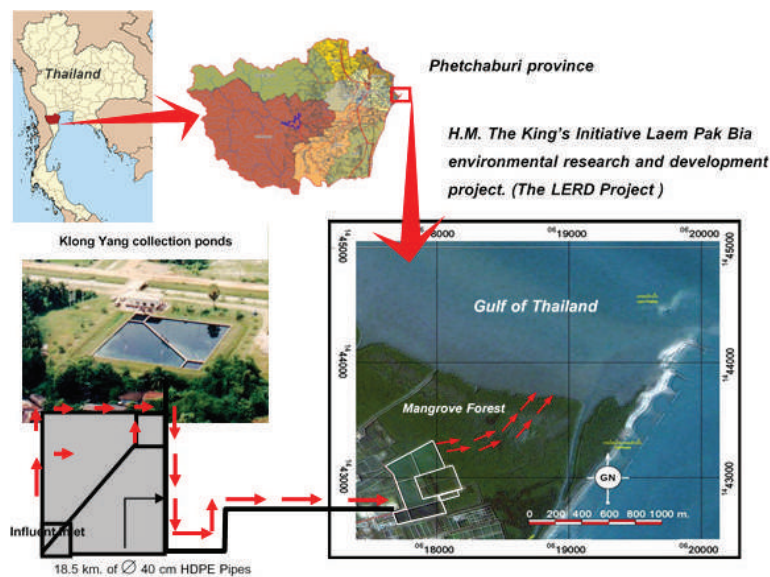


Figure 1 Localization of Mangrove Forest of Laem Phak Bia Receiving Effluent from Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System, The LERD Project, Phetchaburi Province, Thailand.



Figure 2 Mangrove Forest of Laem Phak Bia Receiving Effluent from Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System, The LERD Project at April 2, 1997.

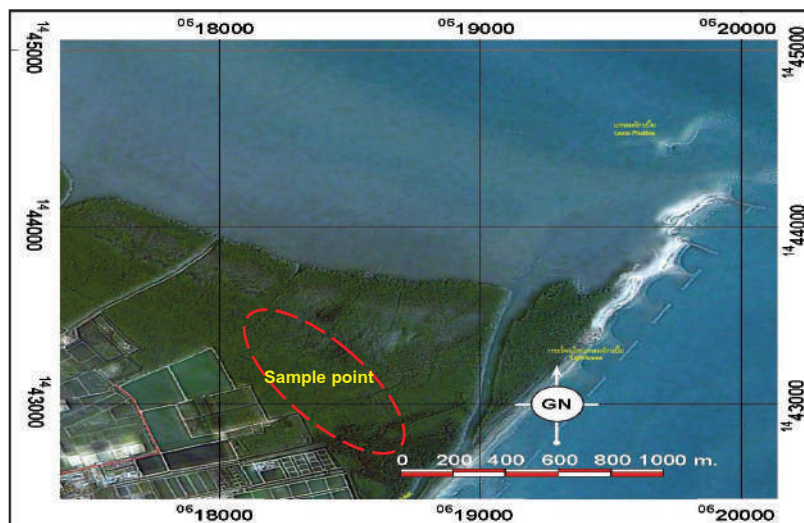


Figure 3 Sample point of Mud Crab (*Scylla* spp.) at Mangrove Forest of Laem Phak Bia Receiving Effluent from Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System, The LERD Project, Phetchaburi Province, Thailand.



Figure 4 Mud Crab (*Scylla* spp.) at Mangrove Forest of Laem Phak Bia Receiving Effluent from Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System, The LERD Project, Phetchaburi Province, Thailand.

2. ศึกษาการเติบโตปูทะเล

ทำการเก็บตัวอย่างปูทะเลโดยใช้ขอเกี่ยวปูทะเล (Hook) บริเวณพื้นที่ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย (Figure 3) ในช่วงเวลาที่น้ำทะเลลดต่ำสุดของ เดือนนั้นๆ จำนวน 3 วัน ต่อเดือน ในระหว่างเดือนพฤษภาคม 2555 ถึงเดือนเมษายน 2556 หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของปูทะเลทันที (Figure 4)

3. การศึกษาพลวัตประชากรปูทะเล

นำตัวอย่างปูทะเลจำนวน 733 ตัว ที่วัดความยาวตามข้อ 2 มาทำการจำแนกความยาวตามอันตรภาคชั้นด้วยวิธีการ⁵ (Table 1) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป FiSAT_II⁸ เป็นโปรแกรมที่สามารถที่ใช้วิเคราะห์ผลการศึกษาได้ดังนี้คือ

3.1) ค่าการเติบโตปูทะเล⁹ มีสูตร $j = 2 \log_{10} L_{\infty} + \log_{10} K$

โดยที่

j = ค่าการเติบโตปูทะเล

L_{∞} = ความยาวปูทะเล (cm)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตปูทะเล หน่วยต่อปี

3.2) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความยาวกับน้ำหนักปูทะเล¹⁰ มีสูตรดังนี้ $W = aCW^b$

โดยที่

W = น้ำหนักปูทะเล (g)

CW = ความยาวปูทะเล (cm)

a, b = ค่าคงที่

3.3) ค่าเฉลี่ยความยาวต่ออายุ (L_t) ปูทะเล¹¹ มีสูตร $L_t = L_{\infty} * (1 - e^{-k(t-t_0)})$

โดยที่

L_{∞} = ความยาวปูทะเล (cm)

t = อายุของปูทะเล

t_0 = ค่าสมมุติฐานของอายุของปูทะเลมีค่าเท่ากับ 0

K = ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตปูทะเล หน่วยต่อปี

3.4) อัตราการตายปูทะเล

3.4.1) อัตราการตายปูทะเลทั้งหมด (Z)¹²

มีสูตร $Z = a + bt$;

โดยที่

t = อายุปูทะเล

a, b = ค่าคงที่

3.4.2) อัตราการตายปูทะเลโดยธรรมชาติ

(M)^{13,14} มีสูตร $\log_{10} M = 0.0066 - 0.279 \log_{10} L_{\infty} + 0.6543 \log_{10} K + 0.4634 \log_{10} T$

โดยที่

L_{∞} = ความยาวปูทะเล (cm)

K = ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโตปูทะเล (ต่อปี)

T = ค่าอุณหภูมิของน้ำทะเลในป่าชายเลนเฉลี่ยในรอบปี ($^{\circ}C$)

3.4.3) อัตราการตายเนื่องจากการทำประมง

(F) ปูทะเล¹⁵ มีสูตร $F = Z - M$

โดยที่

Z = อัตราการตายปูทะเลทั้งหมด

M = อัตราการตายปูทะเลตามธรรมชาติ

3.5) อัตราการใช้ประโยชน์ (E) ของปูทะเล¹⁶

มีสูตร $E = F/Z$

โดยที่

F = อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง

Z = อัตราการตายปูทะเลทั้งหมด

3.6) อัตราการทดแทนปูทะเลสามารถคำนวณ

หาได้ จากปริมาณปูทะเลในแต่ละเดือน โดยใช้โปรแกรม FiSAT_II

ผลการทดลอง

1. การเติบโตและอายุปูทะเล

การเติบโตปูทะเล พบว่าความยาว (L_{∞}) ปูทะเลมีค่าเท่ากับ 16.54 เซนติเมตร, ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (K) ปูทะเลมีค่าเท่ากับ 0.29 ต่อปี (Figure 5) ค่าการเติบโต (j) ปูทะเลมีค่าเท่ากับ 1.90, ปูทะเลมีขนาดความกว้างสัมพันธ์กับอายุปูทะเล (Figure 6)

Table 1 Length frequency data of Mud Crab (*Scylla* spp.) from of Mangrove Forest of Laem Phak Bia Receiving Effluent from Phetchaburi Municipal Wastewater Treatment System, The LERD Project.

ML (Cm)	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.
2.00-2.49	4	1	1	2	2							
2.50-2.99	1	3	9	6	2							
3.00-3.49	8	7	10	11	5							
3.50-3.99	5	20	20	26	3							
4.00-4.49	6	14	24	16	3							
4.50-4.99	1		1	4								
5.00-5.49	1	1										
5.50-5.99												
6.00-6.49												
6.50-6.99												
7.00-7.49					1					2		
7.50-7.99					1	1	1			1	2	3
8.00-8.49	2	1				2	1	1		10		5
8.50-8.99						6	2	2	3	4	8	4
9.0-9.49	4		1		1	9	5	4	6	14	5	12
9.5-9.99		1				14	6	6	3	2	11	15
10.00-10.49	2	2	0	1		10	7	3	6	7	7	14
10.50-10.99	1		2			6	7	7	6	6	12	4
11.00-11.49	4	8	7	8		2	3	11	10	7	6	3
11.50-11.99			1			4	1	5	7	10	3	3
12.00-12.49	7	4	1	3	2	4	6	8	10	4	4	5
12.50-12.99	1					1	1	3	2	2	3	1
13.00-13.49	2	2	1	1		1	1	4	1	3	2	1
13.50-13.99						2	3	3	3	2	2	
14.00-14.49	2	1	1	1	3	1	1		1			
14.50-14.99							1					
15.00-15.49								1		1		
15.50-15.99											1	

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างกระดองกับ น้ำหนักปูทะเลมีรายละเอียดดังนี้

$W=21.877L^{1.339}$ ($r^2=0.85$) (Figure 7)

3. อัตราการตายปูทะเล

อัตราการตายปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย พบว่าการตายปูทะเลทั้งหมด (Z) เท่ากับ 2.81 ต่อปี, อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง (F) มีค่าเท่ากับ 0.94 ต่อปี และ อัตราการตายปูทะเลโดยธรรมชาติปูทะเล (M) เท่ากับ 1.87 ต่อปี (Figure 8)

4. อัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E)

อัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยมีค่าเท่ากับ 0.33 พบว่าเส้นประสีแดงแสดงถึงปริมาณการจับปูทะเลที่เหมาะสมที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.30 เส้นประสีเขียวแสดงถึงการจับปูทะเลในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 0.35 และเส้นประสีเหลืองแสดงถึงอัตราการจับปูทะเลมาใช้ประโยชน์มากที่สุดเท่ากับ 0.46 (Figure 9)

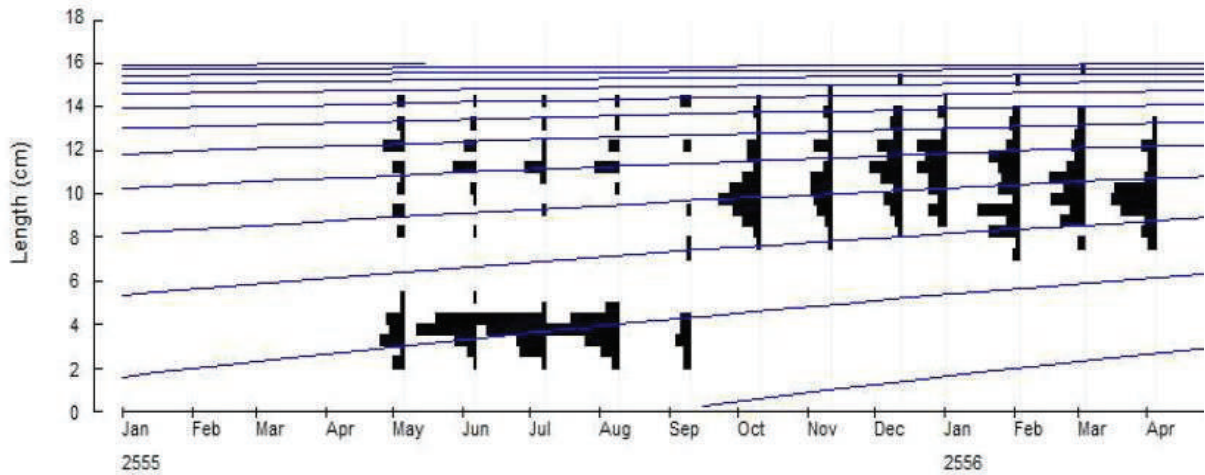


Figure 5 Restructured length-frequency distribution and the estimated growth curves for Mud crab using FiSAT_II ($L_{\infty} = 16.54$ cm and $K = 0.29$ yr⁻¹)

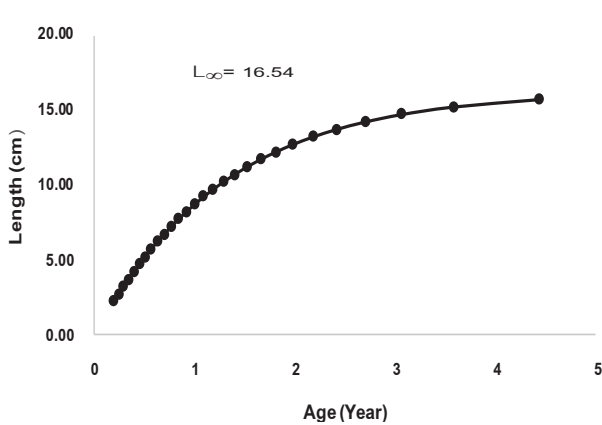


Figure 6 Plot of age and growth of Mud crab based on computed growth parameters

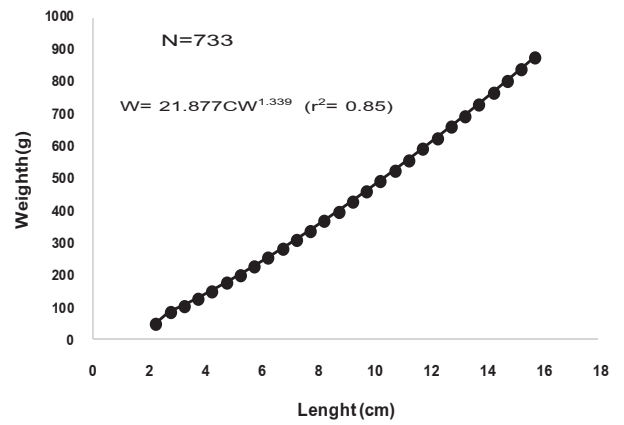


Figure 7 Length-weight relationship of Mud crab

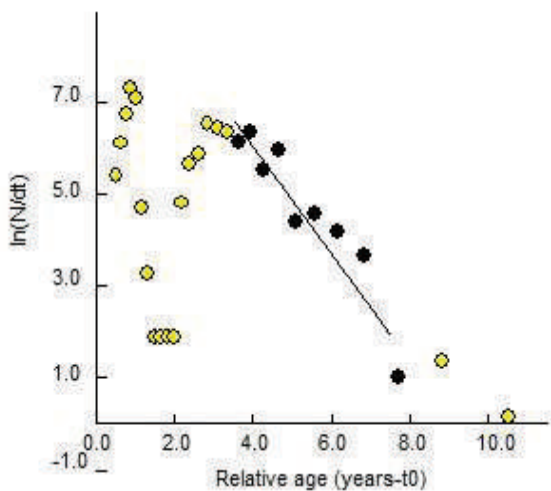


Figure 8 Length converted catch curve of Mud crab

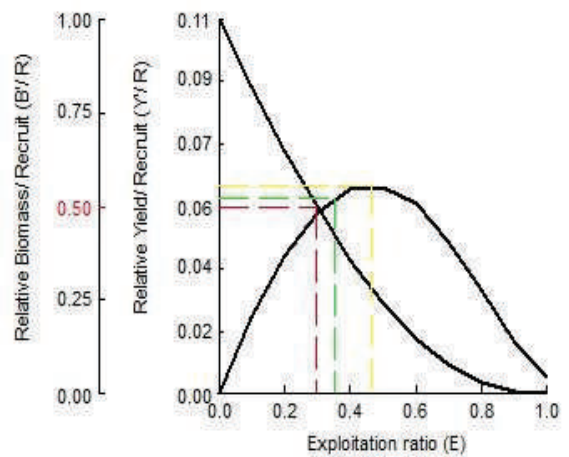


Figure 9 Relative yield per recruit of Mud crab (yellow line- E_{max} ; green line- E_{10} ; red line- E_{50})

5. อัตราการทดแทนปูทะเล

อัตราการทดแทนปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00-20.56 โดยมีการ ทดแทนกันของปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยอยู่ 2 ช่วงประกอบ

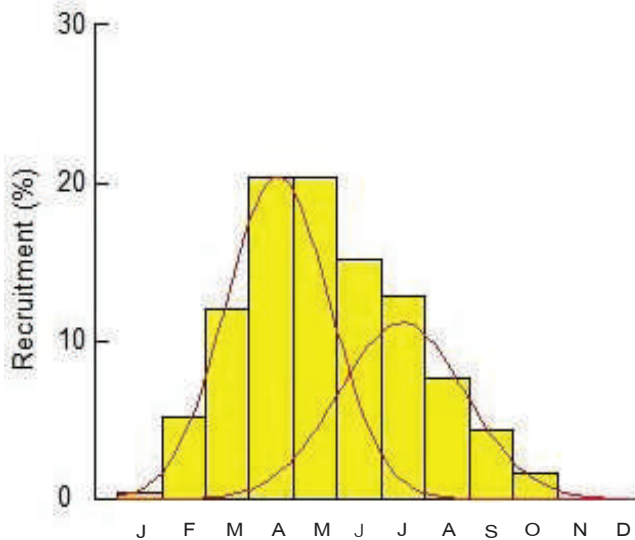


Figure 10 Recruitment pattern of Mud crab

วิจารณ์การทดลอง

ผลจากการศึกษาการศึกษาพลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla spp.*) บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี พบว่าปูทะเลมีความยาว (L_{∞}) มีค่าเท่ากับ 16.58 เซนติเมตร, ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (K) มีค่าเท่ากับ 0.29 ต่อปี, ค่าการเติบโต (r) มีค่าเท่ากับ 1.35 เปรียบเทียบกับป่าชายเลนตามธรรมชาติมีค่าที่ดีกว่าและมีความแตกต่างการศึกษาบริเวณป่าชายเลนคลองหวาง จังหวัดระนองพบว่าปูทะเลมีความยาว (L_{∞}) มีค่าเท่ากับ 14.77 เซนติเมตร, ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (K) ปูทะเลมีค่าเท่ากับ 1.08 ต่อปี⁵ จากการศึกษาองค์ประกอบอาหารในกระเพาะปูทะเลระยะเต็มวัย (Adult) บริเวณป่าชายเลนคลองหวาง จังหวัดระนอง พบว่า ปูทะเลระยะเต็มวัย (Adult) มีพฤติกรรมหาอาหารกินในเวลากลางคืนและเป็นผู้ล่า (predator) สัตว์หน้าดิน ในระบบนิเวศป่าชายเลน โดยอาหารที่พบในกระเพาะอาหารของปูทะเลมากที่สุด คือคริสตาเซียน รองลงมาได้แก่ปลาและหอยตามลำดับ^{17,18} ซึ่งในบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยมีคริสตาเซียน และ ทรัพยากรทางสัตว์ มีความอุดมสมบูรณ์ มีชนิด ปริมาณและความหลากหลายกว่าป่าชายเลนธรรมชาติทั่วไป¹⁹⁻²³ ส่งผลทำให้ปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยมีค่าความยาว (L_{∞}), ค่าสัมประสิทธิ์การเติบโต (K) ที่ดีกว่าพื้นที่ป่าชายเลนตามธรรมชาติตามไปด้วย

ด้วยช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ซึ่งอัตราการทดแทนสูงที่สุดในพฤษภาคมร้อยละ 20.56 (Figure 10)

Month	Recruitment (%)
January (J)	0.21
February (F)	5.16
March (M)	11.84
April (A)	20.55
May (M)	20.56
Jun (J)	15.18
July (J)	12.62
August (A)	7.66
September (S)	4.56
October (O)	1.57
November (N)	0.09
December (D)	0.00

ป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี มีการตายปูทะเลทั้งหมด (Z) เท่ากับ 2.81 ต่อปี, อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง (F) เท่ากับ 0.94 ต่อปี, อัตราการตายปูทะเล โดยธรรมชาติ (M) เท่ากับ 1.87 ต่อปี และค่าอัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) มีค่าเท่ากับ 0.33 เปรียบเทียบกับป่าชายเลนตามธรรมชาติมีค่าที่ต่ำกว่าและมีความแตกต่างการศึกษาบริเวณคลองหวาง จังหวัดระนอง พบว่ามีการตายปูทะเลทั้งหมด (Z) เท่ากับ 5.71 ต่อปี, อัตราการปูทะเลตายเนื่องจากการประมง (F) เท่ากับ 3.43 ต่อปี อัตราการตายปูทะเล โดยธรรมชาติ (M) เท่ากับ 2.28 ต่อปี และค่าอัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) มีค่าเท่ากับ 0.60⁵ ซึ่งบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี ประกาศเป็นพื้นที่ป่าชายเลนอนุรักษ์ปูทะเลไม่อนุญาตให้ชาวประมงใช้อุปกรณ์ชนิดอื่นทำประมงทะเลยกเว้นใช้ขอเกี่ยวปูทะเล (Hook) เท่านั้นส่งผลทำให้ปูทะเลในบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย มีการตายปูทะเลทั้งหมด (Z) อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง (F) อัตราการตายปูทะเลโดยธรรมชาติ (M) และค่าอัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) จึงมีค่าต่ำกว่าป่าชายเลนตามธรรมชาติตามไปด้วย

บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรีมีอัตราการ

ทดแทนของปูทะเลอยู่ในช่วงร้อยละ 0.00-20.56 โดยมีช่วงของการทดแทนกันของปูทะเลอยู่ 2 ช่วงเวลา ช่วงแรกอยู่ในช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายนและช่วงที่สองอยู่ในช่วงระหว่าง เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน ซึ่งจะอัตราการทดแทนสูงที่สุดเดือนพฤษภาคม (Figure 10) เพราะว่าปูทะเลป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยจะมีการช่วงฤดูวางไข่ในช่วงระยะเวลาเดือนธันวาคมจนกระทั่งถึงเดือนมีนาคมส่งผลทำให้หลังจากช่วงเวลาดังกล่าวเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม จะพบปูทะเลขนาดเล็กเข้ามาทดแทนมากปูทะเลขนาด 2.00-4.49 เซนติเมตรเป็นจำนวนมาก (Table 1) จึงส่งผลทำให้มีอัตราการทดแทนปูทะเลสูงที่สุดตามไปด้วย เปรียบเทียบกับป่าชายเลนตามธรรมชาติมีความแตกต่างกันกับการศึกษาอัตราการทดแทนปูทะเล (*Scylla olivacea*) บริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานีพบว่าปูทะเล จะมีการช่วงฤดูวางไข่ 2 ช่วงเวลาเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม และเดือนเมษายนถึงเดือนพฤษภาคม²⁴ บริเวณคลอง หงาว จังหวัดระนอง พบว่าปูทะเล (*Scylla olivacea*) จะมีการช่วงฤดูวางไข่ในเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน²⁵ ซึ่งส่งผลทำให้บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ย บริเวณอ่าวบ้านดอน และบริเวณคลอง หงาว พบปูทะเลขนาดเล็กเข้ามาทดแทนจำนวนมากในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมจนกระทั่งถึงเดือนมิถุนายน (Table 1) ไม่มีความแตกต่างกันเนื่องจากเมื่อปูทะเลผสมพันธุ์เสร็จแล้วจะเคลื่อนที่ออกไปวางไข่นอกบริเวณป่าชายเลนโดยอาศัยลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

เพราะว่าแม่ปูทะเลต้องการน้ำทะเลที่มีความเค็มที่ค่อนข้างสูงสำหรับน้ำไข่ออกนอกกระดอง เมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนลมทะเลเปลี่ยนทิศจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลูกปูทะเลวัยอ่อน (Zoea) เป็นระยะที่ไม่มีการว่ายน้ำไม่สามารถที่จะว่ายน้ำด้วยตัวเองรวมถึงปูทะเลในวัยนี้จะล่องลอยไปตามคลื่นลมทะเล จะถูกคลื่นลมพัดพาเข้าสู่ชายฝั่งทะเลและอาศัยป่าชายเลนในการดำรงชีวิต ส่งผลทำให้ช่วงเริ่มเข้าสู่ฤดูฝนหรืออาศัยลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นช่วงที่กระแสน้ำแรงที่สุด ส่งผลทำให้อัตราการทดแทนปูทะเลสูงที่สุดเหมือนกันและไม่มีความแตกต่างกัน^{26,27} ทั้งนี้การอพยพเคลื่อนที่หรืออัตราการทดแทนของปูทะเลในแต่ละพื้นที่จะมีปริมาณมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของป่าชายเลน เพราะว่าปูทะเลระยะเมกาลีปา (Megalopa) กระทั่งถึงปูทะเลระยะเต็มวัย (Adult) จะดำรงชีวิตอาศัยฝั่งตัวบริเวณดินเลนป่าชายเลน และคุณภาพน้ำทะเลบริเวณป่าชายเลนนั้นๆ^{24,28,29,30} ซึ่งบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยมีค่าเฉลี่ยประกอบด้วยค่าอุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 27.20 องศาเซลเซียส ค่าความเค็มมีค่าเท่ากับ 28.00 psu ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าเท่ากับ 7.90 ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเท่ากับ 6.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าTKN มีค่าเท่ากับ 3.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าไนเตรท มีค่าเท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าฟอสเฟต มีค่าเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าแอมโมเนีย มีค่าเท่ากับ 0.10 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าBOD มีค่าเท่ากับ 2.3 มิลลิกรัมต่อลิตร²³

Table 2 Population parameters of Mud Crab (*Scylla spp.*) in Mangrove Forest of Laem Phak Bia and other Mud Crab as reported in other studies.

Parameter	Klong Ngao Mangrove ⁵	Study area
Asymptotic length (L_{∞}) in cm	14.78	16.54
Growth co-efficient (K) (year ⁻¹)	1.08	0.29
Growth performance index (J)	-	1.90
Mortality rates (Z) (year ⁻¹)	5.71	2.81
Fishing mortality (F) (year ⁻¹)	3.43	0.94
Natural mortality(M) (year ⁻¹)	2.28	1.87
Exploitation level (E)	0.60	0.33
Recruitment pattern	March- April	February-July

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาพลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla spp.*) บริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยที่รองรับน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี พบว่าปูทะเลมีความยาว (L_{∞}), ค่าสัมประสิทธิ์เติบโต (K), การเติบโต (J), อัตราการตาย

ทั้งหมด (Z), อัตราการตายปูทะเลเนื่องจากการประมง (F) และ อัตราการตายปูทะเลโดยธรรมชาติ (M) และค่าอัตราการนำปูทะเลมาใช้ประโยชน์ (E) ดีกว่าพื้นที่ป่าชายเลนตามธรรมชาติ ส่วนการทดแทนกันของปูทะเลอยู่ 2 ช่วงประกอบด้วยช่วงระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมิถุนายนและเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกันยายน อัตราการทดแทนสูงที่สุดในช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคม

ข้อเสนอแนะ

ควรที่จะจัดทำโครงการประมงปูทะเลบริเวณป่าชายเลนแหลมผักเบี้ยในช่วงระยะเวลาเดือนธันวาคมจนถึงเดือนมีนาคมเพราะว่าช่วงเวลาดังกล่าวปูทะเลเพศเมียมีไข่ออกนอกกระดองและไข่ออกเต็มที

รหัสนักวิจัยได้รับอนุญาตใช้สัตว์เพื่อการทดลอง:

นายเสถียรพงษ์ ขาวหิต รหัส U1084032562

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการศึกษาและวิจัยสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ ตำบลแหลมผักเบี้ย อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเก็บตัวอย่างปูทะเลในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- โครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. รายงานความก้าวหน้าของการวิจัย ครั้งที่ 2 เรื่อง การพัฒนางานวิจัยโครงการพระราชดำริการกำจัดขยะและบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อส่งเสริมตามความต้องการของท้องถิ่น. กรุงเทพฯ ; 2549.
- เกษม จันทร์แก้ว ชาตรี นิมปี. การศึกษาสำรวจ การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชายฝั่งทะเลบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. รายงานประจำปีโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, กรุงเทพฯ ; 2549.
- พิชชาทร เรืองเดช. ความสามารถในการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพันธุ์ไม้ป่าชายเลนบางชนิดภายใต้สภาพน้ำเสีย บริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2554.
- สนธิ อักษรแก้ว. ป่าชายเลน นิเวศวิทยาและการจัดการ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2542.
- กาญจนา จีรพันธ์พัฒนา ญกร ประดิษฐ์สรรพ. การจำแนกชนิดและประเมินสภาวะทรัพยากรปูทะเล ในบริเวณคลองหวาง จังหวัดระนอง. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ ; 2548.
- สนธยา กุลกัลยา อุมารินทร์ มัจฉาเกื้อ ทวนทอง จุฑาเกตุ. สภาวะผลจับและการวิเคราะห์แนวโน้มการประมงปูทะเลในอ่าวไทย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2560 ; 22(1): 240-252.
- ชนวัฒน์ จินดารักษ์. สมดุลน้ำในระบบบ่อฝั้งบำบัดน้ำเสียของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ; 2557.
- Gayanilo FCJ, Sparre P, Pauly D. FAOICLARM Stock Assessment Tools (FiSAT) User's Manual. FAO Computerized Information Series Fisheries ; 1995.
- Pauly D, David N. ELEFAN-I BASIC program for the objective extraction of growth parameters from length-frequency data. Meeresforschung. 1981 ; 28: 205-211.
- King M. Fisheries biology: assessment and management (p.341). Fishing News Books. Oxford, England ; 1995.
- Jindalikit J. Biology of the Blue Swimming Crab *Portunus pelagicus* (Linnaeus,1766) in the Upper Gulf of Thailand. In: Seminar report 2001 Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperatives, Bangkok. 2001 ; 242-252.
- Pauly D. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes. ICLARM Fishbyte. 1990 ; 8(3): 33-38.
- Gayanilo FCJr, Sparre P, Pauly D. FAOICLARM stock assessment tools II (FiSAT_ II). Revised version. User's guide. FAO Computerized Information Series (Fisheries). No. 8, Revised version. Rome, FAO ; 2005.
- Pauly D. Some simple methods for the assessment of tropical fish stocks. FAO Fisheries Technical Paper, (254). 1983 ; 52.
- Sparre P, Venema SC. Introduction to tropical fish stock assessment. Rome: FAO Fisheries Technical Paper. 1992 ; 376 p.
- Thompson WF, Bell FH. Biological statistics of the pacific halibut fishery effect of changes in intensity upon total yield per unit of gear. Rep. *International Pacific Halibut Commission* (IPHC). 1934 ; 8:1-49.
- ชลธิ์ ชีวะเศรษฐกรรม. ชีววิทยาปูทะเล (*Scylla serrata* Forskal) ที่ป่าชายเลน คลองหวาง จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ; 2533.

18. ชาญยุทธ สุดทองคง. การเลือกแหล่งอาศัยอาหารและชีววิทยาประมงของปูทะเล *Scylla serrata* (Forsk., 1755) ในป่าชายเลนคลองหงาว จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ ; 2539.
19. ปริศนา เจียรกุล. ชนิด, ปริมาณและการกระจายของสัตว์หน้าดินในป่าชายเลนก่อนใช้บำบัดน้ำเสียบริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2544.
20. นฤชิต ต่าป็น. ทรัพยากรสัตว์น้ำในพื้นที่ป่าชายเลนบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2544.
21. ลำไย หงส์สิงห์. การกระจายของสัตว์หน้าดินขนาดใหญ่ในป่าชายเลนหลังการใช้บำบัดน้ำเสียบริเวณแหลมผักเบี้ย จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2545.
22. รัชยพร ทรัพย์สมบูรณ์. องค์ประกอบชนิด ความชุกชุม และการแพร่กระจายของปลาวัยอ่อนบริเวณแหลมผักเบี้ยจังหวัดเพชรบุรี วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2546.
23. อรทัย จิตไธสง. การศึกษาผลของน้ำทิ้งที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนต่อการเติบโตและชีพลัษณ์ของปูทะเลบริเวณโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ อำเภอบ้านแหลม จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2555.
24. ผ่องพิศ ประจักษ์วิมล. ฤดูวางไข่และขนาดเพศเมียแรกเริ่มสมบูรณ์เพศของปูทะเลขาว (*Scylla paramamosain*) และปูทะเลดำ (*Scylla olivacea*) ในบริเวณอ่าวบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิเวศวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา ; 2544.
25. ธนินฐา ทรรพนันท์ วิทยา หะวานนท์. การศึกษาแหล่งและฤดูพันธุ์สืบพันธุ์วางไข่เพื่อการจัดการทรัพยากรปูทะเล (*Scylla olivacea*, Herbst, 1976) ในบริเวณคลองหงาว จังหวัดระนอง. รายงานฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.). กรุงเทพฯ ; 2548.
26. สรญา กุลกัลยา. การอพยพเพื่อการวางไข่และฤดูวางไข่ของประชากรปูทะเล *Scylla olivacea* (Herbst, 1796) ในป่าชายเลนคลองหงาว จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2548.
27. Jantrarotai P, Taweechure K, Pripanpong S. Salinity levels on survival rate and development of Mud Crab (*Scylla olivacea*) from zoea to megalopa and from megalopa to crab stage. *Kasetsart Journal (Natural Science)*. 2002 ; 36: 278-284.
28. วิทยา หะวานนท์ สุภาพ ไพโรพนาพงศ์ พลวัตประชากรปูทะเล (*Scylla olivacea* Herbst, 1796) ในบริเวณคลองหงาว จังหวัดระนอง ปี 2543-2545. เอกสารวิชาการฉบับที่ 37/2547. ระนอง ; 2547.
29. โสภา สมบูรณ์. ความชุกชุมและการเจริญพันธุ์ของปูทะเลเทศเมีย *Scylla paramamosain* และ *S. Olivacea* บริเวณอ่าวทุ่งมหา จังหวัดชุมพร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การประมง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ ; 2551.
30. ปราวีณา เชาว์โน. ความมั่นคงของการทำประมงปูทะเลและบทบาทของชุมชนในการจัดการทรัพยากรประมงในอ่าวกะเปอร์ จังหวัดระนอง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ; 2554.

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวและการตรวจสอบความไวของต้นกล้าต่อรังสีแกมมา

Embryo of Pink Lotus and White Lotus (*Nelumbo Nucifera* Gaertn.) tissue culture and determination of seedling sensitivity to gamma rays

อดิگانต์ แยมป์¹, มนัสวี เดชกล้า¹, นฤมล บุญมัน¹, ฐราธร ทิระขุฑิต², ศิริรัตน์ พักปากน้ำ^{1*}
Atikan Yampul¹, Manussawee Dechkla¹, Narumon Boonman¹,
Tharathon Teerakathiti², Sirirat Phakpaknam^{1*}

Received: 25 July 2019 ; Revised: 20 January 2020 ; Accepted: 18 February 2020

บทคัดย่อ

บัวหลวงเป็นพรรณไม้หน้าที่มีสีสันสวยงาม มีมูลค่าทางเศรษฐกิจและหากกลายพันธุ์จนได้พันธุ์ใหม่จะส่งผลให้มีราคาสูง การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาว มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) เพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวเพื่อการขยายพันธุ์ และ 2) ตรวจสอบความไวต่อรังสีแกมมาของต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยนำเมล็ดบัวหลวงทั้ง 2 ชนิด มาทำให้ปลอดเชื้อด้วยวิธีการเผา แล้วทำการแยกเจดสีของเอ็มบริโอโดยเทียบกับแม่แบบเจดสีมาตรฐาน RAL ได้เป็น 4 กลุ่ม คือ Fern green, Yellow green, May green และ Leaf green หลังจากเพาะเลี้ยงเอ็มบริโอบนอาหาร MS เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ทำการวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อน พบว่าความยาวก้านใบกับจำนวนรากของต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากเอ็มบริโอเจดสีต่างๆ วัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจากความยาวก้านใบได้ค่าอยู่ระหว่าง 15.48-16.45 เซนติเมตร จำนวนรากเฉลี่ยระหว่าง 8.25-8.67 ราก/ต้น และต้นอ่อนมีจำนวนยอด 1 ยอด/ต้น ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากเททับด้วยอาหารเหลวสูตร BA ที่ระดับความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพาะเลี้ยงต่อเป็นเวลา 8 สัปดาห์ นำต้นอ่อนของบัวหลวงทั้ง 2 ชนิดไปฉายรังสีแกมมาที่ 0, 20, 30 และ 40 เกรย์ แล้วเพาะเลี้ยงต่อในอาหาร MS เป็นเวลา 4 สัปดาห์ นำข้อมูลการรอดชีวิตของต้นอ่อนมาวิเคราะห์ด้วยวิธี probit พบค่า LD₅₀ ของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวมีค่าเท่ากับ 36.99 เกรย์ และ 35.34 เกรย์ ตามลำดับ

คำสำคัญ: บัวหลวงชมพู บัวหลวงขาว เอ็มบริโอ รังสีแกมมา และ LD₅₀

Abstract

Nelumbo Nucifera Gaertn. is a colorful water plant which has economic value and if mutates into a new species its price will increase. This research aims to 1) culture tissues from embryos of Pink Lotus and White Lotus and 2) determine the sensitivity of their seedlings from tissue culture to gamma rays. Seeds of both Lotus varieties were sterilized with the sintering method. Then, their embryos were separated based on the standard color template RAL into 4 shades including Fern green, Yellow green, May green, and Leaf green. After culturing the embryos on MS agar for 8 weeks, the growth of seedlings was measured. The results showed no statistical significance of the petiole length and root number of the seedlings obtained from each shade of embryos. All seedlings had only 1 shoot/plant, therefore 3 mg/L BA broth was added onto MS agar. After further culturing for 8 weeks, the shoot numbers were increased in all plants. Then, the seedlings of both Lotus varieties were treated with different dosages of gamma rays at 0, 20, 30,

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300

² ห้องปฏิบัติการอนุพันธุศาสตร์และเทคโนโลยีชีวภาพพืช บัณฑิตวิทยาลัย สำนักรงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

¹ Faculty of Science and Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Vajira, Dusit, Bangkok, 10300, Thailand

² Laboratory Molecular Genetics and Plant Biotechnology, Siridhorn Science Home, National Science and Technology Development Agency (NSTDA), Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani, 12120, Thailand

* Corresponding author: Phakpaknam S. Tel.:+66815533069 e-mail: sirirat.ph@ssru.ac.th

and 40 Gy. The treated seedlings were cultured on MS agar for 4 weeks and their survival rate was determined. The probit curve analysis revealed that the LD₅₀ of Pink Lotus and White Lotus were 36.99 and 35.34 Gy, respectively.

Keywords: Pink Lotus, White Lotus, embryo, gamma rays and LD₅₀

บทนำ

ในประเทศไทยนิยมปลูกบัวหลวงเพื่อตัดดอก และเก็บผักสด โดยเฉลี่ยหนึ่งกำมี 6-10 ผัก ราคากำละ 10-20 บาท บัวหลวง จัดได้ว่าเป็นพืชไม้้ำน้ำเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากสามารถนำทุกส่วนของบัวหลวงมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใหล และเหง้าใช้ประกอบอาหารได้ทั้งคาวหวาน ไบอ่อน ไบแก่และ ดอกบัวรุ่งโลहित เกสรใช้ขงเป็นขามีสรรพคุณบัวรุ่งหัวใจ เมล็ด แก้วร้อนใน¹

ปัจจุบันกลุ่มคนที่ชื่นชอบการปลูกบัวทั่วโลกให้ความสนใจกับบัวสายพันธุ์ใหม่ แต่ปัญหาที่พบในวงการบัว คือ แม้จะมีผู้คิดค้นผลิตบัวพันธุ์ใหม่อยู่ตลอดก็ตามแต่ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาด² โดยสังเกตได้จากราคาการขาย ดอกบัวประดับ หากพบสีสันที่แปลกตาหรือพันธุ์ใหม่ จะมีราคาสูงถึงตันละ 300-2,000 บาท ในขณะที่บัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวสายพันธุ์ดั้งเดิม มีราคาประมาณ 80-200 บาท ซึ่งบัวพันธุ์แปลกใหม่ส่วนใหญ่ล้วนถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งสิ้น³ ดังนั้นจะเป็นการดีหากคนไทยสามารถผลิตบัวหลวงพันธุ์ใหม่ได้เอง ตลอดจนปรับปรุงพันธุ์บัวหลวงพันธุ์ดั้งเดิมภายในประเทศให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น การทำให้เกิดบัวหลวงที่มีลักษณะแปลกใหม่ด้วยวิธีการผสมเกสรปรากฏว่าผสมติดยาก เมล็ดบัวลูกผสมส่วนใหญ่อ่อนแอและตายไปในที่สุด⁴

การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อขึ้นส่วนยอดอ่อน, ไบอ่อน พบมีอัตราการรอดชีวิตต่ำ พืชมีการปนเปื้อนสูงเนื่องจากชิ้นส่วนพืชที่มีการเจริญเติบโตได้ในน้ำมีการปนเปื้อนสูงกว่าพรรณไม้ น้ำที่มีการเจริญเติบโตเหนือน้ำ⁴ และเนื้อเยื่อไม่สามารถทนต่อความเข้มข้นของสารฟอกฆ่าเชื้อในระดับความเข้มข้นสูงได้⁵ การฉายรังสีแกมมาเพื่อก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ เป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ได้พันธุ์ใหม่⁶ ซึ่งถูกนำมาใช้ทดแทนการผสมเกสร เนื่องจากใช้เวลาสั้นกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการเพิ่มจำนวนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาว โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอ และการนำต้นอ่อนที่ได้มาฉายรังสีแกมมา ซึ่งเป็นกระบวนการชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ เพื่อเป็นแนวทางในการขยายพันธุ์บัวหลวง และหาปริมาณรังสีแกมมาที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาบัวหลวงให้เกิดพันธุ์ใหม่ ซึ่งเป็นการเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรที่ปลูกบัวหลวงต่อไปในอนาคต

วิธีการศึกษา

1. การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างพืชที่ใช้ในการทดลองคือเมล็ดบัวหลวง ชื่อวิทยาศาสตร์ (*Nelumbo nucifera Gaertn.*) โดยแบ่งเป็นบัวหลวงชมพู (Pink Lotus) หรือบัวปทุม และบัวหลวงขาว (White Lotus) หรือบัวปทุมทริก จัดอยู่ในวงศ์ Nelumbonaceae โดยเมล็ดบัวทั้งสองพันธุ์ได้จากฝักบัวที่มีอายุ 4 สัปดาห์ ซึ่งฝักบัวหลวงชมพูมาจากสวนคุณมังกร ปานสมรักษ์ และฝักบัวหลวงขาวมาจากสวนคุณสมศรี เกียรติทอง เกษตรกรที่ปลูกบัวหลวงในจังหวัดนครปฐม

2. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอบัวหลวงชมพู และบัวหลวงขาว

เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่ใช้ในงานวิจัยนี้ดัดแปลงจากงานวิจัยของวิชัย⁶ โดยนำฝักบัวทั้งสองพันธุ์มาแกะเมล็ดออก ปอกเปลือกเมล็ด แล้วใส่ลงขวดเปล่าที่ผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นทำการฟอกฆ่าเชื้อด้วย 70% ethyl alcohol เป็นเวลา 1 นาที แล้วเททิ้ง เช็ดทำความสะอาดขวดภายนอกด้วย 70% ethyl alcohol ก่อนนำเข้าตู้ถ่ายเนื้อเยื่อ และทำให้ปลอดเชื้ออีกครั้งโดยนำเมล็ดบัวหลวงจุ่ม 95% ethyl alcohol แล้วลนไฟตะเกียง พักเมล็ดบัวบนตะแกรงเหล็ก ทำซ้ำ 2 ครั้ง ใช้มีดตัดตกแต่งชิ้นเนื้อเยื่อ โดยไม่ให้โดนเอ็มบริโอข้างในเสียหาย จากนั้นแยกเจดสีเอ็มบริโอโดยเทียบกับแม่แบบเจดสีมาตรฐาน RAL (German Reichs-Ausschuß far Lieferbedingungen and Gagesicherung) (Figure 1) นำเอ็มบริโอแต่ละเจดสีเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ความเข้มข้น 2,000 ลักซ์ ระยะเวลา 16 ชั่วโมง อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส โดยเพาะเลี้ยงเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผลการเจริญเติบโตของต้นอ่อนบัวหลวงจากความยาวก้านใบ จำนวนราก และจำนวนยอด จากนั้นเททับด้วยอาหารเหลว BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตรขวดละ 5 มิลลิตร แล้วเพาะเลี้ยงต่ออีกเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ บันทึกผลจำนวนยอด

3. การตรวจสอบความไวต่อรังสีแกมมาของต้นอ่อนบัวหลวงชมพู และบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

นำต้นอ่อนบัวหลวงทั้งสองพันธุ์ที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อในอาหารแข็ง MS ที่เททับด้วยอาหารเหลว BA เข้าตู้ถ่ายเนื้อเยื่อ คัดเลือกต้นอ่อนที่สมบูรณ์ ทำการตัดแต่งเอาก้านใบและรากออก ให้เหลือเฉพาะลำต้นและยอด แล้วใส่

ลงในขวดเปล่าขนาด 8 ออนซ์ นำเข้าเครื่องฉายรังสีแกมมา โดยใช้ปริมาณรังสีที่ 0, 20, 30 และ 40 เกรย์ ในระยะเวลาการฉายรังสีแตกต่างกัน คือ 0, 27, 41 และ 55 วินาที ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นส่วนพืชหลังฉายรังสีแกมมาแล้วมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS และพรางแสง 50% ที่อุณหภูมิ 25±2 องศาเซลเซียส ที่เป็นเวลา 1 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงหยุดการพรางแสง โดยให้ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ เพาะเลี้ยงต่อเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ บันทึกผลอัตราการรอดชีวิต และอัตราการตายของต้นอ่อน

4. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 23.0 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนี้

- เปรียบเทียบผลของเจดสีเอ็มบริโอต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ทำการทดลองละ 5 ซ้ำ โดยนำข้อมูลความยาวก้านใบ จำนวนราก และจำนวนยอดมาวิเคราะห์ด้วยวิธี One-way ANOVA (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยทีละคู่โดยวิธีของเชฟเฟ (Scheffe)

- ทดสอบหาปริมาณอัตราการฉายรังสีแกมมาที่เหมาะสม ทำการทดลองละ 5 ซ้ำ โดยคำนวณหาค่า LD₅₀ (ปริมาณรังสีแกมมาที่ทำให้พืชตาย 50%) จากความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีกับอัตราการตายของต้นอ่อนบัวหลวง ด้วยวิธี probit

Patina green	Fir green	Yellow green	Pine green
Emerald green	Grass green	Pastel green	Mint green
Leaf green	Roseda green	Chrome green	Signal green
Olive green	Black green	Pale green	Mint turquoise
Blue green	Reed green	Olive drab	Pastel turquoise
Moss green	Yellow olive	Traffic green	Pearl green
Grey olive	Black olive	Fern green	Pearl opal green
Bottle green	Turquoise green	Opal green	Pure green
Brown green	May green	Light green	Luminous green

Figure 1 The standard color template RAL (German Reichs-Ausschuß far Lieferbedingungen and Gatesicherung)

Source: <https://psscolorguide.com>

ผลการศึกษา

1. ผลการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาว

เมื่อนำเอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาว ทั้ง 4 เจดสี มาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำการวัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจากความยาวก้านใบ จำนวนราก และจำนวนยอด พบความยาวก้านใบของบัวหลวงชมพู มีค่าระหว่าง 15.28-16.18 เซนติเมตร จำนวนรากอยู่ระหว่าง 7.35-7.94 ราก/ต้น และทุกต้นมีจำนวนยอดเพียง 1 ยอดเท่านั้น ซึ่งพบว่าต้นอ่อนที่ได้จากการใช้เอ็มบริโอบัวหลวงชมพูทั้ง 4 เจดสี มีค่าเฉลี่ยความยาวก้านใบ จำนวนราก และจำนวนยอด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1 และ Figure 2A-2D) ส่วนบัวหลวงขาว วัดการเจริญเติบโตของต้นอ่อนจากความยาวก้านใบได้ค่าอยู่ระหว่าง 15.48-16.45 เซนติเมตร จำนวนรากเฉลี่ยระหว่าง 8.25-8.67 ราก/ต้น และทุกต้นมีจำนวนยอดเพียง 1 ยอด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย พบว่าเจดสีของเอ็มบริโอบัวหลวงขาวที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม่มีผลต่อความยาวก้านใบ จำนวนรากและจำนวนยอดของต้นอ่อนบัวหลวงขาว เช่นเดียวกับบัวหลวงชมพู (Table 1 และ Figure 2E-2H) เนื่องจากต้นอ่อนของทั้งบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาว มีจำนวนยอดเพียง 1 ยอด/ต้น ซึ่งมีปริมาณน้อย ไม่เพียงพอสำหรับการนำไปฉายรังสีแกมมา จึงทำการเททับด้วยอาหารเหลวสูตร BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วเพาะเลี้ยงต่อเป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นนับจำนวนยอดของต้นอ่อนบัวหลวงทั้งสองชนิด พบว่าต้นอ่อนของบัวหลวงชมพู มีจำนวนยอดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.88-4.46 ยอด/ต้น พบว่าการใช้เอ็มบริโอของบัวหลวงชมพูทั้ง 4 เจดสีให้ค่าเฉลี่ยจำนวนยอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 2 และ Figure 3A-3D) ส่วนบัวหลวงขาวพบจำนวนยอดเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.22-2.85 ยอด/ต้น เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง พบว่าการใช้เอ็มบริโอของบัวหลวงขาวทั้ง 4 เจดสีในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไม่มีผลต่อจำนวนยอดของต้นอ่อนบัวหลวงขาวเช่นเดียวกับบัวหลวงชมพู (Table 2 และ Figure 3E-3H)

2. ผลการศึกษาความไวต่อรังสีแกมมาของต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

นำต้นอ่อนของบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาฉายรังสีแกมมาโดยใช้ปริมาณรังสีที่ 0, 20, 30 และ 40 เกรย์ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารแข็งสูตร MS เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นวัดอัตราการรอดชีวิตและอัตราการตายของบัวหลวงทั้งสองชนิด

(Table 3) แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่า LD₅₀ ด้วยวิธี probit พบว่า เมื่อใช้ปริมาณรังสีแกมมาเพิ่มสูงขึ้น บัวหลวงทั้งสองชนิดมีอัตราการรอดชีวิตลดลง โดยค่า LD₅₀ ของบัวหลวงชมพูมีค่าเท่ากับ 36.99 เกรย์ (Figure 4) และค่า LD₅₀ ของบัวหลวงขาวมีค่าเท่ากับ 35.34 เกรย์ (Figure 5) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวมีความไวต่อรังสีแกมมาในระดับใกล้เคียงกัน

Table 1 Petiole length, root number, and shoot number of Pink Lotus and White Lotus seedlings obtained from tissue culture of 4 embryo shades on MS agar for 8 weeks.

embryo shades	Pink Lotus			White Lotus		
	petiole length	No. of root/plant	No. of shoot/plant	petiole length	No. of root/plant	No. of shoot/plant
Fern green	15.28 ± 1.77 ^a	7.71 ± 3.12 ^a	1.00 ± 0.00 ^a	15.47 ± 1.83 ^a	8.60 ± 1.19 ^a	1.00 ± 0.00 ^a
Yellow green	15.97 ± 2.00 ^a	7.43 ± 2.63 ^a	1.00 ± 0.00 ^a	16.35 ± 0.70 ^a	8.42 ± 1.92 ^a	1.00 ± 0.00 ^a
May green	16.18 ± 2.15 ^a	7.94 ± 3.43 ^a	1.00 ± 0.00 ^a	16.45 ± 0.68 ^a	8.67 ± 2.02 ^a	1.00 ± 0.00 ^a
Leaf green	15.58 ± 1.66 ^a	7.35 ± 3.14 ^a	1.00 ± 0.00 ^a	15.95 ± 0.50 ^a	8.25 ± 1.83 ^a	1.00 ± 0.00 ^a
Total	15.73 ± 1.93^a	7.60 ± 3.07^a	1.00 ± 0.00^a	16.02 ± 1.17^a	8.71 ± 1.81^a	1.00 ± 0.00^a

* Data was analyzed by using one-way ANOVA and determined the differences among means with Scheffe's test.

* values are mean ± SD (n=5) same letters within a column indicate 0.05 level.

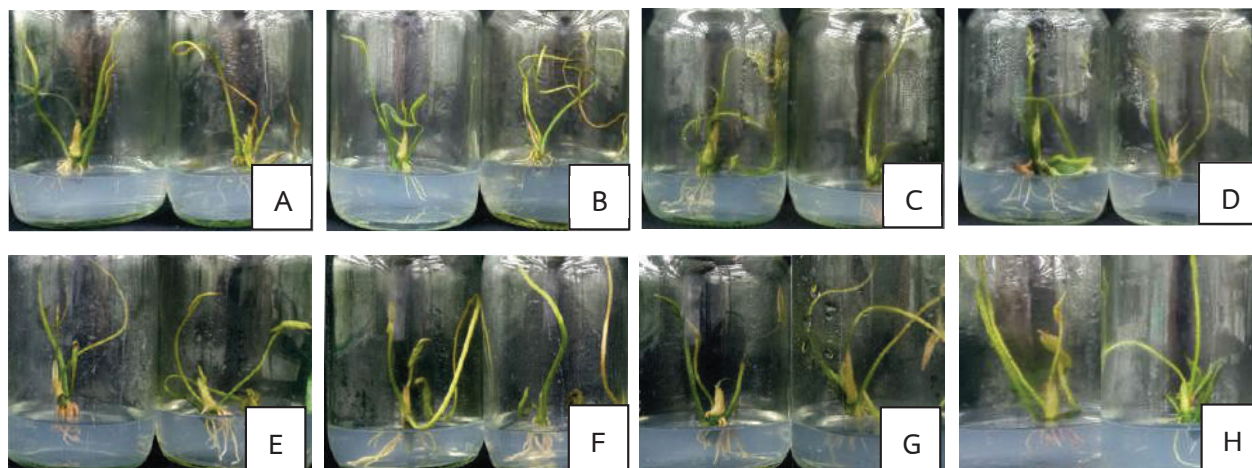


Figure 2 Seedlings of Pink Lotus (A, B, C, D) and White Lotus (E, F, G, H) obtained from 4 embryo shades, including Fern green (A,E), Yellow green (B, F), May green (C, G) and Leaf green (D, H) cultures on MS agar for 8 weeks.

Table 2 Shoot number of Pink Lotus and White Lotus seedlings obtained from tissue culture of 4 embryo shades on MS agar and 3 mg/L BA broth for further 8 weeks.

embryo shades	Pink Lotus		White Lotus	
	No. of seedlings	No. of shoot/plant	No. of seedlings	No. of shoot/plant
Fern green	24	4.46 ± 1.74 ^a	13	2.85 ± 1.63 ^a
Yellow green	25	3.88 ± 1.99 ^a	9	2.22 ± 1.48 ^a
May green	28	4.21 ± 1.73 ^a	12	2.75 ± 1.42 ^a
Leaf green	23	4.09 ± 1.38 ^a	9	2.67 ± 1.80 ^a
Total	100	4.16 ± 1.72^a	43	2.65 ± 1.54^a

* Data was analyzed by using one-way ANOVA and determined the differences among means with Scheffe's test.

* values are mean ± SD (n=5) same letters within a column indicate 0.05 level.

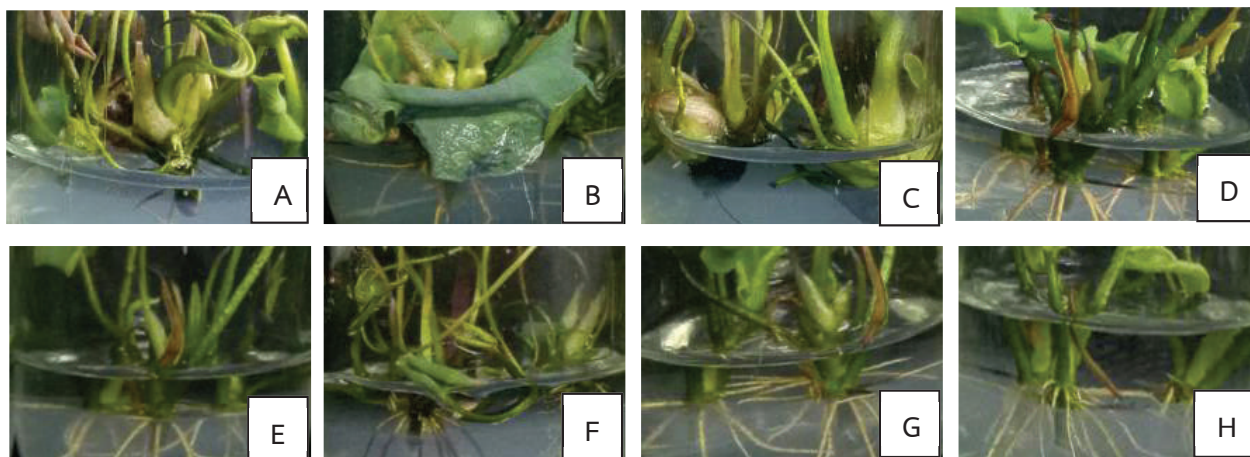


Figure 3 Increasing shoots of Pink Lotus (A, B, C, D) and White Lotus (E, F, G, H) seedlings obtained from 4 embryo shades, including Fern green (A,E), Yellow green (B, F), May green (C, G) and Leaf green (D, H) cultures on MS agar and 3 mg/L BA broth for further 8 weeks.

Table 3 Gamma ray dosages, irradiation period, total treated seedlings, survival and dead seedling numbers after gamma ray treatment of Pink Lotus and White Lotus.

Radiation dose (Gy)	Time (second)	Pink Lotus			White Lotus		
		Total	No. Of Survival	No. Of Dead	Total	No. Of Survival	No. Of Dead
0	0	20	20	0	3	3	0
20	27	40	40	0	20	20	0
30	41	20	17	3	10	6	4
40	55	20	7	13	10	4	6

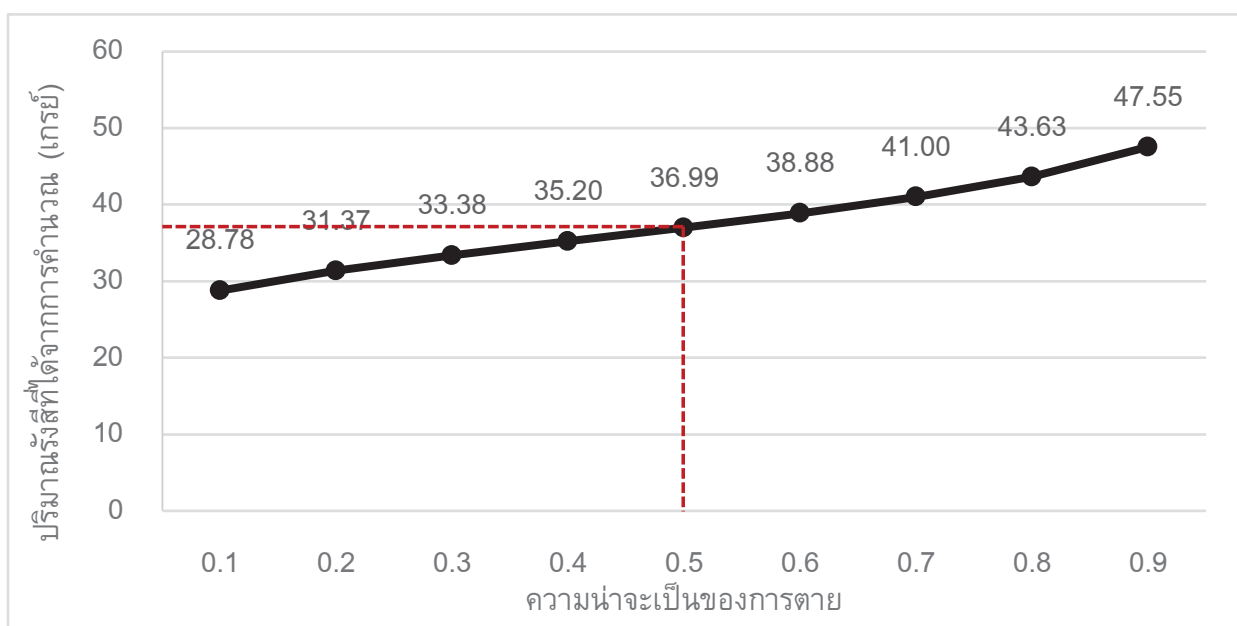


Figure 4 The probit curve analysis of Pink Lotus.

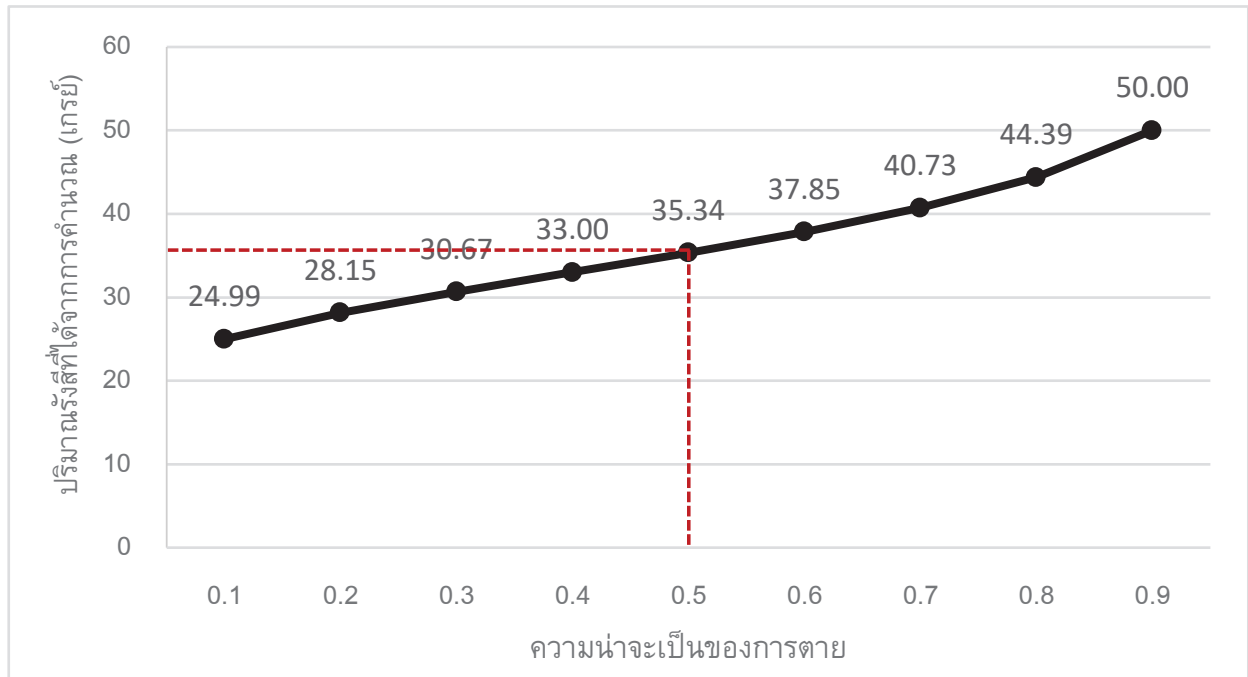


Figure 5 The probit curve analysis of White Lotus.

วิจารณ์และสรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอของบัวหลวง ชมพูและบัวหลวงขาว โดยแยกเฉตสีของเอ็มบริโอได้ 4 กลุ่ม คือ Fern green, Yellow green, May green และ Leaf green แล้วเพาะเลี้ยงลงบนอาหารแข็งสูตร MS เป็นเวลา 8 สัปดาห์ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่าเฉตสีของเอ็มบริโอไม่มีผลต่อความยาวก้านใบ จำนวนราก และจำนวนยอดของต้นอ่อนบัวหลวงทั้งสองพันธุ์ โดยปกติเอ็มบริโอจะมีคลอโรฟิลล์ในใบเลี้ยง เอพิคอติล และไฮโปคอติลเพื่อใช้สำหรับการสังเคราะห์ด้วยแสงในการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ซึ่งสุภาณีและสายัณห์⁷ ได้ใช้เครื่องมือ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบลองกองและเงาะ พบว่าใบที่มีสีเขียวเข้มจะมีปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณไนโตรเจนมาก ซึ่งน่าจะสังเคราะห์ด้วยแสงได้มากกว่าใบที่มีสีเขียวอ่อน แต่ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้พบว่าการเจริญเติบโตของต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการใช้เอ็มบริโอทั้ง 4 เฉตสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเป็นผลมาจากเฉตสีเอ็มบริโอทั้ง 4 กลุ่มค่อนข้างใกล้เคียงกัน จึงอาจมีปริมาณคลอโรฟิลล์ไม่แตกต่างกันมากพอที่จะเห็นผลต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนได้อย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับสุภาณีและสายัณห์⁷ ที่พบว่าใบเงาะมีความเข้มของสีไม่ต่างกันมาก จึงมีการกระจายตัวของปริมาณคลอโรฟิลล์และปริมาณไนโตรเจนน้อยกว่าใบลองกองที่มีความเข้มสีต่างกันชัดเจนกว่า

เมื่อทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อจากเอ็มบริโอบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวบนอาหาร MS เป็นเวลา 8 สัปดาห์ต้นอ่อน

บัวหลวงทั้งสองชนิดเกิดยอด 1 ยอด/ต้น ทำให้ต้นอ่อนบัวหลวงมีลักษณะไม่แข็งแรง จึงทำการเททับด้วยอาหารเหลวสูตร BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อทำการเพิ่มยอด ปรากฏว่าต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวทั้งหมดมีจำนวนยอดเพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับวิชัย⁶ ที่ได้ทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัวหลวงชมพูบนอาหารแข็ง MS ที่เททับด้วยอาหารเหลว BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ในสัปดาห์ที่ 8 พบจำนวนยอดเพิ่มมากขึ้นจากการเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็ง MS อย่างเดียว เนื่องจาก BA จัดเป็นสารในกลุ่มไซโตไคนินซึ่งส่งเสริมการสังเคราะห์โปรตีน กระตุ้นการแบ่งเซลล์ และกระตุ้นการสร้างยอด เมื่อเพิ่มปริมาณ BA มากขึ้นก็ส่งผลให้ต้นอ่อนผลิตยอดเพิ่มขึ้น แต่อาจเป็นเหตุให้จำนวนใบ และความยาวก้านใบลดลง เพราะธาตุอาหารต่างๆ ถูกนำไปใช้ในการสร้างยอด^{8,9} ดังนั้นจึงต้องใช้ BA ในปริมาณที่เหมาะสม เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าจำนวนยอดจากการใช้เอ็มบริโอทั้ง 4 เฉตสีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะเฉตสีของเอ็มบริโอไม่ต่างกันมากนัก ดังกล่าวในข้างต้น

เมื่อนำต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาฉายรังสีแกมมาในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 0, 20, 30 และ 40 เกรย์ แล้วนำไปเพาะเลี้ยงต่อบนอาหารแข็งสูตร MS เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าบัวหลวงชมพูมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 36.99 เกรย์ และบัวหลวงขาวมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 35.34 เกรย์ ก่อนหน้านี้ได้มีรายงานการทดลองฉายรังสีแกมมากับเมล็ดบัวหลวงขาวหรือบุงนุชริก โดยมีค่า LD₅₀ เท่ากับ 60 เกรย์¹⁰ และการทดลองฉายรังสี

แกมมากับไหลของบัวหลวงสกัดบดขยี้ภายใต้สภาวะปลอดเชื้อ พบว่ามีค่า LD₅₀ เท่ากับ 20 เกรย์⁹ การทดลองฉายรังสีเหง้าบัวหลวงสีเหลือง พบว่าปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดการตายครั้งหนึ่ง (LD₅₀) มีค่าประมาณ 17 เกรย์ ความทนทานต่อรังสีค่อนข้างต่ำ⁶ แสดงให้เห็นว่าปริมาณรังสีที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดพันธุ์ของบัวหลวงและชิ้นส่วนที่นำมาฉายรังสี การที่เมล็ดบัวหลวงขาวมีค่า LD₅₀ มากกว่าไหลและต้นอ่อนจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ เป็นผลมาจากเมล็ดมีเปลือกหนาหุ้มช่วยป้องกันการทำลายจากรังสีได้ดีกว่าการฉายเนื้อเยื่อโดยตรง จึงสามารถใช้ปริมาณฉายรังสีที่สูงกว่า ส่วนไหลบัวหลวงสกัดบดขยี้นั้นถูกฉายรังสีแกมมาโดยตรง จึงมีค่า LD₅₀ น้อยกว่าต้นอ่อนบัวหลวงที่ถูกฉายรังสีผ่านตัวกลางคือขวดเพาะเลี้ยงเปล่าขนาด 8 ออนซ์

การฉายรังสีแกมมาเพื่อก่อให้เกิดการกลายพันธุ์เป็นการปรับปรุงพันธุ์พืชให้ได้พันธุ์ใหม่ๆ ซึ่งถูกนำมาใช้ทดแทนการผสมเกสร เนื่องจากใช้เวลาสั้นกว่าและได้เป็นจำนวนมากจากการฉายรังสีแต่ละครั้ง การฉายรังสีเพื่อชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์เป็นวิธีการหนึ่งที่จะก่อให้เกิดความแปรปรวนทางพันธุกรรม⁶ ปริมาณรังสีที่ใช้ต้องมีความเหมาะสม เนื่องจากปริมาณรังสีสูงเกินไปส่งผลให้เกิดอัตราการตายของเนื้อเยื่อมากขึ้นด้วย เนื่องจากรังสีแกมมามีผลการทะลุทะลวงต่อวัตถุทุกชนิด เมื่อปริมาณรังสีเข้มข้นพลังงานในการทำลายล้างสูงจึงส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชตาย เมื่อทำการฉายรังสีแกมมาจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานสูงมากพอที่จะทำให้ไอเล็กตรอนวงนอกสุดของวงโคจรหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุล เมื่อรังสีนั้นชนกับอะตอมหรือเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในวัตถุ เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนหรือได้รับเพิ่มขึ้น เรียกว่า การไอออไนซ์เซชัน^{12,13} ดังนั้นเมื่อฉายรังสีแกมมาให้กับชิ้นส่วนพืชจะเกิดกระบวนการไอออไนซ์เซชันภายในเซลล์¹² อนุมูลอิสระปฐมภูมิและอนุมูลอิสระทุติยภูมิที่ถูกสร้างขึ้น เรียกว่า อนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species, ROS)¹⁵ การสะสมของ ROS ภายในเซลล์พืชส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและปฏิกิริยาต่างๆ ภายในเซลล์พืช เนื่องจาก ROS สร้างความเสียหายให้กับไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและ DNA ที่อาจนำไปสู่การตายของเซลล์ อย่างไรก็ตามเซลล์มีกระบวนการซ่อมแซม DNA เพื่อลดอันตรายจากรังสีหรือสิ่งๆ ที่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์อื่นๆ ให้กลับคืนเป็นปกติหรือทำหน้าที่เดิมได้ แต่ในกระบวนการซ่อมแซม DNA ยังเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ เช่น การซ่อมแซมที่นำเอานิวคลีโอไทด์ที่ต่างจากเดิมเข้ามา หรือการเชื่อมต่อผิดพลาดทำให้เกิดการหายไปของ DNA หรือการเชื่อมต่อสลับที่ซึ่งก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ แต่หาก DNA มีความเสียหายรุนแรงหรือเป็นความเสียหายชนิดซับซ้อน จนเซลล์ไม่สามารถ

ซ่อมแซมกลับคืนสภาพเดิมได้ ทำให้เซลล์เกิดการตายขึ้น¹⁶

เมล็ดพืชเป็นอวัยวะที่มีความแข็งแรงทนทานกว่าส่วนอื่นๆ ประกอบกับเนื้อเยื่อต่างๆ ที่อยู่ในเมล็ด คือคัพภะและใบเลี้ยง มีสภาพที่ปลอดเชื้อสูงจึงเหมาะแก่การใช้เป็นชิ้นส่วนเริ่มต้นในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ¹⁷ เมื่อเททับด้วยอาหารเหลวสูตร BA ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเพิ่มจำนวนยอดบัวหลวงชมพูเฉลี่ย 3.88 – 4.46 ยอดต่อต้นจำนวนมากกว่าบัวหลวงขาว ความไวต่อรังสีแกมมาของต้นอ่อนบัวหลวงนั้นมีความใกล้เคียงกัน โดยค่า LD₅₀ ของบัวหลวงชมพูเท่ากับ 36.99 เกรย์ และค่า LD₅₀ ของบัวหลวงขาวเท่ากับ 35.34 เกรย์ ปริมาณรังสีที่เหมาะสมขึ้นกับชนิดพันธุ์ของบัวหลวงและชิ้นส่วน⁶

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มปริมาณบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวให้เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อแต่ละครั้งสามารถผลิตต้นอ่อนบัวหลวงได้เป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ยังช่วยลดความเสียหายของบัวจากโรคต่างๆ เนื่องจากบัวเหล่านี้อยู่ในสภาพปลอดเชื้อและการนำต้นอ่อนบัวหลวงชมพูและบัวหลวงขาวที่ได้จากการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อไปฉายรังสีแกมมายังเป็นแนวทางการพัฒนาบัวหลวงสายพันธุ์ใหม่ๆ ออกสู่ท้องตลาด เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับบัวหลวง โดยไม่ต้องนำส่วนเมล็ดหรือไหลที่สามารถขยายได้มาใช้ฉายรังสี อย่างไรก็ตามก็ดีลักษณะการกลายพันธุ์ของบัวหลวงที่เกิดขึ้น และการรอดชีวิตหลังการอนุบาลและปลูกในแปลงจริงยังต้องมีการศึกษาต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ผศ.ดร.วชิราภรณ์ พิกุลทอง สำหรับคำปรึกษาและแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันเทคโนโลยีนิวเคลียร์แห่งชาติ(องค์การมหาชน) ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

1. ศิริลักษณ์ กมลวรรณสิทธิ์. ประโยชน์ของบัวหลวง. วารสารคณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัย บูรพา. พฤศจิกายน (2): 2561 ได้จาก: <http://agri-tech.sakaeo.buu.ac.th/index.php/component/k2/item/93-2560-8-21-10-56>. January 10 2018.
2. นพชัย ชาญศิลป์. เทคนิคผสมบัวพันธุ์ใหม่ ปั่นแต่งโฉม บ่อนตลาดโลก. ไทยรัฐ 7 เมษายน 2560.
3. สวนบัวฟ้า. ราคาบัวหลวง. ได้จาก: <https://www.buafahgarden.com/category/25853>.

4. รสา หงษ์รัตน์ และคณะ. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อต้นใบพาย (*Cryptocoryne cordata* Griff.) ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43: กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์: 2548.
5. ภัณฑิลา อุดร. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อบัวจงกลนี้ (*Nymphaea* sp.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: 2551.
6. วิชัย ภูริปัญญวานิช. การเพาะเลี้ยงคัพภะของ บัวหลวง 2 ชนิด (*Nelumbo nucifera* และ *N. lutea*). วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: 2543.
7. สุภาณี และสายัณห์. การใช้เครื่องมือ SPAD-502 เพื่อประเมินปริมาณคลอโรฟิลล์รวมและไนโตรเจนในใบของลองกองและเงาะ. ว.สงขลานครินทร์ วทท. 2545 ; 24(1): 9-14.
8. McGaw, B.A. Plant hormones and their role in plant development. Dordrecht: Martinus Nihoff Publishers ; 1987. P.76-93 (New York State college of agriculture and life sciences ; vol 28)
9. Brock, T.G. and P.B. Kaufman. Growth regulators: an account of hormones and growth regulation. London: Academic Press Inc ; 1991. P. 277-340. (Growth and Development ; vol 88)
10. ไชนียะ ละมะ. การชักนำให้เกิดการกลายพันธุ์ในบัวหลวงสายพันธุ์บุณฑริก (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) โดยการฉายรังสีแกมมา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพฤกษศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์: 2549.
11. Arunyanart, S. and Sootronyatar, S. Mutation induction by γ and x-ray irradiation in tissue cultured Lotus. Plant cell Tissue and Organ Cult. PCTOC. 2002 ; 70(1): 119-122.
12. Jan S, Parween T, Siddiqi To, Mahmooduzza-far. Effects of persowing gamma irradiation on the photosynthetic pigments, sugar content and carbon gain of *Cullen corylifolium* (L.) Medik. Chl J. 2013 ; 73(1): 343-50.
13. Wi SG, Chung BY, Kim JH, Baek MH, Lee JW, Kim YS. Effects of gamma irradiation on morphological changes and biological responses in plants. Micron. 2007 ; 38(1): 553-64.
14. Ismavhin M. Sejarah ilmu pemuliaan mutasi. Jakarta. Universitas Halu Oleo. 2016.
15. Esnault MA, Legue F, Chenal C. Ionizing radiation: advances in plant response. Environ Experimental Botany. 2010 ; 68(1): 231-237.
16. สิริหนูช ลามศรีจันทร์. การกลายพันธุ์ของพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์: 2540.
17. ประศาสตร์ เกื้อมณี. เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ: 2538.

ระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติอำเภอเขาค้อด้วยหลักการออนโทโลยี

Recommendation system Khao Kho natural tourism by ontology

จันทิณภณ นิตธิยวิทย์¹
Thinaphan Nithiyuwit¹

Received: 16 October 2019 ; Revised: 13 January 2020 ; Accepted: 26 February 2020

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและรวบรวมแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ 2) พัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ในรูปแบบออนโทโลยี และ 3) ประเมินประสิทธิภาพระบบฯ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 3 ขั้นตอน คือ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลองค์ความรู้การท่องเที่ยวทางธรรมชาติ จากเว็บไซต์ และผู้มีความรู้/ผู้เชี่ยวชาญ 2) การพัฒนาระบบแนะนำ ประกอบด้วย ฐานความรู้ออนโทโลยี ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ด้วยโปรแกรม MySQL ภาษา SPARQL สำหรับประมวลผลออนโทโลยี ภาษา Python และ PHP ใช้พัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน และ 3) ประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำโดยใช้การหาค่า precision, recall, F-measure และประเมินความพึงพอใจผู้ใช้ต่อระบบ ผลการวิจัยพบว่า ฐานความรู้ออนโทโลยี มี 3 ระดับชั้น จำนวน 18 โหนด และมี 6 กฎการแนะนำ การประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำได้ค่า F-measure เท่ากับ 89.7% และผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อระบบในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (4.48 ± 0.53)

คำสำคัญ: ระบบแนะนำ ออนโทโลยี แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ เขาค้อ

Abstract

This research 1) collected and studied data sources on ecotourism in Khao Kho district, Phetchabun province 2) developed a recommendation system for ecotourism using ontology and 3) assessed performance of the recommendation system. The research process was divided into three parts:-1) collect ecotourism knowledge from websites and knowledgeable persons 2) develop the recommendation system consisting of an ontology knowledge base, relationship database management system (RDBMS) by MySQL, SPARQL command for querying ontology, Python and PHP for web application development and 3) assess the performance of the recommendation system using precision, recall and F-measure and user satisfaction assessment. It was found that the ontology knowledgebase had 3 levels 18 nodes and 6 rule engines. The performance assessment of the recommendation system was F-measure 89.7% and user satisfaction overall was at a high level (4.48 ± 0.53).

Keywords: Recommendation System, Ontology, Ecotourism, Khao Kho

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000

¹ Lecturer, Major of Information Technology, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University 67000

บทนำ

จังหวัดเพชรบูรณ์ได้กำหนดยุทธศาสตร์จังหวัด 5 ปี (2561-2565) โดยพัฒนาให้เป็นจังหวัด 4.0 และเป็น Area Based ที่เชื่อมต่อกับยุทธศาสตร์ 20 ปี ของประเทศไทย ซึ่งควรต้องมีการเตรียมความพร้อมและวางแนวทางการดำเนินงานร่วมกันระหว่างทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง มีการนำนวัตกรรมมาใช้ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของจังหวัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการท่องเที่ยวที่มีความสำคัญที่ช่วยส่งเสริมเศรษฐกิจของจังหวัดเพชรบูรณ์ จากข้อมูลกรมการท่องเที่ยว พบว่า มีจำนวนนักท่องเที่ยวเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี 2561 มีจำนวน 142,776 คน รายได้จากการท่องเที่ยวทั้งสิ้น 399.90 ล้านบาท และสถานประกอบการที่แพคเกจมีอัตราการเข้าพักที่เพิ่มขึ้น¹ และจังหวัดเพชรบูรณ์มีสถานที่ท่องเที่ยวที่นักท่องเที่ยวนิยมเข้ามาเที่ยวมากที่สุด คือ อำเภอเขาค้อ เนื่องจากอากาศเย็นสบายตลอดปี เป็นศูนย์รวมความหลากหลายทางชีวภาพ พันธุ์พืช และพันธุ์สัตว์ รวมทั้งมีจุดท่องเที่ยวที่แวดล้อมไปด้วยทิวทัศน์ที่สวยงาม

แนวทางการพัฒนาการท่องเที่ยวจังหวัดเพชรบูรณ์ให้มีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับยุค 4.0 ควรมุ่งเน้นการพัฒนาแหล่งท่องเที่ยวให้เป็นที่ยอมรับแก่สาธารณชน โดยอาศัยความสามารถของเทคโนโลยีดิจิทัล ที่ช่วยให้นักท่องเที่ยวได้เข้าถึงข้อมูลสารสนเทศด้านการท่องเที่ยวผ่านสื่อต่างๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเปรียบได้ดั่งปัจจัยที่ 5 ในการดำเนินชีวิตอย่างแท้จริง² แต่ในปัจจุบันยังพบว่า การให้บริการข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติผ่านเว็บแอปพลิเคชันมีหลากหลายแหล่งข้อมูล ซึ่งในแต่ละแหล่งให้ข้อมูลเฉพาะบางประเด็นและไม่เพียงพอต่อการตัดสินใจของนักท่องเที่ยวที่ต้องอาศัยข้อมูลคำแนะนำและปัจจัยในการตัดสินใจทั้งในด้านเส้นทางการเดินทาง ที่พัก สิ่งอำนวยความสะดวก สถานที่ท่องเที่ยวบนทางผ่านหรืออยู่ใกล้กันที่มีความเหมาะสมกับความชอบและความสนใจของแต่ละบุคคล รวมทั้งงบประมาณ/ค่าใช้จ่ายในการท่องเที่ยว ทั้งนี้เว็บแอปพลิเคชันต่างๆ มีขอบเขตความสามารถในการให้ผลลัพธ์เฉพาะเรื่องที่ค้นหา ถ้าหากนักท่องเที่ยวต้องการข้อมูลที่หลากหลายและมีความจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลในการตัดสินใจอย่างเร่งด่วน อาจทำให้ต้องเสียเวลาในการเข้าถึงข้อมูลจากหลายๆ เว็บไซต์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีเพื่อนำมาใช้สนับสนุนการตัดสินใจแก่นักท่องเที่ยว ทั้งนี้สถานที่ท่องเที่ยวที่มีคุณลักษณะ เช่น สิ่งดึงดูดใจ สิ่งอำนวยความสะดวก การเข้าถึง รูปภาพ ราคา และทรัพยากรมนุษย์ที่ให้บริการ ทำให้สถานที่เหล่านั้นเหมาะสมและพร้อมให้บริการสำหรับนักท่องเที่ยว³ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจแก่นักท่องเที่ยวได้

ออนโทโลยีเป็นภาษาที่นำมาใช้บรรยายโครงสร้างและความสัมพันธ์ของระบบผ่านโหนดแบบลำดับชั้น และถูก

นำมาใช้ในงานหลายด้านโดยเฉพาะด้านปัญญาประดิษฐ์⁴ ออนโทโลยีจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสืบค้นข้อมูล โดยจะช่วยขยายคำค้นให้เข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและได้ผลลัพธ์ตรงตามที่ใช้ต้องการมากที่สุด โดยซอฟต์แวร์ที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จะสามารถนำเสนอข้อมูลสารสนเทศได้แบบรวมศูนย์ และมีประสิทธิภาพมากกว่าเว็บเชิงความหมายด้านการท่องเที่ยวโดยทั่วไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและรวบรวมข้อมูลแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์
2. เพื่อพัฒนาระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ ด้วยหลักการออนโทโลยี

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ

เขาค้อเป็นสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่มีความนิยมมากของจังหวัดเพชรบูรณ์ มีความหลากหลายทางชีวภาพ พันธุ์พืชและพันธุ์สัตว์ มีจุดท่องเที่ยวที่แวดล้อมไปด้วยทิวทัศน์ที่สวยงาม ทั้งน้ำตก ถ้ำ เกาะ แก่ง หน้าผา จุดชมวิว เขาค้อได้รับการประกาศให้เป็นอุทยานแห่งชาติลำดับที่ 125 ของประเทศไทย มีเนื้อที่กว้างใหญ่ขนาด 301,698 ไร่ ครอบคลุมพื้นที่ป่า 4 ท้องที่ คือ อำเภอหล่มเก่า อำเภอหล่มสัก อำเภอเมือง และอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ พื้นที่ป่าเดิมถูกปกคลุมด้วยต้นค้อ ซึ่งเป็นไม้ตระกูลปาล์มขึ้นอยู่มาก อากาศเย็นสบายตลอดปี และเย็นจัดช่วงฤดูหนาว จึงเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมมากที่สุดแห่งหนึ่งของเพชรบูรณ์⁴

2. ระบบแนะนำ

ระบบที่แนะนำข้อมูลผลิตภัณฑ์ หรือผู้คนที่ให้กับผู้ใช้ระบบ โดยอ้างอิงจากสมมติฐานการเรียนรู้ข้อมูลความชอบหรือความต้องการ ณ ขณะนั้นของผู้ใช้ โดยทั่วไประบบแนะนำประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนข้อมูลพื้นฐานที่ต้องใช้ในการประมวลผล 2) ส่วนการป้อนข้อมูลของผู้ใช้ 3) ส่วนอัลกอริทึมซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 3 วิธีหลัก คือ Contented-Based Recommendation, Collaborative Filtering และ Hybrid Filtering และ 4) ส่วนการนำเสนอคำแนะนำ⁵

3. เทคโนโลยีออนโทโลยี

ออนโทโลยี (Ontology) คือ แนวความคิดในการบรรยายความรู้ที่มีขอบเขต หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการนิยามเพื่อกำหนดโครงสร้าง และความสัมพันธ์ของสิ่งที่สนใจให้มีความหมาย ตามขอบเขตขององค์ความรู้ โดยใช้คลาส ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส และคุณสมบัติของคลาส รูปแบบการบรรยายออนโทโลยีขึ้นอยู่กับภาษาที่ใช้แทนข้อมูลเชิงความหมาย เช่น XML, RDF, RDFS และ OWL⁶ ทั้งนี้แนวทางการพัฒนาออนโทโลยี มี 3 แนวทางคือการพัฒนาแบบบนลงล่าง (Top-Down) การพัฒนาแบบล่างขึ้นบน (Bottom-Up) และการพัฒนาแบบผสม (Combination) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้แนวทางการพัฒนาแบบบนลงล่าง (Top-Down) เป็นวิธีการที่เริ่มจากการกำหนดคอนเซ็ปต์ในโดเมนทั่วไปเริ่มต้นด้วยคำนิยามโดยทั่วไปที่พบมากที่สุดตามแนวคิดในโดเมนและเอาความเชี่ยวชาญนั้นไปคิดป็นแนวทางและกำหนดคอนเซ็ปต์ที่มีความเฉพาะเจาะจง เช่น เริ่มต้นด้วยการสร้างคลาสสำหรับแนวคิดโดยทั่วไปของไวน์จากนั้นสร้างรายละเอียดย่อยๆ (Sub Class) ในคลาสนั้น

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Supranee และ Sirikanjana⁷ ทำวิจัยเรื่องการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมายของการท่องเที่ยวไทยด้วยออนโทโลยีโดยใช้ RDF และ SPARQL ซึ่งศึกษาข้อมูลจากเอกสารและสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเว็บเชิงความหมายออนโทโลยี แล้วนำมาหาความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อนำมาออกแบบและสร้างออนโทโลยีโดยใช้ RDF ซึ่งเป็นโครงสร้างการเก็บข้อมูลสำหรับใช้ในระบบสืบค้นข้อมูล และดำเนินการสร้างหน้าจอส่วนการติดต่อและการสืบค้นข้อมูลด้วยภาษา HTML JavaScript และ PHP โดยใช้ RAP-RDF API for PHP เพื่อดึงข้อมูลจากไฟล์ OWL ที่ได้จากการสร้างออนโทโลยีโดยใช้วิธีการ SPARQL Query ในการสืบค้นข้อมูลจากไฟล์ RDF ความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.94

Seksan และ jakkrit⁸ ทำวิจัยการพัฒนาเว็บระบบคำแนะนำอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วย โดยเน้นไปที่การแสดงวิธีการรวบรวมและวิธีการแปลงประโยคคำถามภาษาไทยเกี่ยวกับอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยที่เป็นภาษาธรรมชาติไปเป็นภาษาที่ใช้ในการสอบถามฐานข้อมูลความรู้ออนโทโลยี (SPARQL) รวมถึงการนำทฤษฎีระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยเฉพาะกลไกอนุมาน (Inference Engine) มาช่วยในการแนะนำอาหารให้ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับผู้ป่วยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลการพัฒนาระบบสามารถช่วยให้ผู้ป่วยสามารถได้รับคำแนะนำในการบริโภคอาหารได้อย่างสะดวกรวดเร็วมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังมีประโยคคำถามในบางกรณีที่ยากต่อการสกัดซึ่งมีผลต่อการแนะนำอาหารที่เหมาะสม

สำหรับผู้ป่วย เช่น คำถามที่มีความยาวและคลุมเครือ

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษารวบรวมองค์ความรู้ เพื่อสร้างฐานความรู้การแนะนำแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยศึกษาโครงสร้างและเก็บรวบรวมข้อมูล/องค์ความรู้แหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ จากเอกสารและแหล่งข้อมูลออนไลน์ที่เชื่อถือได้ (Explicit knowledge) และจากประสบการณ์ตรง (Tacit knowledge) ของผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวทางธรรมชาติ จำนวน 5 คน โดยคัดเลือกแบบเจาะจงจากผู้มีประสบการณ์ในเรื่องประวัติความเป็นมา เส้นทาง เอกลักษณ์ และจุดดึงดูดใจของสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่ง ในเขตอำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนาระบบฯ ผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนการประมวลผลของระบบด้วยแผนภาพ UML และพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ฐานความรู้ออนโทโลยี โดยใช้โปรแกรม Protégé 2) ระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ โดยใช้โปรแกรม MySQL 3) โมดูลการจัดการฐานความรู้ออนโทโลยี และกฎเพื่อการแนะนำ โดยใช้ภาษา Python กับไลบรารี RDFLib และ PHP ในการคิวรีความรู้จากออนโทโลยีด้วยภาษา SPARQL และแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วย Json

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินประสิทธิภาพการทำงานและความพึงพอใจผู้ใช้ต่อการใช้งานระบบฯ ทั้งนี้การเตรียมข้อมูลเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการสืบค้นข้อมูลเชิงความหมาย ได้กำหนด 6 ประเด็นที่ครอบคลุมในเรื่องสถานที่ท่องเที่ยวในหมวดหมู่เดียวกัน กิจกรรมการท่องเที่ยว สถานที่ท่องเที่ยวที่น่าสนใจในเส้นทางผ่าน ซึ่งมีความสอดคล้องและครบถ้วนตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวที่พิจารณาว่าข้อมูลสารสนเทศเหล่านี้จะเป็นประโยชน์แก่นักท่องเที่ยว กำหนดค่าสำคัญ/ข้อมูลเป้าหมายที่ผู้เชี่ยวชาญรวมจำนวน 30 คำสำคัญ/ข้อมูล จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพการสืบค้นข้อมูลในแต่ละประเด็น เพื่อนำจำนวนข้อมูลที่สืบค้นพบ/ไม่พบ มาคำนวณหาค่าความถูกต้อง และใช้วิธีการหาค่า precision, recall, F-measure และแปลผลระดับความพึงพอใจผู้ใช้ต่อระบบ โดยใช้ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลฯ

สามารถสรุปเนื้อหาดัง Table 1 แล้วศึกษารูปแบบฟังก์ชันการทำงาน/การให้บริการของเว็บแอปพลิเคชันด้านการท่องเที่ยวทางธรรมชาติ ที่ให้บริการบนแหล่งออนไลน์

ข้างต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาระบบ ดัง Table 2 หลังจากนั้นศึกษากฎในการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยว จากผู้เชี่ยวชาญด้านการท่องเที่ยวทาง

ธรรมชาติ ที่มีความรู้และประสบการณ์โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก ซึ่งสรุปดัง Table 3

Table 1 Summary of eco tourism knowledge in Khoa Kor, Phetchabun

Knowledge Topics	Details	Resources
30 tour places at Phetchabun	- History - Picture - Facility - Vote	- Tourist review - Location on Gmap - Nearby Accommodation - Service time https://www.wongnai.com/
Khao Kor nature park	- History - Direction - Contact info	- Service time - Linked keywords -Review from tourists http://www.painaidii.com
All Accommodations at khao Kor	- History - Price - Facility - Contact info	- reservation Link and agency info - Link to other tour places https://www.emagtravel.com/
Khao Kor	- History - Accommodation	- Restaurant - Tourist review https://www.paiduaykan.com/
Travel at Khao Kor	- History - Accommodation - Tourist review	- Picture gallery - Tour place news https://travel.mthai.com/

Table 2 Result of studying functions and services of eco-tourism web application on internet

URL	Functions/Services						amount of Function (%)
	Normal Search	Review	Semantic search	Offer promotion	Social networking	Link to related keyword	
https://www.wongnai.com/	✓	✓	✗	✓	üLike, share,checkin	✗	66.7%
http://www.painaidii.com	✓	✓	✗	✗	✓ like	✓	50%
https://www.emagtravel.com/	✓	✓	✗	✗	✗	✗	33.3%
https://www.paiduaykan.com/	✓	✓	✗	✗	✗	✗	33.3%
https://travel.mthai.com/	✓	✓	✗	✗	✗	✗	33.3%
% in overview	100%	100%	0%	16.7%	33.3%	16.7%	43.3%

Table 3 Specialist opinion to tourism recommendation rules

Rule details	Amount of specialist	Percentage
1. Tour place data in the same category	5	21.7
2. Interested activities in each tourist location	4	17.4
3. Tourist attractions on the same pass	3	13.0
4. Accommodation nearly locate with tour place	5	21.7
5. Photo point in each tourism	4	17.4
6. Photo points which are the same view	2	8.7
Sum	23	100.0

2. ผลการพัฒนาระบบ

2.1 ผลการออกแบบฐานความรู้ออนโทโลยีที่สร้างด้วยโปรแกรม protégé แบ่งออกเป็น 3 ระดับชั้นความรู้

มีจำนวนทั้งหมด 18 โหนดความรู้ โดยที่ระดับ ดัง Figure 1 และมีคำอธิบายดัง Table 4

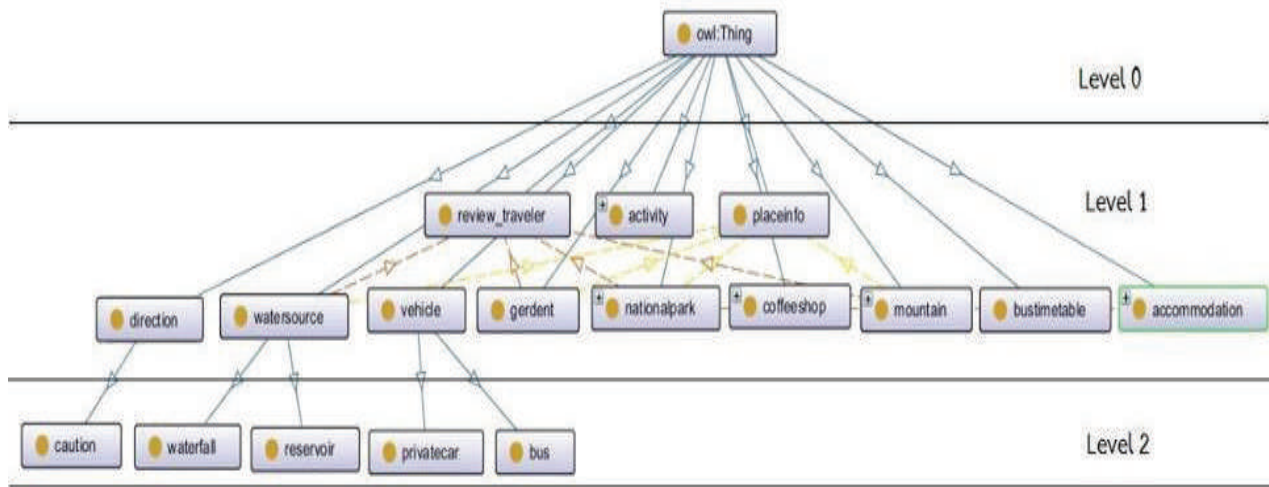


Figure 1 Overview of ontology knowledge base

Table 4 Explain the overall ontology

English Node	Thai Node	Relationship Structure
mountain	สถานที่ประเภทภูเขา	-
nationalpark	สถานที่ประเภทอุทยานแห่งชาติ	-
garden	สถานที่ประเภทสวนสาธารณะ	-
watersource	สถานที่ประเภทแหล่งน้ำธรรมชาติ	-
waterfall	น้ำตก	Subclass of watersource
reservoir	อ่างเก็บน้ำ	Subclass of watersource
accommodation	ที่พัก	-
activity	กิจกรรมการท่องเที่ยว	-
review_traveler	รีวิวจากนักท่องเที่ยว	-
coffeeshop	ร้านกาแฟ	-
bustimetable	ตารางการเดินทาง	-
placeinfo	ข้อมูลพื้นฐานของสถานที่	-
direction	เส้นทาง	-
checkpoint	จุดที่น่าสนใจ	-
caution	คำเตือนเกี่ยวกับเส้นทาง	Subclass of vehicle
vehicle	พาหนะ	-
privatecar	รถส่วนตัว	Subclass of vehicle
bus	รถโดยสารสาธารณะ	Subclass of vehicle

2.2 ผลการออกแบบระบบเชิงวัตถุของระบบด้วย UML ซึ่งในบทความนี้นำเสนอเพียง Use case Diagram เท่านั้น ดัง Figure 2 โดยมีผู้ใช้ระบบ ได้แก่ นักท่องเที่ยว ผู้ดูแลระบบ ซอฟต์แวร์ และออนโทโลยี นักท่องเที่ยวจะลงทะเบียนเข้าใช้ระบบ ส่วนของออนโทโลยีจะแบ่งเป็น OWL ให้ซอฟต์แวร์เข้าถึงและประมวลผลคำแนะนำเกี่ยวกับการท่องเที่ยวในรูปแบบเชิงความหมาย จะมีระบบการค้นหาข้อมูลเชิงความหมายให้บริการแก่นักท่องเที่ยว ส่วนผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้ปรับปรุงข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติในฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ เพื่อให้ระบบดึงข้อมูลไปนำเสนอให้นักท่องเที่ยวที่เป็นปัจจุบัน

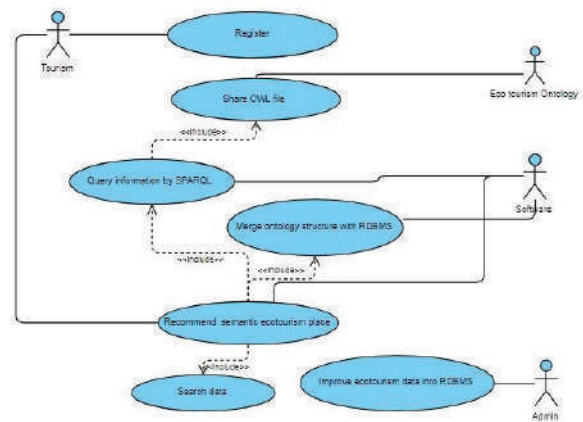


Figure 2 Use case diagram

2.3 ผลการเขียนชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อจัดการฐาน ธรรมชาติ ที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ ได้ผลดัง Table 5 ความรู้ออนโทโลยีตามกฎการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวทาง

Table 5 SPARQL commands for querying ontology knowledge base followed specialist opinion

Recommendation rules	SPARQL commands
1. Tour place data in the same category	<pre>SELECT ?place ?place_type ?place2 WHERE { ?place rdf:type ?place_type. ?place2 rdf:type ?place_type FILTER(?place=x:%s) FILTER(?place2 !=x:%s) FILTER(?place_type !=owl:NamedIndividual) }</pre>
2. Interested activities in each tourist location	<pre>SELECT ?place ?place_type ?checkpoint WHERE { ?place x:has_activity ?checkpoint FILTER(?checkpoint=x:%s ?place=x:%s) }</pre>
3. Tourist attractions on the same pass	<pre>SELECT ?place ?place_type ?road WHERE { ?place x:has_direction ?road FILTER(?place=x:%s) }</pre>
4. Accommodation nearly locate with tour place	<pre>SELECT ?place ?place_type ?accom WHERE { ?place rdf:type ?place_type FILTER(?place=x:%s) FILTER(?place_type !=owl:NamedIndividual) }</pre>
5. Photo point in each tourism	<pre>SELECT ?place ?place_type ?checkpoint WHERE { ?place x:has_checkpoint ?checkpoint FILTER(?checkpoint=x:%s ?place=x:%s) }</pre>
6. Photo points which are the same view	<pre>SELECT ?place ?place_type ?place2 WHERE { ?place rdf:type ?place_type. ?place2 rdf:type ?place_type FILTER(?place=x:%s) FILTER(?place2 !=x:%s) FILTER(?place_type !=owl:NamedIndividual) }</pre>

2.4 ผลการพัฒนาระบบ ซึ่งนำเสนอตัวอย่างระบบ ตามโครงสร้างของออนโทโลยี (Figure 4) และหน้าจอการ ที่พัฒนาแล้วในส่วนของหน้าจอหลัก (Figure 3) หน้าจอ แนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวตามความสนใจของนักท่องเที่ยว (Figure 5) การนำเสนอข้อมูลแนะนำการท่องเที่ยวเชิงความหมาย



Figure 3 main user interface



Figure 4 Presenting semantic knowledge followed ontology structure

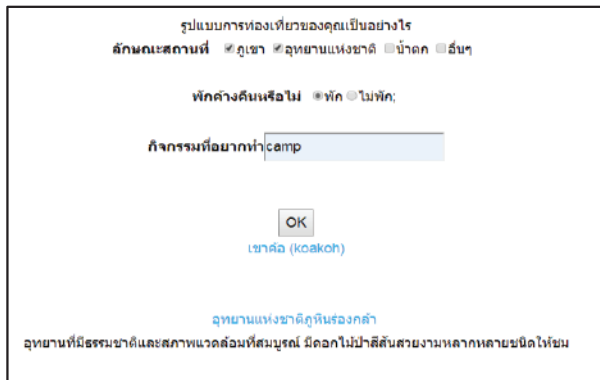


Figure 5 Recommending tourism information followed interesting of tourist

3. ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบ

3.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญ โดยที่ (A) จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้และถูกต้องตามความสนใจ (B) จำนวนข้อมูลที่ถูกต้องตามความสนใจแต่ไม่ถูกสืบค้น และ (C) จำนวนข้อมูลที่สืบค้นได้แต่ไม่ถูกต้องตามความสนใจ รายละเอียดใน Table 6

Table 6 Result of performance testing of recommendation system by specialists

Test lists	Result of semantic searching		
	(A)	(B)	(C)
1. Tour place data in the same category	3	0	1
2. Interested activities in each tourist location	2	0	0
3. Tourist attractions on the same pass	2	0	0
4. Accommodation nearby locate with tour place	1	0	0
5. Photo point in each tourism	3	1	0
6. Photo points which are the same view	2	0	1
Mean	2.17	0.17	0.33
Precision	86.7%		
Recall	92.9%		
F-measure	89.7%		

จาก Table 6 สรุปได้ว่าระบบสามารถแนะนำข้อมูลได้อย่างถูกต้องและครบถ้วนตามความสนใจของผู้ใช้ โดยมีค่า F-measure เท่ากับ 89.7%

3.3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบฯ พบว่า ผู้ใช้ระบบมีความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเป็น 4.48 แสดงรายละเอียดดัง Table 7

Table 7 User's satisfaction to recommendation system in overview

Types	Satisfaction level		
	Mean	S.D.	Result
Content	4.59	0.59	Very high
Design and Alignment	4.19	0.55	High
Useful	4.67	0.45	Very high
Sum	4.48	0.53	High

วิจารณ์และสรุปผล

การวิจัยและพัฒนาในครั้งนี้ทำให้ได้มาซึ่งระบบแนะนำที่เกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่ต้องการมาเที่ยวที่อำเภอเขาค้อ จังหวัดเพชรบูรณ์ แล้วไม่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติในด้านต่างๆ และมีฐานกฎ 6

กฎเงื่อนไข โดยใช้ชุดคำสั่ง SPARQL เพื่อจัดการฐานความรู้ ออนโทโลยีตามกฎการแนะนำข้อมูลการท่องเที่ยวทาง ธรรมชาติที่เสนอแนะโดยผู้เชี่ยวชาญ คือ 1) ข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในประเภท/หมวดหมู่เดียวกัน 2) กิจกรรมที่น่าสนใจในสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่ง 3) สถานที่ท่องเที่ยวที่อยู่ในเส้นทางผ่าน/บนถนนเดียวกัน 4) ที่พักที่ใกล้เคียงกับสถานที่ท่องเที่ยว 5) จุดถ่ายภาพในสถานที่ท่องเที่ยวแต่ละแห่ง และ 6) จุดถ่ายภาพที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่นเดียวกับงานของ สุปราณี ทัพมงคล และศิริกาญญา พิลาบุตร⁷ ที่ใช้ RDF และ SPARQL รวมถึงงานของเสกสรรค์ ศิริวิสัย และจักรกฤษณ์ เสน่ห์ นมะหุด⁸ ที่ใช้การแสดงวิธีการรวบรวมและวิธีการแปลง ประโยคคำถามภาษาไทยเกี่ยวกับอาหารที่เหมาะสมสำหรับ ผู้ป่วยที่เป็นภาษาธรรมชาติเป็นภาษาที่ใช้ในการสอบถาม ฐานข้อมูลความรู้ออนโทโลยี เช่นกัน

ทั้งนี้การนำแนวคิดออนโทโลยีมาใช้เป็นแหล่ง รวบรวมข้อมูลสารสนเทศ และใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรี ข้อมูลสารสนเทศของสถานที่ท่องเที่ยวทางธรรมชาติในงาน วิจัยนี้ แทนการใช้ระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และใช้ภาษา SQL ในรูปแบบเดิมจะช่วยทำให้สืบค้นได้ข้อมูลสารสนเทศที่ อยู่ในขอบเขตที่นักท่องเที่ยวสนใจมากยิ่งขึ้น เนื่องจากออน โทโลยีจะช่วยจำแนกหมวดหมู่ สร้างความสัมพันธ์และเงื่อนไข และให้ความหมายในระดับเนื้อหาความรู้ในรูปแบบกราฟ ซึ่งสามารถใช้ภาษา SPARQL ในการคิวรีเพื่อเข้าถึงความสัมพันธ์ของโหนดความรู้แต่ละโหนด และลงลึกไปในระดับชั้น ความรู้ต่างๆ ที่อยู่ในขอบเขตความสนใจในคำสั่งเดียว และ ทำให้ได้ข้อมูลสารสนเทศที่ลุ่มลึกและชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งหาก เป็นการคิวรีด้วยภาษา SQL กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ จะได้ข้อมูลสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์ระหว่างแฟ้มข้อมูลที่ กำหนดไว้โดยตรง และไม่สามารถระบุความหมายให้กับบาง รายการข้อมูลในแฟ้ม ที่มีความหมายและเงื่อนไขไม่เหมือนกับ รายการข้อมูลอื่นๆ ได้ เช่น นักท่องเที่ยวต้องการค้นหา ที่พัก หากใช้การเก็บและสืบค้นข้อมูลรูปแบบเดิมจะนำเสนอ ข้อมูลเกี่ยวกับที่พัก ราคา และสิ่งอำนวยความสะดวก แต่การใช้ ออนโทโลยี และ SPARQL จะสามารถดึงความรู้ที่เกี่ยวข้อง กับที่พัก เช่น ที่พักเป็นโรงแรม โรงแรมที่ใกล้กันมีหลายโรงแรม ะไรบ้าง มีร้านอาหารไทย จีน มุสลิมตรงไหนบ้าง และหาก นักท่องเที่ยวนับถือศาสนาอิสลาม ก็จะสืบค้นเฉพาะร้านอาหาร อิสลาม และที่พักที่ไม่ไกลจากตำแหน่งนั้น เพื่อการตัดสินใจที่มี ประสิทธิภาพกว่า รวมทั้งออนโทโลยีสามารถแบ่งปันข้อมูลไป ยังฐานความรู้อื่นๆ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทั้งนี้ Chalortham, et al.¹⁰ ได้อธิบายว่าการใช้รูปแบบภาษา OWL ที่สนับสนุน ออนโทโลยีสามารถนำมาเชื่อมโยงข้อมูล และการใช้ข้อมูล ร่วมกันได้ดีกว่าระบบฐานข้อมูล สอดคล้องกับ Afuana and Hidayatb⁹ ใช้ออนโทโลยีในการรวบรวมข้อมูลสารสนเทศการ

ท่องเที่ยวในบานยูมาส ประเทศอินโดนีเซีย เพื่อให้สามารถ สื่อความหมายเพิ่มมากขึ้น และรองรับการแบ่งปันข้อมูลและ นำกลับมาใช้ใหม่ โดยโปรเจกต์ในการสร้างออนโทโลยี และ ทดสอบออนโทโลยีจากคำถามที่จำเป็นต่อการท่องเที่ยว โดยใช้ SPARQL คิวรีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามคำถามต่างๆ ซึ่งช่วยทำให้ ข้อมูลสารสนเทศการท่องเที่ยวในบานยูมาสสื่อความหมาย และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการพัฒนากระบวนการแนะนำแหล่งท่องเที่ยว ทุกประเภทและครอบคลุมทั้งจังหวัดเพชรบูรณ์
2. ควรมีการเพิ่มในส่วนของคุณสมบัติมีเดียในระบบแนะนำเพื่อเป็นการให้นักท่องเที่ยวสามารถเห็นภาพได้มากยิ่งขึ้น
3. ควรมีการนำเทคโนโลยี AI มาช่วยเสริม เพื่อให้ การจัดการข้อมูลมีความฉลาดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Phetchabun Provincial Office. "Phetchabun Provincial Development Plan (2018-2022) Annual Review Year 2020". Phetchabun: Strategy and Information for Provincial Development Division. 2018.
2. Marketingoops. "Main factors affecting modern tourism behavior". [Access Date 10 September 2019] ; Available online at <https://today.line.me/en/pc/article/>. The main factors affecting modern tourism behavior -k7Qr1o ; 2561.
3. Javid seyidov and Roma adomaitiene. "Factors Influencing Local Tourists' Decision-Making on Choosing a Destination: A Case of Azerbaijan". Online ISSN 2424-6166. ekONOmka ; 2016 Vol. 95(3), pp 112-127
4. Kaokor Subdistrict Administration Organization. "Basis information of Kaokor district". [Access Date 10 September 2019] Available Online at <https://www.khaokho.go.th>
5. Felfernig, A., Friedrich, G., & Schmidt-Thieme, L. "Introduction to the IEEE Intelligent Systems Special Issue: Recommender Systems". IEEE Intelligent Systems ; 2007. 22(3), pp 18-21. <https://doi.org/10.1109/MIS.2007.52>

6. L. Kerschberg, M. Chowdhury, A. Damiano, H. Jeong, S. Mitchell, J. Si, and S. "Smith. Knowledge Sifter: Ontology-Driven Search over Heterogeneous Databases". USA: George Mason University, Fairfax, Virginia ; 2004.
7. Supranee Thapmongkol and Siri Kanchana Pilabutr. "Searching for semantic information about tourism using ontology using RDF and SPARQL". Research Article ; 2016. Vol. 5(2), pp 5- 11.
8. Seksan Siwilai and Chakrit Sennahutoot. "Development of a question-answer system for recommending appropriate food for patients". National Academic Conference on Information Technology. The 5th (22-23 May 2009) ; 2013 pp 167-172.
9. Lasmedi Afuana and Nurul Hidayat. "Ontology model for tourism information in Banyumas". AIP Conference Proceedings Volume 2094 Conference date: 14-15 November 2018 at Central Java, Indonesia ; 2019.
10. Chalortham Nopphadol, et al. "Development of Generic Drug Tablet Production Expert System". in Knowledge, Information and Creativity Support Systems, 2008. (KICSS-2008) 3rd International Conference on 2008.

การวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อเกมมือถือพีชจี้ด้วยเหมืองข้อความ

Opinion analysis on PlayerUnknown's Battlegrounds (PUBG) mobile games using text mining

วสวัตตี อินทร์แปลง^{1*}, จารี ทองคำ²
Wossawat Inplang^{1*}, Jaree Thongkam²

Received: 16 January 2020 ; Revised: 10 April 2020 ; Accepted: 19 May 2020

บทคัดย่อ

เหมืองข้อความ เป็นกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลตัวอักษรเพื่อสกัดข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากแหล่งข้อมูล ปัจจุบันเทคนิคในการจำแนกเหมืองข้อความมีหลายวิธี งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเทคนิคการจำแนก จาก 5 เทคนิคที่มีประสิทธิภาพ คือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine (SVM) เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest โดยเก็บรวบรวมข้อความความคิดเห็นต่อเกมมือถือพีชจี้จำนวน 3,798 ข้อความ ในกระบวนการคัดเลือกคำบ่งชี้เพื่อใช้ในการแยกคุณลักษณะได้เลือกใช้คำวิเศษณ์ และคำสแลงบางคำที่ความหมายของคำเป็นคำวิเศษณ์เพื่อทำการแยกคุณลักษณะเชิงบวกและเชิงลบ ผลการศึกษาพบว่ามีความไม่สมดุลของคลาสในข้อมูล โดยมีจำนวนคลาสหนึ่งมากกว่าอีกคลาสหนึ่งเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้ทำการแก้ปัญหาโดยการปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยวิธี SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique) และใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพการจำแนกของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) เมื่อทำการทดสอบและวัดประสิทธิภาพของโมเดลพบว่า เทคนิค K-Nearest Neighbor ให้ผลดีที่สุดในการวิเคราะห์ความคิดเห็น โดยให้ค่าความแม่นยำ 99.75% ค่าความระลึก 100% และค่าความถูกต้อง 99.87%

คำสำคัญ: เหมืองข้อความ, ความคิดเห็น, เกมมือถือ, ข้อมูลไม่สมดุล, การสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อย

Abstract

Text mining is one of the most effective data analysis processes using alphabetic methods. Currently, text mining techniques are classified in a variety of ways. This research aims to find the most effective of 5 techniques that were Naïve Bayes, Support Vector Machine (SVM), K-Nearest Neighbor C4.5, and Random Forest. The data collected, in total of 3,798 messages, were all made by the viewers. The categorization process divided the data into 2 groups: positive character and negative character. Interestingly, the process has only indicated selection of adverbs and slangs as a core division to produce positive and negative characters. After analyzing the data, two problems were found class imbalanced. SMOTE were used for filtering and to increase the minority class. 10-fold cross validation was applied to segment the data into training and testing sets. Moreover, precision recall and accuracy are used as the criteria for selecting the most effective model. The results showed that the K-Nearest Neighbor produced greatest accuracy in categorizing the messages with a precision of 99.75% recall of 100% and accuracy score of 99.87%.

Keywords: Text mining, Opinion, Mobile game, Imbalanced data, SMOTE

¹ นิสิตปริญญาโท, หน่วยวิจัยสารสนเทศประยุกต์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

² อาจารย์ที่ปรึกษา, หน่วยวิจัยสารสนเทศประยุกต์ คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

¹ Master degree student, Applied Informatics Research Unit, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

² Advisor, Applied Informatics Research Unit, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Maha Sarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author ; Email address: wossawat.inplang@gmail.com

บทนำ

ปัจจุบันโทรศัพท์มือถือทำให้คนทุกเพศทุกวัยสามารถเข้าถึงเกมได้ง่ายและมากขึ้น การที่เกมถูกผสมผสานเข้ากับเทคโนโลยีต่างๆ ทำให้เกมบนมือถือได้รับความนิยมและมีความน่าสนใจมากขึ้น ซึ่งอุตสาหกรรมเกมเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูง ทำให้ผู้ผลิตและพัฒนาเกมต้องแข่งขันกันพัฒนาเกมมือถือออกมาให้มีคุณภาพและตรงกับความต้องการของผู้เล่นอยู่เสมอ PlayerUnknown's Battlegrounds: Mobile (PUBG Mobile) หรือเรียกสั้นๆ ว่า ผับจี โมบาย เป็นเกมมือถือที่ดาวน์โหลดได้ฟรี ซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน¹ แม้ว่าเกมมือถือผับจีจะสามารถดาวน์โหลดได้ฟรี แต่ถ้าหากผู้เล่นต้องการซื้ออุปกรณ์หรือไอเทมภายในเกมเพิ่มเติม ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายผ่านการเติมเงินเข้าระบบเพื่อนำมาซื้อไอเทมนั้น การพัฒนาเกมให้มีคุณภาพ ไม่มีข้อบกพร่อง (Bug) และตรงกับความต้องการของผู้เล่นจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งของผู้ผลิตและพัฒนาเกม ซึ่งแหล่งที่มาสำคัญเพื่อช่วยระบุคุณลักษณะของเกมคือความคิดเห็น (Opinion) ที่มาจากผู้เล่น ซึ่งผู้เล่นจะกล่าวถึงความพึงพอใจที่มีต่อเกม รวมถึงปัญหาที่ผู้เล่นพบเจอจากการเล่นเกม และความคิดเห็นของผู้เล่นที่มีต่อเกมมือถือผับจียังเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อผู้เล่นเกมอื่นๆ ในการตัดสินใจเลือกดาวน์โหลดเกมมือถือผับจีมาเล่น หรือตัดสินใจเติมเงินเข้าระบบเพื่อซื้อไอเทมภายในเกม² หากผู้ผลิตและพัฒนาเกมสามารถนำความคิดเห็นของผู้เล่นมาสร้างความพึงพอใจหรือนำมาปรับปรุงคุณภาพของเกมด้วยการสกัดข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้เล่นที่มีต่อเกมได้ ก็จะสามารถพัฒนาเกมให้มีคุณภาพที่ดียิ่งขึ้น เป็นไปตามความต้องการของผู้เล่น และยังเป็นอีกช่องทางหนึ่งในการเข้าถึงผู้เล่น อีกทั้งยังสามารถแข่งขันความได้เปรียบในการแข่งขันกับคู่แข่งทางการตลาดอีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากข้อความความคิดเห็นของผู้เล่นเกมมือถือผับจีนั้นมีจำนวนมาก และมีลักษณะเป็นภาษาธรรมชาติ (Natural Language) ทำให้ข้อความความคิดเห็นมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีการใช้ภาษาที่ไม่ถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ และมักไม่มีการสรุปว่าประโยคที่ผู้เล่นกล่าวถึงนั้นมีความคิดเห็นเป็นเชิงบวกหรือเชิงลบ ซึ่งหากต้องการทราบต้องเสียเวลาในการจำแนกเป็นอย่างมาก

การประมวลผลภาษาธรรมชาติ คือการแปลความจากภาษาธรรมชาติที่มนุษย์ใช้สื่อสารกันให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นโครงสร้าง (Structured Data) ที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้ 2 แนวทาง³ คือ แนวทางการศึกษาและทำความเข้าใจกับโครงสร้างทางภาษาศาสตร์ และอีกแนวทางคืออาศัยความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยการแทนความรู้ (Knowledge Representation) ด้วยคลังคำ (Corpus) ซึ่งการวิเคราะห์ความคิดเห็นที่เป็นภาษาไทยเป็นเรื่องท้าทาย เนื่องจากข้อความ

แสดงความคิดเห็นส่วนใหญ่ที่อยู่บนอินเทอร์เน็ตนิยมใช้ภาษาที่มีโครงสร้างประโยคที่ไม่แน่นอน (Unstructured Data) หรือเป็นภาษาธรรมชาติ ไม่ถูกต้องตามหลักไวยากรณ์ทางภาษา ซึ่งภาษาไทยมีรูปแบบการเขียนคำยาวต่อกัน ไม่มีการเว้นวรรคระหว่างคำดังเช่นภาษาอังกฤษ ทำให้ยากต่อการวิเคราะห์ ทำให้ข้อความความคิดเห็นที่เป็นภาษาไทยนั้นจะต้องตัดประโยคออกเป็นคำก่อน

การวิเคราะห์เหมืองข้อความ (Text Mining) ซึ่งเป็นกระบวนการเพื่อสกัดเอาความรู้จากภาษาธรรมชาติที่มีลักษณะของข้อมูลแบบไม่มีโครงสร้าง อีกทั้งไม่มีการกำหนดรูปแบบไว้ล่วงหน้า ในการทำเหมืองข้อความมีนักวิจัยหลายท่านนำเทคนิคเหมืองข้อมูลมาประยุกต์ในการวิเคราะห์ความคิดเห็น ซึ่งเป็นอีกกระบวนการของการวิเคราะห์เหมืองข้อความ⁴ โดยการนำเอาความคิดเห็นมาทำการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงความพึงพอใจที่มีต่อสิ่งนั้นๆ และการสกัดคำตามคุณลักษณะที่แตกต่างกันก็อาจได้มาซึ่งประโยชน์เพื่อการพิจารณาวิเคราะห์ที่หลากหลายและแม่นยำมากขึ้น เช่น ประสิทธิภาพ และคณะ⁵ ได้ทำการแบ่งกลุ่มข้อความจากข้อความรีวิว โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยเทคนิค SVM เทคนิค Decision Tree เทคนิค k-NN และเทคนิค Naive Bayes จากการทดลองพบว่าโดยเทคนิค SVM ได้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ 86.26% ส่วนพัชรนิกันต์ พงษ์ธนู และคณะ⁶ นำเสนอการวิเคราะห์เหมืองข้อความจากการเก็บข้อมูลการแสดงความคิดเห็นของลูกค้าบนเว็บไซต์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการบริการของเว็บไซต์ให้ผู้บริการโรงแรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้เทคนิควิธีต้นไม้ตัดสินใจ ID3 และเทคนิค Naive Bayes จากการทดลองพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุดที่ 95.50% K. Gowtham Reddy และ Jagadeesh Gopal⁷ ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความคิดเห็นเกี่ยวกับบทวิจารณ์เกมที่อยู่บน Twitter ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง โดยนำความคิดเห็นมาจำแนกว่าความคิดเห็นแต่ละความคิดเห็นเป็นความคิดเห็นเชิงบวกหรือเชิงลบ โดยเก็บข้อมูลบน Twitter จำนวน 1,200 ข้อความ มาจำแนกด้วยเทคนิค Support vector machine, Naive Bayes และ Maximum Entropy ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าเทคนิค Maximum Entropy ให้ค่าความถูกต้องมากที่สุดที่ 90% Ha-Na Kang, Hye-Ryeon Yong, และ Hyun-Seok Hwang⁸ ได้ศึกษาการวิเคราะห์ข้อมูลรีวิวเกมออนไลน์บนชุมชน STEAM โดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลมาจำแนกว่ารีวิวใดมีประโยชน์บ้าง ซึ่งใช้ข้อมูลรีวิวเกมจำนวน 79,437 ข้อความ จากทั้งหมด 11 เกม โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ CART เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และใช้หลักการการวัดประสิทธิภาพแบบ 10-fold cross validation จากผลการทดลองพบว่าเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ

CART มีประสิทธิภาพดีกว่า ส่วน Rohan Bais, Pasal Odek และ Seyla Ou⁹ ได้ศึกษาและทดสอบการจำแนกความคิดเห็นของรีวิวเกมบน STEAM ซึ่งใช้ข้อมูลจำนวน 5,000 ข้อความจากเกมทั้งหมด 100 เกม โดยแบ่งความคิดเห็นเป็น 2 กลุ่มคือความคิดเห็นเชิงบวกและเชิงลบ โดยใช้เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM และเทคนิค Logistic Regression และใช้หลักการการวัดประสิทธิภาพแบบ 10-fold cross validation โดยแบ่งเป็นชุดข้อมูลฝึก 70% ชุดข้อมูลทดสอบ 30% จากผลการทดลองพบว่าเทคนิค SVM ให้ความถูกต้องมากที่สุดที่ 93.50% แต่เทคนิคเหล่านี้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพได้ถ้ามีความไม่สมดุลของข้อมูล¹⁰ โดยมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการสังเคราะห์ข้อมูลเพิ่มของข้อมูล SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique:) เช่น งานวิจัยของ เซวานันท์ โสโท¹¹ ได้สร้างแบบจำลองการทำนายผลการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และใช้ SMOTE มาทำการปรับสมดุลของข้อมูลแล้วทำการสร้างแบบจำลอง ผลการทดลองโครงข่ายประสาทเทียมที่มีการปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยวิธีการ SMOTE มีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดีกว่าวิธีอื่นโดยมีค่า ความถูกต้องเท่ากับ 81.70% ค่าความไวเท่ากับ 94.47% และค่าความจำเพาะเท่ากับ 55.47%

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองในการวิเคราะห์ความคิดเห็นต่อเกมมือถือด้วยเครื่องมือข้อความ โดยการนำข้อความความคิดเห็นของผู้เล่นเกมมือถือมาจัดเป็น 2 กลุ่ม คือ ความคิดเห็นเชิงบวกและความคิดเห็นเชิงลบ และปรับความไม่สมดุลของข้อมูลด้วยเทคนิค SMOTE เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Naïve Bayes เทคนิค SVM (Support Vector Machine) เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองผู้วิจัยจะใช้หลักการ 10-fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่า ความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) และค่าความถูกต้อง (Accuracy)

ทฤษฎีและเทคนิคที่เกี่ยวข้อง

1. ความหมายของเกม

เกม¹² หมายถึงการเล่นที่ผู้เล่นอยู่ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมและมีจุดเริ่มต้นและจุดจบที่ชัดเจน ในเงื่อนไขที่จำกัดและอิสระ การเล่นเกมเป็นการมุ่งใช้ความสามารถในการแสดงความสามารถเพื่อเอาชนะหรือแข่งขันบนเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆ

2. PlayerUnknown's: Battlegrounds (PUBG)

เป็นเกมเอาชีวิตรอด (Survival Game) แบบออนไลน์หลายผู้เล่น (Online Multiplayer) จัดอยู่ในประเภทเกมแอคชั่น (Action Game) พัฒนาและเผยแพร่โดย PUBG Corporation ซึ่งเป็นบริษัทย่อยของ Bluehole บริษัทวิดีโอเกมของเกาหลีใต้ เกมดังกล่าวมีพื้นฐานมาจาก mods ก่อนหน้านี้ที่สร้างขึ้นโดย Brendan Greene ผู้ใช้ชื่อในโลกอินเทอร์เน็ตว่า "PlayerUnknown" ซึ่งได้แรงบันดาลใจจากภาพยนตร์เรื่อง Battle Royale ของญี่ปุ่นปี 2000 และขยายเป็นเกมเดี่ยว (Standalone) ภายใต้ทิศทางการสร้างสรรค์ของ Greene ในเกม PUBG จะมีผู้เล่นถึง 100 คนกระโดดลงมาจากเครื่องบินพร้อมร่มชูชีพลงบนแผนที่ที่เป็นเกาะร้าง และวิ่งหาอาวุธและอุปกรณ์เพื่อฆ่าคนอื่นในขณะที่ต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้ตัวเองถูกฆ่าตาย พื้นที่ปลอดภัย (Safe Zone) ที่มีอยู่ในแผนที่ของเกมจะลดขนาดลงเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งจะบีบผู้เล่นที่รอดชีวิตมาสู่พื้นที่ที่จำกัดมากขึ้นเพื่อบังคับให้เผชิญหน้ากัน ผู้เล่นหรือทีมใดอยู่รอดเป็นทีมสุดท้ายก็คือผู้ชนะ¹³

3. เทคนิค Naïve Bayes

มีพื้นฐานมาจากกฎของเบย์¹⁴ เป็นทฤษฎีทางด้านสถิติโดยนำความน่าจะเป็นมาใช้ประเมินความไม่แน่นอนให้เป็นตัวเลข กล่าวถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (A) ถ้ามีเหตุการณ์อีกเหตุการณ์หนึ่งเกิดมาแล้ว (B) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่าย ดังสมการที่ 1

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

$P(A|B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ A จะเกิดขึ้นถ้าเหตุการณ์ B เกิดขึ้นแล้ว

$P(B|A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ B จะเกิดขึ้นถ้าเหตุการณ์ A เกิดขึ้นแล้ว

$P(A)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A

$P(B)$ คือ ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B

4. เทคนิค Support Vector Machines

เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาการจำแนกข้อมูล ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและจำแนกข้อมูล¹⁵ โดยอาศัยหลักการของการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อสร้างเส้นแบ่งแยกกลุ่มข้อมูลที่ถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการสอนให้ระบบเรียนรู้ โดยเน้นไปยังเส้นแบ่งแยกและกลุ่มข้อมูลที่ดีที่สุด แนวความคิดของเทคนิควิธี SVM นั้นเกิดจากการที่นำค่าของกลุ่มข้อมูลมาวางลงในพีเจอาร์สเปซ จากนั้นจึงหาเส้นที่ใช้แบ่งข้อมูล

ทั้งสองออกจากกัน โดยจะทำการสร้างเส้นแบ่งที่เป็นเส้นตรงขึ้นมา เพื่อให้ทราบว่าเส้นตรงที่แบ่งกลุ่มสองกลุ่มออกจากกันนั้น เส้นใดเป็นเส้นที่ดีที่สุดสำหรับ SVM นั้นเดิมได้มีการนำมาใช้กับข้อมูลที่เป็นเชิงเส้นแต่ในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่นำมาใช้ในระบบการสอนให้ระบบเรียนรู้ส่วนใหญ่มักเป็นข้อมูลแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการนำ Kernel Function มาใช้ การจำแนกข้อมูลบนระนาบหลายมิติ จะใช้ส่วนการเลือกที่มีความเหมาะสมที่สุดเรียกว่า โครงสร้างในการคัดเลือกซึ่งโครงสร้างในการคัดเลือกมาจากข้อมูลที่สอนให้ระบบเรียนรู้จำนวนเซตของโครงสร้างที่ใช้อธิบายในกรณีหนึ่ง เรียกว่า เวกเตอร์ ดังนั้นจุดมุ่งหมายของตัวแบบ SVM คือ แบ่งแยกกลุ่มของเวกเตอร์ในกรณีนี้ด้วยหนึ่งกลุ่มของตัวแปรของเป้าหมายที่อยู่ข้างหนึ่งของระนาบและกรณีของกลุ่มอื่นที่อยู่ทางระนาบต่างกัน ซึ่งเวกเตอร์ที่อยู่ข้างระนาบหลายมิติทั้งหมดเรียกว่า ซัพพอร์ตเวกเตอร์ ซึ่งวิธีการนี้เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีมิติของข้อมูลสูง

5. เทคนิค K-Nearest Neighbor

เป็นวิธีการในการจัดแบ่งคลาส โดยเทคนิคนี้จะตัดสินใจว่า คลาสใดที่จะแทนเงื่อนไขหรือกรณีใหม่ๆ ได้บ้าง หลักการของวิธีการนี้¹⁶ จะจำแนกประเภทข้อมูลโดยขึ้นกับข้อมูลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมากที่สุด k ตัวจากข้อมูลบนชุดข้อมูลตัวอย่าง ทำงานโดยขึ้นกับระยะทางน้อยสุดจากสมาชิกใหม่หรือข้อมูลที่ป้อนถาม (Input Query Instance) กับข้อมูลตัวอย่างฝึกฝนจะคำนวณหาเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด k ตัว หลังจากนั้นจะรวบรวมสมาชิกที่ใกล้เคียงที่สุด k ตัวแล้วเลือกคลาสที่สมาชิกส่วนใหญ่ที่สุดในกลุ่ม k ดังกล่าวสังกัดอยู่มากที่สุดให้กับสมาชิกใหม่

6. เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5

C4.5¹⁵ เป็นเทคนิคในการสร้างต้นไม้ การตัดสินใจพัฒนาโดย J. Ross Quinlan ในปี 1993 โดยนำเอา ID3 มาปรับปรุงให้มีความสามารถมากขึ้นใช้วิธีการ Information Gain เพิ่มเติมการจัดการกับข้อมูล, ตัวเลข, ข้อมูลที่ขาดไปและไม่สมบูรณ์ และการ Prune ด้วยการแทนกิ่ง (Branch) ที่ไม่ช่วยในการตัดสินใจด้วย Leaf Node ที่ตัดสินใจได้ดีกว่า การแบ่งของ tree ในการทำงานขั้นตอนแรกคล้ายกับการทำงานด้วย ID3 คือต้องหา Info และ Gain ออกมาก่อน

7. เทคนิค Random Forest

เป็นเทคนิคการสุ่มเลือกใช้ข้อมูลและคุณลักษณะ Decision Tree¹⁷ ซึ่งถูกสร้างจากการนำข้อมูลไปสุ่มเลือก

ตัวอย่างแบบเลือกแล้วใส่กลับ (Sampling with Replacement) แล้วนำมาสร้างเป็น Tree ซึ่งจะมีตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ไม่ถูกเลือก ซึ่งข้อมูลส่วนนี้เรียกว่า Out-of-Bag (OOB) จะถูกนำมาใช้ในการทดสอบ Decision Tree วิธีการดังกล่าวนี้เรียกว่า Bagging ผลลัพธ์ที่ได้อย่างอิสระจาก Decision Tree ในแต่ละต้นถูกนำมาคิดเป็นผลการโหวต ผลโหวตที่มากที่สุดจะใช้ระบุสถานะของคลาส เทคนิค Random Forest ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทดสอบ เพื่อประมาณความผิดพลาดเพราะข้อมูล OOB นั้นถูกนำมาใช้ทดสอบ Decision Tree นั้นแล้ว

8. Synthetic Minority Over-sampling Technique

Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE)¹⁰ เป็นเทคนิคในการสุ่มตัวอย่างของคลาสที่น้อยเพื่อแก้ปัญหาชุดข้อมูลที่มีคลาสไม่สมดุล ซึ่งข้อมูลมีจำนวนตัวอย่างแตกต่างกันมากในแต่ละคลาส เมื่อทำการจำแนกประเภท จะทำให้มีการเรียนรู้แต่ข้อมูลกลุ่มที่มาก ผลที่ได้ก็จะจำแนกไปในข้อมูลที่มีกลุ่มมาก วิธี SMOTE เป็นวิธีการเพิ่มจำนวนข้อมูลประเภทที่มีข้อมูลน้อย ให้เพิ่มปริมาณข้อมูลใกล้เคียงกับประเภทที่มีมากที่สุด โดยสุ่มค่าขึ้นมาหนึ่งค่า และหาระยะห่างระหว่างค่าที่เลือกกับทุกๆ ค่า แล้วเลือกค่าที่ใกล้เคียงที่สุด เช่น กำหนดไว้ 5 ค่า สุ่มค่าจากที่เลือก 1 ใน 5 หาค่าอยู่ระหว่างค่าที่เลือกตอนแรกและค่าที่สุ่มมาตอนหลังเพื่อนำค่าที่ได้มาเพิ่มจำนวนข้อมูล ดังสมการที่ 2

$$X_{\text{new}} = X_i + (X_i^{\wedge} - X_i) \times \delta \quad (2)$$

X_{new} คือ ข้อมูลใหม่

X_i คือ ข้อมูลที่สุ่มในตอนแรก

X_i^{\wedge} คือ ข้อมูลที่สุ่มมาเพิ่ม

δ คือ ค่าสุ่มตั้งแต่ 0-1

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีกระบวนการในการทำเหมืองข้อความ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2562 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2562 บน Google Play จำนวน 3,798 ความคิดเห็น โดยใช้โปรแกรม WebHarvy ในการดึงข้อมูลความคิดเห็นออกมา ดัง Table 1

Table 1 Examples of reviews

No	User	Date	Review
1	JAMEMY CHA	1/2/2019	ชอบมากเลยครับ พัฒนาต่อไป
2	Song Kung	1/2/2019	ข้าวมันไก่เจี๊หม่อมอร่อยมากครับ
3	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	เกมดีมากแต่เวลาโหลดโหดโหลดยากมาก
4	ยา สาม	1/2/2019	สุดยอดเลยสักเพ่ เป็นอีกหนึ่งเกมที่เล่นสนุกมาก
5	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	ชอบอุนะแต่กระตักไปหน่อย
6	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	สนุกเห็นดีอะไรบ้างที่แอบลืมนึกเขาเลยจะยดไม่ได้
7	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	เกมpingมันมากมาก
8	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	ดีมากๆชอบเกมนี้เป็นอันดับ1ของใจ
9	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	ดีมากเลยครับ ชอบคุณสำหรับเกมดีๆครับ
10	ผู้ใช้ Google	1/2/2019	เกมนี้ดีมากครับเอฟเฟคสวยคีย์ไม่ได้รับพลาดมาก

2. การเตรียมข้อมูล

1) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Data Cleaning)

เป็นการนำเอาข้อความความคิดเห็นที่ได้เก็บรวบรวมมาแก้ไขคำที่ผิดให้ถูกต้องตามพจนานุกรม จากนั้นกำจัดตัวเลขตัวอักษรภาษาอังกฤษ สัญลักษณ์ และช่องว่าง จากนั้นทำการคัดแยกข้อความที่เกี่ยวกับหัวข้อที่กำหนดและจะต้องเป็นข้อความภาษาไทยเท่านั้น โดยหลังจากผ่านกระบวนการนี้จะเหลือข้อความความคิดเห็นจำนวน 3,123 ความคิดเห็น

2) การตัดคำและกำจัดคำหยุด หลังจากผ่านตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วจะนำข้อมูลที่ได้นำมาทำการตัดคำและกำจัดคำหยุดออกไปดังแสดงใน Table 2 และ Table 3

Table 2 Examples of words segmentation

No.	Review
1	ชอบ, มาก, เลย, ครับ, พัฒนา, ต่อไป
2	เกม, ดีมาก, แต่, ดาวโหลด, ยาก, มาก
3	สุดยอด, เลย, ลูกพี่, เป็น, อีก, หนึ่ง, เกม, ที่, สนุก
4	ชอบ, อยู่, นะ, แต่, กระตัก, ไป, น้อย
5	สนุก, เฟลิ่ง, ดี, ค่ะ, บางที, แทบ, ลืม, กินข้าว

Table 3 Examples of removing stop-words

No.	Review
1	ชอบ พัฒนา ต่อไป
2	เกม ดีมาก เวลา ดาวโหลด
3	สุดยอด เกม เล่น สนุก
4	ชอบ กระตัก
5	สนุก เฟลิ่ง ดี แทบ ลืม กินข้าว ไม่ได้

3) การเลือกคำบ่งชี้ หลังจากผ่านการตัดคำและกำจัดคำหยุดแล้วจะได้คำทั้งหมดจำนวน 1,212 คำ จากนั้นจะนำคำแต่ละคำมาให้ประเภทของคำตามพจนานุกรม โดยใช้พจนานุกรมอิเล็กทรอนิกส์ฉบับราชบัณฑิตยสถาน ซึ่งพัฒนาโดย NECTEC ดังแสดงใน Table 4

Table 4 Examples of word types

Rows	word	type	notice
1	เกม	n	คำนาม
2	สนุก	adv	คำวิเศษณ์
3	เล่น	v	คำกริยา
4	ดี	adv	คำวิเศษณ์
5	ไม่ได้	adv	คำวิเศษณ์
6	ชอบ	v	คำกริยา
7	กระตัก	v	คำกริยา
8	ผม	pron	คำสรรพนาม
9	ดีมาก	adv	คำวิเศษณ์
10	มันส์	adv	สแลง

จากนั้นเลือกคำวิเศษณ์ และเลือกคำสแลงที่มีความหมายของคำเป็นคำวิเศษณ์ จะได้ทั้งหมด 208 คำ แล้วทำการแบ่งคำบ่งชี้คุณลักษณะออกมาโดยผู้เชี่ยวชาญจะได้คำบ่งชี้คุณลักษณะเชิงบวกจำนวน 70 คำ คำบ่งชี้คุณลักษณะเชิงลบจำนวน 57 คำ และคำที่ไม่บ่งชี้คุณลักษณะใดเลยจำนวน 81 คำ

4) วิธีการสร้างตัวแทนเอกสาร จะใช้วิธีการนำคำบ่งชี้คุณลักษณะในชุดข้อมูลมาเรียงกันเพื่อทำการนับความถี่ของการเกิดขึ้นของคำนั้นๆ จากนั้นจึงนำค่าจำนวนความถี่ของคำมาสร้างเวกเตอร์ตัวแทนเอกสาร และคำบ่งชี้ที่ไม่ปรากฏบนเอกสารจะมีค่าเป็น 0 จากนั้นนับจำนวนความถี่ของคำคุณลักษณะในแต่ละคุณลักษณะว่ามีจำนวนเท่าใด เพื่อนำค่าความถี่ในการใช้คำของแต่ละคุณลักษณะมาทำการเปรียบเทียบกันโดย

1. จำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงบวกมากกว่าความถี่ของคุณลักษณะเชิงลบให้ตัวแปรตามเป็นความคิดเห็นเชิงบวกแทนด้วย P

2. จำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงลบมากกว่าความถี่ของคุณลักษณะเชิงบวกให้ตัวแปรตามเป็น ความคิดเห็นเชิงลบ แทนด้วย N

3. จำนวนความถี่ของคุณลักษณะความคิดเห็นเชิงบวกและความถี่ของคุณลักษณะเชิงลบเท่ากันให้ตัวแปรตามเป็น ความคิดเห็นเป็นกลาง แทนด้วย B

Table 5 Examples of defined a class

Rows	ฉิมหาย	ดี	ดีมาก	ป่า	มันส์	...	ไม่ทัน	P	N	Class
1	0	1	0	0	1	...	0	3	1	P
2	0	0	0	0	0	...	0	1	3	N
3	0	0	0	0	0	...	0	1	1	B
4	0	1	0	0	0	...	0	2	1	P
5	0	1	0	1	1	...	0	2	1	P
6	1	2	0	0	0	...	0	4	2	P
7	0	0	0	0	0	...	0	1	1	B
8	0	1	0	0	0	...	0	1	1	B
9	0	0	1	0	0	...	1	2	4	N
10	0	0	2	0	0	...	0	2	1	P

โดยจะเลือกเพียงชุดข้อมูลที่เป็นคลาส P และ N ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 1,875 ข้อมูล แบ่งเป็นคลาส P จำนวน 1,576 ข้อมูล และคลาส N จำนวน 299 ข้อมูล

5) ปรับความไม่สมดุลของข้อมูล ปรับสมดุลของข้อมูลด้วยวิธีสังเคราะห์ข้อมูลใหม่ (SMOTE) ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มคลาสที่มีกลุ่มน้อยให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับอีกคลาส หลังจากการปรับความสมดุลแล้วมีจำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้น 1,277 ชุดข้อมูล ดังนั้นจะมีจำนวนข้อมูลทั้งสิ้นก่อนการสร้างแบบจำลองจำนวน 3,152 ข้อมูล โดยแบ่งเป็นคลาส P จำนวน 1,576 ชุดข้อมูลและคลาส N จำนวน 1,576 ชุดข้อมูล

3. การสร้างแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือคือโปรแกรม RapidMiner Studio เวอร์ชัน 9.6.0 และสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลอง โดย Naïve Bayes ไม่มีพารามิเตอร์ Support Vector Machine มีพารามิเตอร์ kernel=polynomial, degree=1.0, C=0.0 K-Nearest Neighbor มีพารามิเตอร์ K=3 ต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 มีพารามิเตอร์ maximal depth=40 และ Random Forest มีพารามิเตอร์ number of trees=100, maximal depth=40

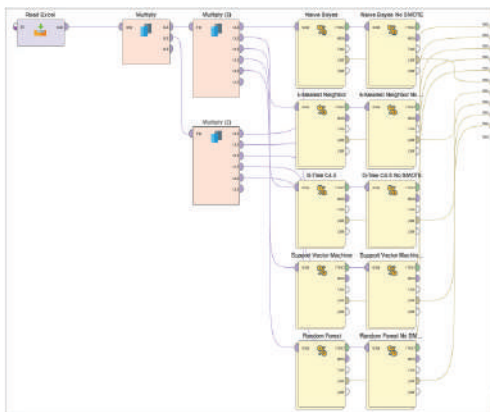


Figure 1 Modeling on RapidMiner Studio

4. การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง

ในการประเมินผลของแบบจำลอง ได้มีการใช้เทคนิคการวัดประสิทธิภาพแบบ 10-Fold cross validation โดยแบ่งออกเป็นทั้งหมด 10 กลุ่ม ทั้งนี้จะแบ่งกลุ่มข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลทดสอบ (Test data) 1 ชุด และที่เหลือจะเป็นข้อมูลฝึก (Training data) ซึ่งคิดเป็นอัตราข้อมูลทดสอบต่อปริมาณข้อมูลฝึก คิดเป็นอัตราร้อยละ 10:90 ซึ่งค่าที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองได้แก่ ค่าความแม่นยำ (Precision) คือ การวัดความสามารถในการที่จะขจัดเอกสารที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปโดยที่ค่าความแม่นยำนั้นจะเป็นอัตราส่วนของจำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องและได้มีการถูกดึงออกมา เพื่อเทียบกับจำนวนเอกสารที่ถูกดึงออกมาทั้งหมด ค่าความระลึก (Recall) คือ การวัดความสามารถของระบบในการดึงเอกสารที่เกี่ยวข้องออกมา โดยค่าความระลึกนั้นจะใช้อัตราส่วนของจำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องและได้มีการถูกดึงออกมา เทียบกับจำนวนเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และค่าความถูกต้อง (Accuracy) คือ การวัดผลจากผลลัพธ์ของการเรียนรู้ในการทำนายกลุ่มตัวอย่างชุดใหม่ได้อย่างถูกต้อง โดยมี Confusion Matrix ดัง Table 6

Table 6 Confusion Matrix

Class	Actual Class	
	Negative	Positive
Prediction Class	TN	FP
	FN	TP

และสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{3}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{4}$$

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \tag{5}$$

โดย

TP คือ จำนวนข้อมูลที่ถูกดึงออกมาอย่างถูกต้อง

TN คือ จำนวนข้อมูลที่ต้องแต่ไม่ถูกดึงออกมา

FP คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดที่ถูกดึงออกมา

FN คือ จำนวนข้อมูลที่ผิดพลาดแต่ไม่ถูกดึงออกมา

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เล่นที่มีต่อเกมมือถือผับจี โดยนำเทคนิคของการทำเหมืองข้อความมาใช้ในการวิเคราะห์ทั้งหมด 5 เทคนิค ได้แก่ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 ผ่านการใช้งานโปรแกรม RapidMiner Studio เวอร์ชัน 9.6.0 โดยข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมจาก Google Play ตั้งแต่วันที่ 1-15 กุมภาพันธ์ 2562 จำนวน 3,798 ชุดข้อมูล ซึ่งหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ แล้วจะเหลือชุดข้อมูลที่เตรียมเข้าสู่โมเดลทั้ง 5 จำนวน 1,875 ชุดข้อมูล แบ่งเป็นคลาส P จำนวน 1,576 ข้อมูล และคลาส N จำนวน 299 ข้อมูล ซึ่งทั้งสองคลาสมีความไม่สมดุลกันของข้อมูล จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการ SMOTE¹⁰ ซึ่งเป็นวิธีการในการแก้ปัญหาข้อมูลไม่สมดุล (Imbalanced data) วิธีการนี้เป็นการเพิ่มคลาสที่มีกลุ่มน้อยให้เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงกันกับอีกคลาส โดยวิธีนี้จะสุ่มเพิ่มชุดข้อมูลของคลาสจำนวนน้อย และสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest โดยใช้ 10-Fold Cross Validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลเป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ และค่าความถูกต้อง

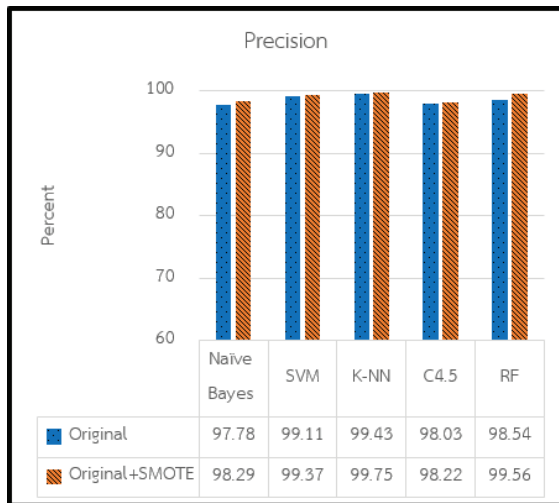


Figure 2 Comparison of precision

จาก Figure 2 จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับความสมดุลของข้อมูลด้วย SMOTE แล้ว ทุกเทคนิคมีค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเทคนิค K-Nearest Neighbor มีค่าความแม่นยำสูงสุด 99.75% รองลงมาคือเทคนิค Random Forest 99.56% ตามมาด้วยเทคนิค Support Vector Machine 99.37% ตามด้วยเทคนิค Naïve Bayes 98.29% และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 99.22% ตามลำดับ

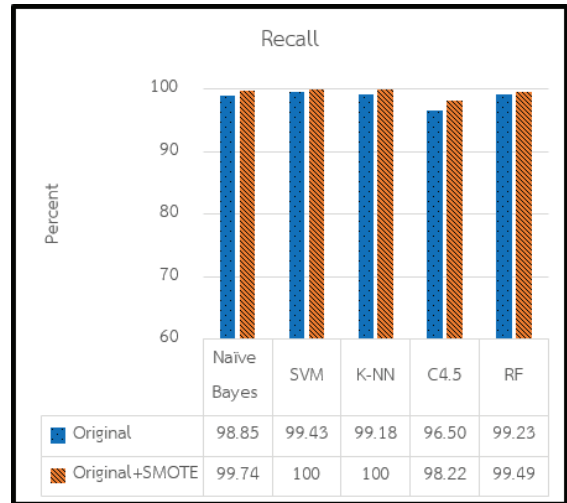


Figure 3 Comparison of recall

จาก Figure 3 จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับความสมดุลของข้อมูลด้วย SMOTE แล้ว ทุกเทคนิคมีค่าความระลึกลับเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะเทคนิค Support Vector Machine และเทคนิค K-Nearest Neighbor มีค่าความระลึกลับสูงสุดเท่ากัน 100% รองลงมาคือเทคนิค Naive Bayes 99.74% ตามด้วยเทคนิค Random Forest 99.49% และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 98.22% ตามลำดับ

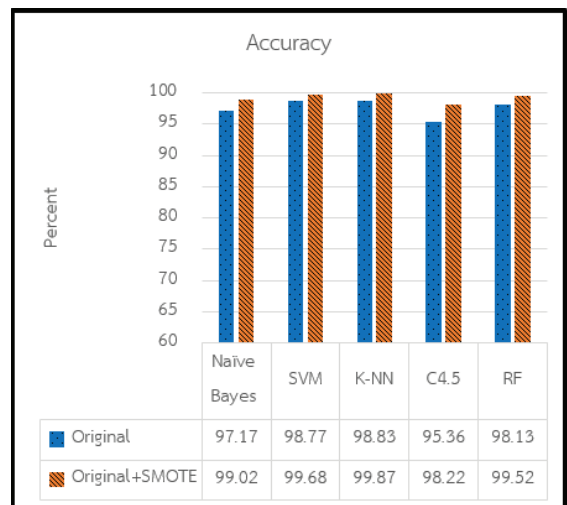


Figure 4 Comparison of accuracy

จาก Figure 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของ 5 เทคนิคที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ประกอบด้วยเทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest จากผลการทดลองพบว่าหลังจากปรับความสมดุลของข้อมูลด้วย SMOTE แล้ว ทุกเทคนิคมีค่าความถูกต้องของแบบจำลองเพิ่มขึ้น โดยเทคนิค K-Nearest

Neighbor ค่าความถูกต้องสูงสุด 99.87% รองลงมาคือเทคนิค Support Vector Machine 99.68% ตามมาด้วยเทคนิค Random Forest 99.52% ตามด้วยเทคนิค Naïve Bayes 99.02% และเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 98.22% ตามลำดับ

Table 7 Confusion Matrix for Non-SMOTE

Model	TP	FP	TN	FN
Naïve Bayes	1541	35	281	18
SVM	1562	14	290	299
K-NN	1567	9	286	13
C4.5	1545	31	243	56
Random Forest	1553	23	287	12

Table 8 Confusion Matrix for SMOTE

Model	TP	FP	TN	FN
Naïve Bayes	1549	27	1572	4
SVM	1566	10	1576	0
K-NN	1572	4	1576	0
C4.5	1548	28	1548	28
Random Forest	1569	7	1568	8

วิจารณ์และสรุป

งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหาเทคนิคการทำเหมืองข้อความที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ความคิดเห็นของผู้เล่นที่มีต่อเกมมือถือผับจีซึ่งถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาไทย ซึ่งเก็บรวบรวมข้อความความคิดเห็นจาก Google Play ตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์-15 กุมภาพันธ์ 2562 จำนวนทั้งหมด 3,798 ข้อความ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งคุณลักษณะออกเป็น 2 กลุ่ม คือ คุณลักษณะเชิงบวกและคุณลักษณะเชิงลบ โดยนำเอาคำวิเศษณ์และคำสแลงจากความคิดเห็นของผู้เล่นที่มีต่อเกมมือถือผับจี ซึ่งคำวิเศษณ์นี้สามารถแสดงถึงอารมณ์เชิงบวกและเชิงลบได้ดี¹⁸ จากนั้นได้นำเอาเทคนิควิธีการวิเคราะห์เหมืองข้อความมาทำการวิเคราะห์ข้อความความคิดเห็นจำนวน 5 เทคนิค คือ เทคนิค Naïve Bayes เทคนิค Support Vector Machine เทคนิค K-Nearest Neighbor เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ C4.5 และเทคนิค Random Forest

เนื่องจากชุดข้อมูลที่เตรียมเข้าสู่การสร้างแบบจำลองมีความไม่สมดุลกันของข้อมูล ผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยการนำวิธีการ SMOTE มาใช้เพื่อปรับให้ข้อมูลมีความสมดุลกัน และใช้หลักการ 10-Fold cross validation ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล

เป็นชุดข้อมูลเรียนรู้ และชุดข้อมูลทดสอบ และวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำ ค่าความระลึกลับ และค่าความถูกต้อง จากผลการวิจัยพบว่าวิธีการ SMOTE สามารถทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของแบบจำลองเพิ่มขึ้น โดยค่าความแม่นยำเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.46% ค่าความระลึกลับเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.85% และค่าความถูกต้องเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1.61% โดยเทคนิคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือเทคนิค K-Nearest Neighbor ที่ให้ค่าความแม่นยำ 99.75% ค่าความระลึกลับ 100% และค่าความถูกต้อง 99.87%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Mthai. PUBG Mobile: Bluehole ; 2019 [Available from: <https://game.mthai.com/mobile-games/112880.html>].
2. Zagal J, Ladd A, Johnson T. Characterizing and understanding game reviews 2009. 215-22 p.
3. ยืน ภู่วรวรรณ. การประมวลผลภาษาธรรมชาติ. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ; 1992. 241 p.
4. กานดา แผ้วพัฒนากุล, ปราโมทย์ ลีอนาม. การวิเคราะห์เหมืองความคิดเห็นบนเครือข่ายสังคมออนไลน์. บทความวิชาการวารสารการจัดการสมัยใหม่ปีที่ 11. 2013 ; 11(2).
5. ประพัฒน์ พรหมน้ำอ่าง, วสุวรรณ์ พงศ์ขจร, นิเวศ จิระวิฑิตชัย. การจำแนกกลุ่มข้อความรีวิวโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหราชวิทยาลัย ปีที่: 6 2016 ; 1: 94-102.
6. พิษกรนิกันต์ พงษ์ชนู. วิเคราะห์ความพึงพอใจของลูกค้าจากข้อความคำแนะนำโดยการทำเหมืองความคิดเห็น. โครงการประชุมวิชาการนานาชาติ Knowledge and Smart Technologies. 2012(1): 53-60
7. Reddy KG, Gopal J. Twitter sentiment analysis of game reviews using machine learning techniques. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences. 2017 ; 10(1).
8. Kang H-N, Yong H-R, Hwang H-S. A Study of Analyzing on Online Game Reviews using a Data Mining Approach: STEAM Community Data. International Journal of Innovation, Management and Technology. 2017 ; 8(2): 90-4.

9. Bais R, Odek P, Ou S. Sentiment Classification on Steam Reviews. 2017.
10. Chawla N, Bowyer K, Hall L, Kegelmeyer W. SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *J Artif Intell Res (JAIR)*. 2002 ; 16: 321-57.
11. เซาว์นันท์ โสโฑ. แบบจำลองการทำนายผลการรักษาผู้ป่วยมะเร็งปากมดลูกด้วยโครงข่ายประสาทเทียม. *KKU Res J (GS)*. 2013 ; 13: 39-49.
12. สิริวรรณ ปัญญาภาศ. ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงในสื่อเกมออนไลน์กับพฤติกรรมก้าวร้าว ของเด็กวัยรุ่นตอนปลายในจังหวัดเชียงใหม่. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ; 2008.
13. Carter C. Understanding Playerunknown's Battlegrounds 2019 [Available from: <https://www.polygon.com/playerunknowns-battlegrounds-guide/2017/6/9/15721366/pubg-how-to-play-blue-wall-white-red-circle-map-weapon-vehicle-inventory-air-drop>].
14. Backfried G, Göllner J, Qirchmayr G, Rainer K, Kienast G, Thallinger G, *et al.*, editors. Integration of Media Sources for Situation Analysis in the Different Phases of Disaster Management: The QuOIMA Project. 2013 European Intelligence and Security Informatics Conference ; 2013 12-14 Aug. 2013.
15. Berzal F, Matín N. Data mining: concepts and techniques by Jiawei Han and Micheline Kamber. *ACM SIGMOD Record*. 2002 ; 31: 66-8.
16. Joachims T, editor Text categorization with Support Vector Machines: Learning with many relevant features. *Machine Learning: ECML-98 ; 1998 1998//* ; Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
17. Cutler A, Cutler D, Stevens J. Random Forests. 452011. p. 157-76.
18. Sun Y, Quan C, Kang X, Zhang Z, Ren F. Customer emotion detection by emotion expression analysis on adverbs. *Information Technology and Management*. 2015 ; 16(4): 303-11.

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในการทำเหมืองข้อความ

The application of graph theory on text mining

สุรัสวดี นางแล¹, ธนายุทธ ช่างเรือนงาม¹
Suruswadee Nanglae¹, Thanayut Changruenngam¹

Received: 28 October 2019 ; Revised: 26 November 2019 ; Accepted: 9 January 2020

บทคัดย่อ

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ทฤษฎีกราฟในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคำและจัดกลุ่มคำเพื่อค้นหาความหมายของกลุ่มคำนั้น โดยการยกตัวอย่างข้อมูลจากเครือข่ายออนไลน์ Twitter ในหัวข้อที่เกี่ยวข้องกับคำว่า “Amazon” ระหว่างวันที่ 11-18 กุมภาพันธ์ 2562 จากผลการศึกษาพบว่า หน่วยคำคู่ (bigrams) ที่มีความถี่มากที่สุดคือ ของเล่นหัวโต (funko pop), กำไรพันล้าน (billion profit) และ การจ่ายภาษี (pay tax) ตามลำดับ เมื่อทำการวิเคราะห์จัดกลุ่ม (Cluster analysis) โดยใช้เทคนิค Random Walk Algorithm พบว่า funko pop ที่นิยมมากที่สุดคือ funko pop ของนักร้องสมาชิกวง BTS ชื่อ Jungkook ส่วน billion profit และ pay tax มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันอยู่ เพราะในช่วงระยะเวลาดังกล่าว Amazon ถูกตั้งข้อสังเกตเรื่องการไม่จ่ายภาษีให้รัฐบาลกลางต่างๆ ที่สร้างผลกำไรในปีที่ผ่านมาในหลักพันล้านเหรียญสหรัฐ ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์กราฟโดยการวัดค่าความเป็นศูนย์กลาง พบว่า ในเครือข่ายคำ คำว่า tax เป็นคำที่เป็นจุดศูนย์กลางของเครือข่ายคำ ทำหน้าที่เป็นทั้งโหนดศูนย์กลางของเครือข่ายคำ, โหนดศูนย์กลางในการเชื่อมโยงกับโหนดอื่น และเป็นโหนดศูนย์กลางในการเชื่อมโยงกับโหนดอื่นๆ ของเครือข่ายที่ไกลกันให้เข้าถึงกันผ่านการวัดค่า Degree centrality และ Betweenness centrality

คำสำคัญ: ทฤษฎีกราฟ เหมืองข้อความ เครือข่ายออนไลน์ การวิเคราะห์จัดกลุ่ม

Abstract

The objective of this research was to study the application of graph theory to seek the relationship between words and categorize groups of words for finding the meaning of the groups of words by analyzing messages sampled from social media like Twitter on the topic related to “Amazon” during 11-18 February 2019. The study revealed that the most frequent bigrams were “funko pop”, “billion profit”, and “pay tax” respectively. Moreover, cluster analysis using a random walk algorithm showed that the most popular “funko pop” was BTS-Funko Pop-Jungkook while billion profit and pay tax have a particular correlation because during that time Amazon was indicated to be a company did not pay any tax to the US government although they generated profits of a billion dollars. This is consistent with graph analysis which by measuring centrality found that in a word network, the word “tax” is the centrality of the word network and plays its role as a central node in the word network, a central node connecting to other nodes, and a central node connecting to other nodes of distant networks to be reachable through degree centrality and betweenness centrality measures.

Keywords: Graph Theory, Text Mining, Social Media, Cluster Analysis

¹ โปรแกรมคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
โทร +668 1594 3105 E-mail: SNanglae@gmail.com

¹ Mathematics Program, Faculty of Science and Technology, Chiang Rai Rajabhat University, Thailand.
Tel: +668 1594 3105 E-mail: SNanglae@gmail.com

Introduction

Nowadays information technology plays an increasingly important role in people's daily lives, especially internet communication services that have gained much popularity. Multimedia is a platform spreading information that contains messages, photographs or videos and news in the form of text files that are widely publicized via online media such as Facebook or Twitter. Messages are considered unstructured data but the pattern of the message carries hidden contents, relationships and effects on what people are interested in studying. In the meantime, the varieties and the bulk of messages are input into the media systems at all times. Therefore, to investigate the content, the knowledge, the relationships or the influence on what people are interested in using various techniques called text mining are required.

Text mining is the process of exploring and analyzing patterns, concepts, and correlation hidden in text data by using fundamental knowledge such as statistics, mathematics, machine learning, etc., while obtained results are most likely on the basis of frequency of words, correlation within words, or patterns of words, etc.¹ With regard to the study on correlation among words, either the words occurring within the same document or the words accompanying other words, many methods, such as creating N-grams, are employed to generate a set of words. The words occurring at the same time are classified by means of probability to examine which words have a tendency to appear after other words and have correlations with surrounding words, or by using a diagram of word networks to explore correlation within words. One of the popular instruments creating a diagram of word networks is a graph theory showing correlation within words.

Graph theory is a model to show the relationship between objects. The objects are called nodes or vertex (vertices). An edge is a line that connects two nodes together, that the strength of their connection is represented by the weight value. A diagram or graph can be divided into 2 types. The first one is an undirected graph ; a graph in which the edges are not ordered. It has no arrows on edges indicating directions. The second one is a directed graph ; a graph that is made up of a set of nodes connected by edges, where the edges have

a direction associated with them. Consequently, graph analysis can be used to identify both the strength of the relationship and the direction of relationship. There is a variety of analysis methods such as centrality measures. (i.e. degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality)²

This research studies the application of graph theory to investigate the relationship between words and categorize groups of words for interpreting the meaning of the groups of words using messages posted on social media like Twitter on the topic related to the subject "Amazon".

Methods

R software was used to collect, manipulate, and analyze the data according to the following procedures:

Data collection method

R software was used to gather data from Twitter social networking platform during 11-18 February 2019 for 100,000 messages on the topics related to the word "Amazon".

Data manipulation

The message data were manipulated by deleting website addresses (URLs), and gimmicks ; for example, words starting with @, #, Tag or RT including http, etc.,. The messages were also adjusted by removing other languages than English or characters that do not exist in English, replacing abbreviations with full words, converting the size of the letters to be small letters in English to obtain entire words in the same dimension, and deleting a full stop symbol, punctuation marks in English, spaces between words, and endings such as -ed, -es to ensure that all words have a unity and are in the same pattern.

Data analysis

After the message data were completely manipulated, a bigram was created to generate a pair of words that most commonly occur simultaneously and the frequency of the obtained bigrams was shown in the form of word cloud. Next, an undirected word graph was created. Nodes of the graph were represented by words. The weight value of edges was calculated by counting the number of occurrences of those two words which could be

noticed from the frequency of the bigrams. Graph analysis was performed with the following methods:

1) The groups of words were divided by utilizing cluster analysis with a random walk algorithm. This is to find all subgraphs in a large graph using a short random walk technique. It is likely to occur within the same group or the community.³

2) In research, centrality measures were performed on degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality, detailed as follows:

- Degree centrality (D_c) refers to the number of ties linking a node to other nodes. A node with a high degree centrality will have a great influence within its network accordingly.⁴ The equation can be written as

$$D_c = \sum_{j=1}^n n_{ij} \tag{1}$$

where i represents node i and j represents other nodes. When $n_{ij}=1$ means a connection between the two nodes and $n_{ij}=0$ means no connection between them.⁵

- Betweenness centrality (B_c) measures how important a node is to the shortest paths through the network. Nodes with high betweenness centrality are nodes that lie on communication paths. The equation can be written as

$$B_c = \sum_{jk} \frac{g_{ijk}}{g_{jk}} \tag{2}$$

where n is the total number of nodes, i, j, k represent different nodes, g_{jk} is the number of the shortest path from j to k and g_{ijk} is the number of the shortest paths from j to k through i .

- Closeness centrality (C_c) is a measure of the degree to which an individual is near all other individuals in a network. It is the inverse of the sum of the shortest distance between each node and other nodes in the network. The equation can be written as

$$C_c(n_i) = \sum_{j=1}^n d(n_i, n_j) \tag{3}$$

where $d(n_i, n_j)$ is the number of the shortest path from node i to node j through other nodes in a network.

Results

Based on generating a pair of words and measuring the frequency of the obtained double morpheme, the result is shown in Figure 1

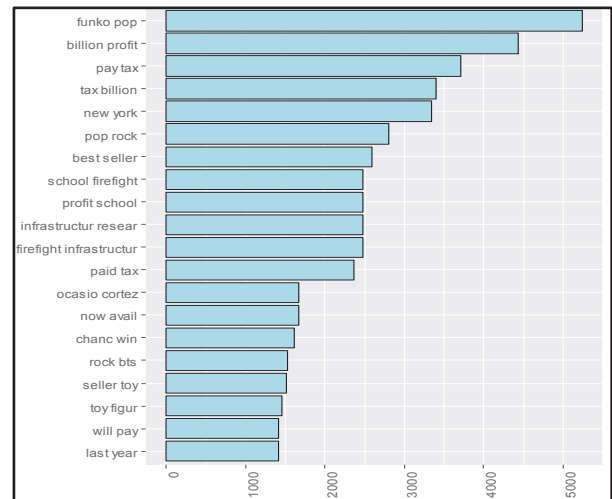


Figure 1 The top 20 frequency of bigrams as arranged in descending order.

Figure 1 shows the top 20 frequencies of the bigram in the form of a bar graph arranged in descending order. It can be seen that the most frequently occurring bigrams are “funko pop”, “billion profit”, and “pay tax”, respectively. All bigrams will be generated groups of words (Word Cloud) later as seen in Figure 2.

Figure 2 shows how the word cloud is generated and it can be seen that bigrams consist of large and small scales depending on the frequency. The bigrams with large sizes are “funko pop”, “billion profit”, “pay tax”, “tax billion”, and so on. The bigrams and the frequency generate a set of nodes and a set of edges in the word graph. The graph nodes are represented by words while edges and the weight value are represented by the frequency of occurrences of those two words obtained from the frequency of bigrams as shown in Figure 3.

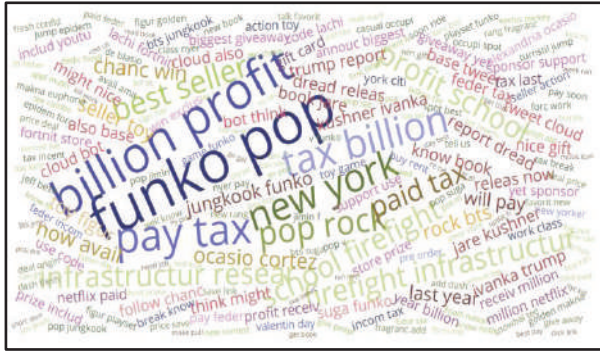


Figure 2 Word clouds of bigrams

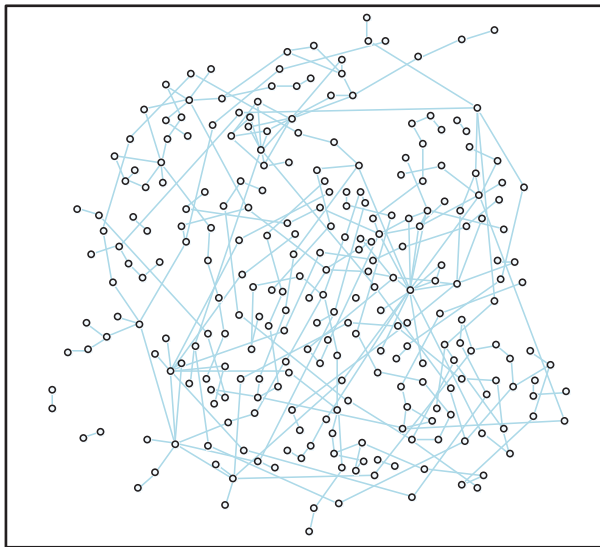


Figure 3 Word Graph

Figure 3 shows the big picture of the network in which nodes represent words and edges that connect those nodes representing the connection between those

two words. The weights of edges are the frequency of occurrence of those two words. It can be noticeable that the word graph has a connection as a complex network. Therefore, network analysis is necessary to seek the correlation within occurring words.

Classifying groups with cluster analysis

To classify the groups of words, we use cluster analysis with a random walk algorithm. This is to find all subgraphs in a large graph using a random walk algorithm as shown in Figure 4. From Figure 4, the interesting groups of words are obtained as shown in Table 1.

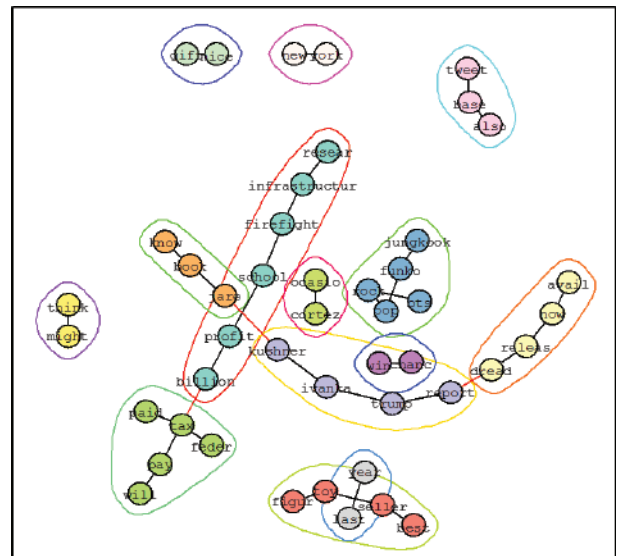


Figure 4 Dividing groups of words using cluster analysis with a random walk algorithm

Table 1 Groups of words from cluster analysis using a random walk algorithm.

Group	Groups of words	Information retrieval on the internet
1	paid tax feder will pay	Amazon will pay federal taxes on billion profits. ^{6,7}
2	billion profit school firefight infrastructur resear	
3	avail now releas dread	
4	know book jare	The Extraordinary Story of Jared Kushner and Ivanka Trump that will be for sale on Amazon website. ⁸
5	kushner ivanka trump report	
7	jungkook funko pop rock bts	BTS Funko Pop figure-Jungkook for sale on Amazon website. ⁹
8	figure toy seller best	Top-selling figure toy on Amazon website. ⁹

It shows that, the messages on Twitter in February 2019 can be concluded into 3 major topics. The first topic is about Amazon itself that generated its profit of greater than 11.2 billion US dollars but did not pay federal taxes,⁷ causing Amazon to be attacked by criticism from multiple sources on social media like Twitter. The second topic is the story of Ivanka Trump, the daughter of the US President, Donald Trump, who is married to Jared Kushner, a businessman. Both of them are White

House Senior Advisors. There will be an explosive book about their greed, ambition, and corruption,¹⁰ causing this book to become interesting for people in general and it later became a bestseller on the Amazon website.¹¹ The last topic is the story about Funko Pop figures or figures with a large head. BTS Funko Pop figure-Jungkook is the most popular on social media. The website www.allkpop.com publicized its article that Jungkook Funko Pop marked the best -selling figure.¹²

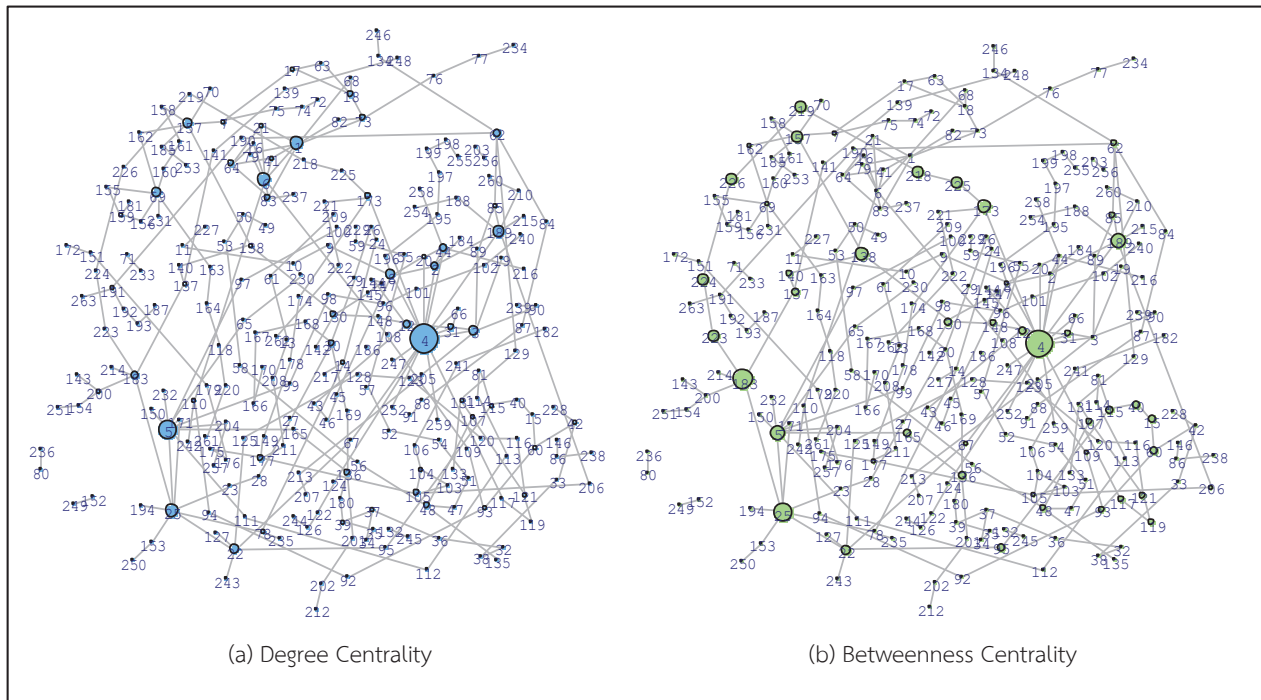


Figure 5 Degree Centrality and Betweenness Centrality measures

Graph analysis

Graph analysis is performed through measuring centrality in 3 characteristics as degree centrality, betweenness centrality, and closeness centrality shown in Figure 5 and Figure 6. Figure 5 (a) is a degree centrality measure. It is found that the word with the largest node is node 4 which is the word “tax”. That means tax is the central node performing its duty as a hub and has the highest power in the network, followed by node 5 that is

the word “new”, node 25 that is the word “book”, node 6 that is the word “pop”, and node 1 that is the word “funko” respectively. As observed in Figure 5 (b), it is a betweenness centrality measure. It is found that the largest node is node 4 which is the word “tax” again. This means that tax is the central node performing its duty as a connection to other nodes of distant networks enabling them to be reachable, followed by node 183 which is the word “get”, and node 25 which is the word “book”.

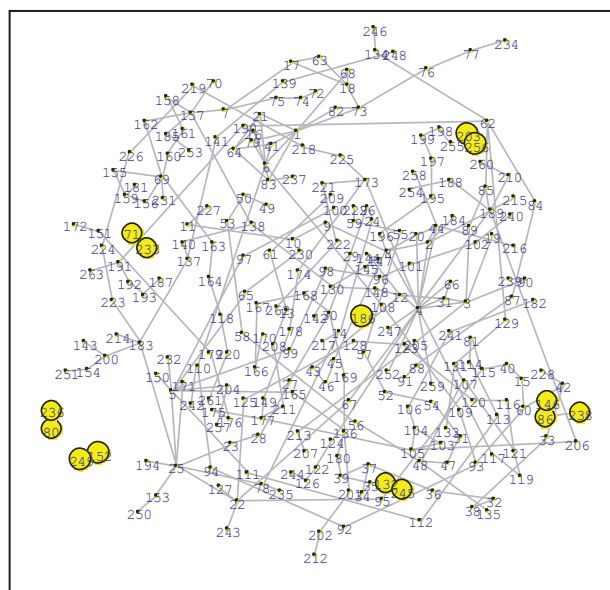


Figure 6 Closeness Centrality measure

According to Figure 6, the closeness centrality is measured. It was found that large nodes have similar scales ; for instance, node 203 which is the word “short”, node 256 which is the word “story”. Nodes that are close to each other like this are considered the central nodes in the networks that are close to other nodes using the shortest paths as a measuring standard.

Conclusion and Discussion

The study on the application of graph theory to seek the relationship between words found that making an undirected graph by generating bigrams and counting the frequency can only explore the words that are most mentioned at that time but cannot indicate how those words correlate with other words. For example, the word “funko pop” has the highest frequency but it does not indicate that which funkopop is the most mentioned or the best-selling. When a word graph is made for cluster analysis, it can indicate that the most popular funkopop is BTS Funko Pop-Jungkook, the best seller compared to other Funko Pop figures of other members.^{9,12} The number of the frequency is followed by the word “billion profit” and “pay tax” respectively. Considering the cluster analysis, both words relate to each other because by that time Amazon had been noticed about not paying federal taxes even though they could generate billions of dollars in profits.^{6,7} This is consistent with graph analysis by centrality measures. The word tax is the central node

of the network, performing its duty as the central node of the word network and the central node to connect to other nodes, and the central node connecting to other nodes of distant networks to be reachable through degree centrality and betweenness centrality measures. With regard to closeness centrality analysis, it is an analysis of the central node of the network close to other nodes using the shortest paths as a measuring standard. This means that the node of words has the least number of active connections or there are a small number of people who posted this word a few times. The objective of this analysis is to seek the relationship of the words that are mentioned most frequently in the network. Therefore, the closeness centrality analysis is not necessary. The use of graph theory to analyze word networks is useful to find opinions hidden on a large scale of messages but it cannot indicate whether or not they are positive or negative opinions. Thus, to acquire both the quantity and quality of the message posted on social media, the obtained results need to be performed by sentiment analysis. Moreover, understanding the trend or the impact of the messages can lead to a new branch of knowledge which can be applied or extended into other aspects such as marketing or communication, etc.

References

1. EDUCBA. (2018). Difference between Text Mining and Natural Language Processing. Available from: <https://www.educba.com/important-text-mining-vs-natural-language-processing/> Accessed 27 December, 2018
2. Chonnikarn Rodmorn and Maturus Panmueang. Social Network Analysis using Graph Theory: Case Study of Instructors of Faculty of Business Administration, Bangkokthonburi University. The 10th National Conference on Computing and Information Technology: 2014.
3. Pascal Pons and Matthieu Latapy. Computing communities in large networks using random walks (long version), Available from: <https://arxiv.org/abs/physics/0512106> Accessed 4 January, 2018.
4. Wasserman, S., and Faust, K. Social Network Analysis Methods and Applications, (Vol. 8), Cambridge Cambridge University Press. 1994.

5. Durland, M. M., and K. Fredericks (eds). *New Directions For Evaluation: Social Network Analysis in Program Evaluation*, (Vol 107). San Francisco: Jossey-Bass. 2005.
6. Laura Stampler. Amazon Will Pay a Whopping \$0 in Federal Taxes on \$11.2 Billion Profits. Available from: <https://fortune.com/2019/02/14/amazon-doesnt-pay-federal-taxes-2019/>, Accessed 7 May, 2019.
7. Christopher Ingraham. Amazon paid no federal taxes on \$11.2 billion in profits last year. Available from: <https://www.washingtonpost.com/us-policy/2019/02/16/amazon-paid-no-federal-taxes-billion-profits-last-year/?noredirect=on>, Accessed 7 May, 2019.
8. Richard Johnson. Jared Kushner, Ivanka Trump bracing for release of Vicky Ward book. Available from: <https://pagesix.com/2019/02/08/jared-kushner-ivanka-trump-bracing-for-release-of-vicky-ward-book/>, Accessed 7 May, 2019.
9. Amazon. Customers who viewed Funko Pop! Rocks: BTS-Jungkook also viewed. Available from: <https://www.amazon.com/Funko-Pop-Rocks-BTS-Jungkook/dp/B07KPSYW7Y>, Accessed 7 May, 2019.
10. Allison Pecorin. Ivanka Trump says she and Jared Kushner got no special treatment for security clearances. Available from: <https://abcnews.go.com/Politics/ivanka-trump-jared-kushner-special-treatment-security-clearances/story?id=60940398> Feb 8, Accessed 7 May, 2019.
11. Amazon. Kushner, Inc.: Greed. Ambition. Corruption. The Extraordinary Story of Jared Kushner and Ivanka Trump. Available from: <https://www.allkpop.com/article/2019/03/bts-jungkook-funko-pop-become-the-number-1-best-sellerworldwide>, Accessed 7 May, 2019.
12. Allkpop. BTS Jungkook Funko Pop become the Number #1 Best Seller, worldwide. Available from: <https://www.allkpop.com/article/2019/03/bts-jungkook-funko-pop-become-the-number-1-best-sellerworldwide>, Accessed 7 May, 2019.

การเปรียบเทียบวิธีการสืบค้นข้อความภาษาไทยระหว่างเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและเทคนิคการค้นหาดำเนินการด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง

The Comparison of Data Query in Thai Text between Text Processing and Structured Query Language (SQL)

อิทธิศักดิ์ ศรีดำ¹

Idhisak Sridam¹

Received: 9 October 2019 ; Revised: 14 February 2020 ; Accepted: 13 May 2020

บทคัดย่อ

การสืบค้นข้อมูลที่เป็นข้อความภาษาไทยด้วยการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้างพบปัญหาการนำส่งข้อมูลยังไม่เหมาะสมและไม่ตรงกับความต้องการ บทความนี้มีจุดมุ่งหมายในการเสนอการทดสอบการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยระหว่างการประมวลผลข้อความตามมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง

การศึกษานี้เป็นการผสมผสานวิธีการระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพและการวิจัยเชิงปริมาณด้วยการวิจัยเอกสาร และการวิจัยเชิงทดลอง โดยการพัฒนาโปรแกรมทดสอบการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยการประมวลผลข้อความตามมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และพัฒนาโปรแกรมทดสอบการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของอัตราการค้นพบข้อความที่สืบค้น และเวลาที่ใช้ประมวลผลสืบค้นข้อมูล

ผลการศึกษา จากการทดสอบการสืบค้นข้อความภาษาไทย จำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ ค่าความระลึก ค่าความเที่ยงตรง และค่าเอฟเมเชอร์ พบว่า เทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.981 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ 0.986 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.983 ส่วนเทคนิคการค้นหาดำเนินการด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.155 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ 0.295 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.203

คำสำคัญ: การประมวลผลข้อความ การหาความคล้ายคลึงเชิงความหมาย ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง

Abstract

Most query systems use Structured Query Language (SQL) to Thai query data but the data is unmatched and dissimilar to the data required by the users. This article aims to propose the test of Thai text search by comparing the method of text processing to the semantic-based similarity measurements using a Genetic algorithm with SQL.

This research used both qualitative and quantitative research methodology which consisted of documentary and experimental research. The testing used Thai text in searching for the semantic-based similarity measurement.

The results revealed the efficiency average from searching Thai text 10 times according to the 3 efficiency evolution criteria, i.e., recall, precision, and F-Measure. The semantic-based similarity measurement technique using Genetic algorithm with the average of recall, precision, and F-Measure were 98.1%, 98.6%, and 98.3%, respectively.

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์และระบบสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330
E-mail: idhisak@pit.ac.th

¹ 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

Moreover, the search technique using SQL had average of recall, precision, and F-Measure of 15.5%, 29.5%, and 20.3%, respectively.

Keywords: Text Processing, Similarity Measurement, Genetic Algorithm, Structured Query Language

บทนำ

Figure 1 Example of Google Advanced Search (Source: https://www.google.com/advanced_search, online)

การใช้คำหลัก (Keyword) ในการสืบค้นข้อมูลบนเว็บไซต์ที่ให้บริการข้อมูลเป็นที่นิยมของผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก ทั้งข้อมูลที่เป็นข้อความ รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว เพลง ซอฟต์แวร์ แผนที่ ข้อมูลบุคคล กลุ่มข่าว และอื่นๆ ซึ่งแตกต่างกันไปแล้วแต่ผู้ให้บริการ เว็บไซต์ที่บริการข้อมูลหลักๆ จะเป็นเว็บไซต์ประเภทโปรแกรมสืบค้นข้อมูล (Search engine)¹

ผู้ให้บริการโปรแกรมสืบค้นข้อมูลเหล่านี้ได้พัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวก

ความสะดวกให้ผู้ใช้งานเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายที่สุด ประเภทโปรแกรมสืบค้นข้อมูล แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การสืบค้นข้อมูลด้วยตัวสืบค้นอัตโนมัติมาเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล (Database) การสืบค้นข้อมูลด้วยการใช้คนนำเข้าข้อมูลสู่ฐานข้อมูล (Directories search) และการสืบค้นข้อมูลที่อาศัยฐานข้อมูลของโปรแกรมสืบค้นข้อมูลอื่น (Meta search)²

เนื่องจากระบบค้นหาบนเว็บไซต์มีกระบวนการเตรียมการข้อมูลมาเก็บไว้ในฐานข้อมูลเอาไว้ก่อนล่วงหน้า

สำหรับไว้ให้ผู้ใช้งานทำการสืบค้นข้อมูล จึงอนุมานได้ว่าผู้ใช้บริการโปรแกรมค้นหาจะต้องใช้พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ การศึกษายังพบว่าโปรแกรมค้นหาได้พัฒนาระบบการค้นหาขั้นสูงไว้สำหรับบริการผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานจะได้เจาะจงการสืบค้นข้อมูลที่ต้องการได้ชัดเจนขึ้น เช่น การค้นหาข้อมูลตามคำหรือวลีที่กำหนด การค้นหาข้อมูลยกเว้นตามคำหรือวลีที่กำหนด เป็นต้น³ แสดงตัวอย่างดัง Figure 1 อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานส่วนใหญ่ไม่ได้ใช้งานระบบการค้นหาขั้นสูงที่ผู้บริการเตรียมไว้ให้² อาจทำให้เกิดปัญหาที่ผู้สืบค้นข้อมูลจะไม่สามารถค้นพบข้อมูลที่ตรงหรือใกล้เคียงกับข้อมูลที่ต้องการได้ ซึ่งส่วนใหญ่โปรแกรมสืบค้นข้อมูลจะใช้การเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง (Structured query language: SQL)⁴

การบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่อย่างมีประสิทธิภาพโดยเน้นการสืบค้นข้อมูลให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน และการประหยัดเวลาในการประมวลผลเป็นสิ่งสำคัญ⁴ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการสืบค้นข้อมูลที่เป็นข้อความภาษาไทย ซึ่งการสืบค้นข้อมูลที่เป็นข้อความภาษาไทยด้วยการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง พบว่า การนำส่งข้อมูลยังไม่เหมาะสม ยังไม่ได้ข้อมูลที่ตรง และยังไม่ใกล้เคียงกับข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการ⁵

นอกจากนี้ การสืบค้นข้อมูลโดยใช้คำหลักโดยผู้ใช้งานยังถูกใช้ในระบบการบริหารลูกค้าสัมพันธ์ (Customer relationship management: CRM) สำหรับกรณีต่างๆ ปัจจุบันองค์ประกอบที่สำคัญของระบบ การบริหารลูกค้าสัมพันธ์ ได้แก่ การสืบค้นข้อมูลคำถามหรือคำตอบที่ลูกค้าถามบ่อย (Question and answer: Q&A) และระบบการสืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสินค้าหรือบริการ⁶ เช่น ประเภทสินค้าหรือบริการ ราคาสินค้าหรือบริการ รายละเอียดสินค้าหรือบริการ การเปรียบเทียบสินค้าหรือบริการ เป็นต้น การแสดงข้อมูลผลิตภัณฑ์ ที่เหมาะสมและครบถ้วนสามารถเพิ่มแนวโน้มในการตัดสินใจซื้อของลูกค้าได้เป็นอย่างดี⁷

ดังนั้น การนำส่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่สุดของระบบการสืบค้นข้อมูล การหาค่า ความเหมาะสมของข้อมูลที่ต้องการค้นหาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) น่าจะสามารถนำมาใช้ในการสืบค้นข้อความที่เหมาะสมได้เมื่อสมการหาค่าความเหมาะสมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมได้ถูกกำหนดไว้อย่างถูกต้อง และการนำเทคนิคการหาค่า ความคล้ายคลึงเชิงความหมาย (Semantic similarity) มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดสมการหาค่าความเหมาะสมของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประโยชน์ในการจำแนกหมวดหมู่ หรือจัดกลุ่มประเภทข้อความ บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการสืบค้น

ข้อมูลที่เป็นข้อความภาษาไทยอย่างมีประสิทธิภาพในการนำส่งข้อมูลตามความต้องการของผู้ใช้งานด้วยเทคนิคการหา ความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และการเปรียบเทียบวิธีการสืบค้นข้อความภาษาไทยระหว่างเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและเทคนิค การค้นหาด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง

ขั้นตอนการวิจัย

1. ชุดข้อมูลข้อความมาจากการคัดลอกคำไทยที่พบบ่อยจำนวน 99 คำ จากฐานข้อมูลคลังเอกสารสาธารณะ (<http://www.openbase.in.th/>) ซึ่งคาดว่าเป็นจำนวนที่เหมาะสมสำหรับการใช้ทดสอบ⁸ มาผสมเป็นข้อความจำนวน 99 ข้อความต่อคำไทย 1 คำ รวมเป็นข้อความทั้งสิ้น 9,801 ข้อความโดยสุ่มผสมคำอย่างง่ายสำหรับการใช้การศึกษาครั้งนี้

2. กระบวนการศึกษา

การศึกษานี้เป็นการวิจัยแบบผสมวิธีมีลักษณะการผสมกันระหว่างการวิจัยเชิงคุณภาพและการวิจัยเชิงปริมาณ (Mixed method research)⁹ การวิจัยเชิงคุณภาพ จะใช้การวิจัยเอกสาร (Documentary research) ด้วยการคัดเลือกเอกสารทุติยภูมิ¹⁰ ได้แก่ เอกสารที่เกี่ยวข้องและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประกอบด้วย บทความวิจัย บทความวิชาการ เอกสารตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง¹⁰ ส่วนการวิจัยเชิงปริมาณได้ใช้การวิจัยเชิงทดลอง (Experimental research) โดยการพัฒนาโปรแกรมทดสอบการสืบค้นข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และพัฒนาโปรแกรมทดสอบการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษา แบบสอบถาม ข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิจัยเชิงคุณภาพได้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลมีเกณฑ์คัดเลือกเอกสารที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ 1) ความถูกต้องของข้อมูล เอกสารต้องมาจากแหล่ง ข้อมูลที่เชื่อถือได้ มีความถูกต้อง สมบูรณ์ สอดคล้องกับบริบทที่อยู่ในช่วงระยะเวลาที่ตีพิมพ์ 2) ข้อมูลต้องมี ความน่าเชื่อถือ เป็นเอกสารที่ไม่มีข้อผิดพลาดและ การบิดเบือนข้อมูล 3) ข้อมูลมีความเป็นตัวแทน เป็นเอกสารที่สามารถแสดงรายละเอียดแทนเอกสารในกลุ่มเดียวกันได้¹¹ และ 4) ข้อมูลมีความหมายชัดเจน เป็นเอกสารที่มีความหมายที่เข้าใจได้ง่าย ชัดเจน และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา¹²

3.2 การวิจัยเชิงปริมาณเป็นการประเมินผลเปรียบเทียบวิธีการสืบค้นข้อความภาษาไทยระหว่างเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิง

พันธุกรรมและเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง ซึ่งทดสอบ การสืบค้นข้อความภาษาไทยจำนวน 10 ครั้ง (เพื่อง่ายในการคำนวณเปรียบเทียบผล) มาหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพตามเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ ค่าความระลึก (Recall) ค่าความเที่ยงตรง (Precision) และค่าเอฟเมเชอร์ (F-Measure) โดยมีสมการดังนี้

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

$$\text{F-Measure} = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

โดยที่

TP คือ จำนวนข้อความภาษาไทยที่ถูกดึงออกมาถูกต้องออกมา

FN คือ จำนวนข้อความภาษาไทยที่ผิดพลาดแต่ไม่ถูกดึงออกมา

FP คือ จำนวนข้อความภาษาไทยที่ผิดพลาดที่ถูกดึงออกมา

4. ขอบเขตของการศึกษา

4.1 ขอบเขตเนื้อหาของข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อความ เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

4.2 ขอบเขตด้านเครื่องมือวิจัยเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมทดสอบการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และออกแบบโปรแกรมทดสอบการเข้าถึงข้อมูลด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง คือ โปรแกรม MINITAB19 trial version โปรแกรมฐานข้อมูลที่ใช้คือ MySQL และเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์เชิงสถิติคือ โปรแกรม SPSS version 20

ผลการศึกษา

การนำส่งข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อการสืบค้นข้อมูลจากฐานข้อมูล สามารถประยุกต์ใช้ทฤษฎีการหาค่าความเหมาะสมของคำตอบ (Solution optimization)¹³ การหาค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ต้องการค้นหา มีหลากหลายวิธีการตามทฤษฎีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence: AI) ได้แก่ การคำนวณเชิงวิวัฒนาการเป็นการใช้หลักการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

โดยเริ่มต้นจากกลุ่มของคำตอบกลุ่มหนึ่งที่ถูกสุ่มมาจากนั้นก็ทำการวิวัฒนาการผสมผสานเลือกเอากลุ่มตัวอย่างที่ดีที่สุดเพื่อความอยู่รอดในรุ่นถัดไป (การปรับการค้นหา) โดยใช้วิธีความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm intelligence) เป็นขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ ได้แก่ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA)¹⁴ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีสำหรับค้นหาคำตอบ (Solution) โดยการประมาณของปัญหาที่อาศัยวิธีการคัดเลือกตามธรรมชาติในการวิวัฒนาการโดยมีประชากรแทนกลุ่มของคำตอบที่อยู่ในลักษณะสายอักขระโครโมโซม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้¹⁵

1. การประเมินคุณภาพของโครโมโซม
2. เลือกโครโมโซมที่มีคุณภาพดี
3. ปฏิบัติการทางพันธุกรรมโดยการข้ามสายพันธุ์และการกลายพันธุ์
4. กำหนดโครโมโซมใหม่มาเป็นรุ่นถัดไป
5. ดำเนินการสร้างโครโมโซมใหม่ไปเรื่อยๆ จนพบคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมที่สุด (นำกลับไปย้อนทำข้อ 1 ใหม่)

นอกจากนี้ การนำเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย (Semantic similarity) มาประยุกต์ใช้ในการค้นหาข้อความที่มีความหมายเดียวกันหรือคล้ายกันได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพในด้านการแก้ปัญหาด้านการนำส่งข้อมูลข้อความภาษาไทยไม่ได้ในกรณีที่เป็นข้อความที่มีวรรณยุกต์ต่างๆ อยู่ในข้อความ ซึ่งเป็นปัญหาของการนำส่งข้อมูลมาแสดงให้กับผู้ใช้งาน โดยการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมายจัดอยู่ในประเภทของการหาค่าความคล้ายคลึงกันของข้อความด้วยการวัดระยะห่าง (Text similarity measurement) ซึ่งเป็นงานย่อย (Subtask) ของการประมวลผลที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่มีข้อความมาเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก เช่น การปรับปรุงประสิทธิภาพของงานค้นหา (Search task) การค้นคืนข่าวสาร (Information retrieval task)¹⁶ การค้นหาข้อความที่มีความหมายเดียวกันหรือคล้ายคลึงกัน โดยใช้คำหรือข้อความที่แตกต่างกัน ซึ่งมีประโยชน์ในการจำแนกหมวดหมู่ หรือจัดกลุ่มประเภทข้อความจากแหล่งต่างๆ เช่น การจัดกลุ่มของข่าวสารออกเป็นข่าวเศรษฐกิจ ข่าวการเมือง การจำแนกความคิดเห็นของลูกค้าจากสื่อสังคมออนไลน์ หรือการจำแนกข้อความที่แสดงความเห็นเชิงบวกออกจากข้อความที่แสดงความเห็นเชิงลบ หรือใช้ในงานสรุปย่อข้อความจากหลายเอกสาร เป็นต้น¹⁶

ผลการศึกษา พบว่า กระบวนการสืบค้นข้อมูลด้วยการประมวลผลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย 13 กระบวนการหลัก แสดงดัง Figure 2

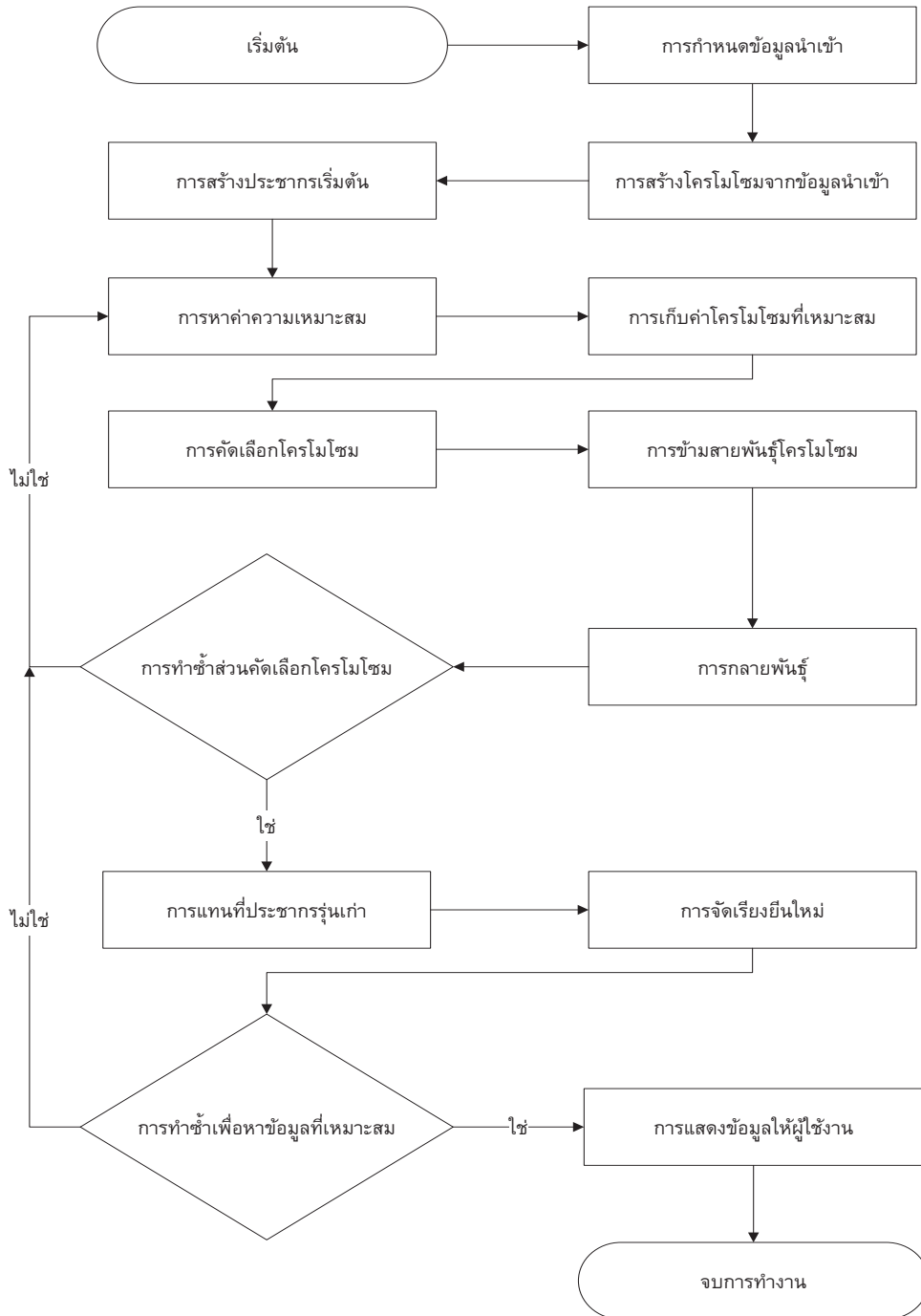


Figure 2 The concept of Thai text search employing text processing pursuant to the semantic-based similarity measurement using Genetic Algorithm

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดข้อมูลนำเข้า

นำข้อมูลคำหลัก และจำนวนรายการข้อมูลที่ต้องการให้แสดงต่อ 1 หน้าจอ เข้าสู่กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยกำหนดให้ข้อมูลคำหลัก และจำนวนรายการข้อมูลที่ต้องการให้แสดงต่อ 1 หน้าจอเป็นข้อมูลนำเข้า ตัวอย่างเช่น จำนวนรายการข้อมูลของ URL ที่ต้องแสดงต่อ 1 หน้าจอของโปรแกรมค้นหา ซึ่งกำหนดให้มี 10 รายการต่อ 1 หน้าจอ¹⁷ ดังนั้น จำนวนรายการข้อมูลที่ต้องการให้แสดงต่อ 1 หน้าจอ

จะเท่ากับ 10 รายการค้นหาต่อการแสดง 1 หน้าจอ¹⁸ ดัง Figure 3 โดยกำหนดรายละเอียดของข้อมูลนำเข้า ดังนี้

1. ข้อมูลคำหลัก กำหนดให้เป็นกฎอแจไซรหัสโครโมโซม
2. จำนวนรายการข้อมูลที่ต้องการให้แสดงต่อ 1 หน้าจอ กำหนดให้เป็นข้อมูลจำนวนช่องโครโมโซม

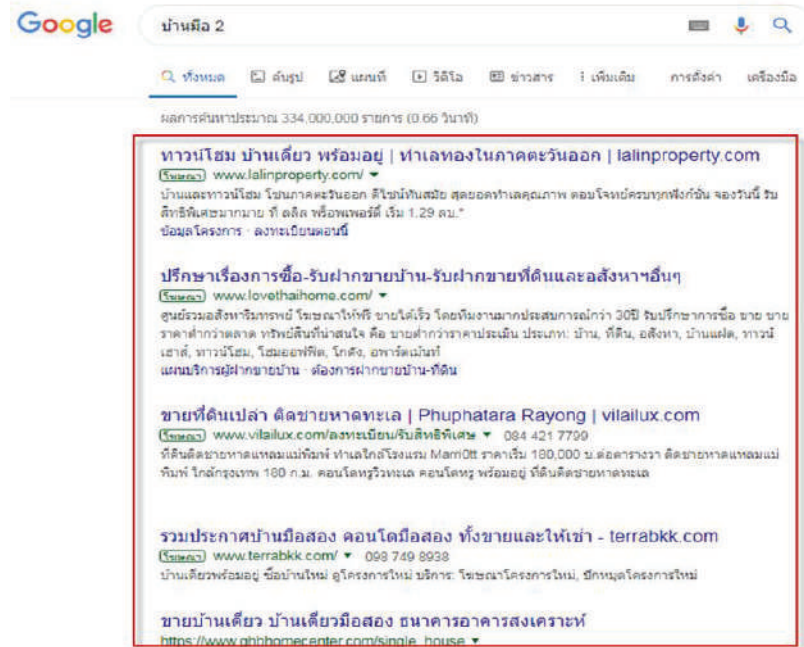


Figure 3 Example of displaying the particulars of information per page of Google Search
 (Source: <https://www.google.co.th/search?hl=th&source=#บ้านมือ2#>, online)

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างโครโมโซมจากข้อมูลนำเข้า

สร้างโครโมโซมจากข้อมูลนำเข้าด้วยการเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome encoding) การเข้ารหัสสำหรับข้อมูลนำเข้าจะเป็นในลักษณะ การเป็นตัวแทนการเปลี่ยนแปลง (Permutation representation) เป็นรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของเซตค่ายีน¹⁹ โดยกำหนดให้ยีนของโครโมโซมมีจำนวน n ช่อง (จำนวน n เท่ากับข้อมูล

จำนวนยีนของโครโมโซมตามข้อมูลที่ได้ในขั้นตอนที่ 1) กำหนดให้หมายเลขของช่องเป็น 1 ถึง n แล้วโครโมโซมจะมีลักษณะเป็นสายของยีน โดยยีนจะไม่ซ้ำกัน สมมติถ้าค้นหาคำว่า "สิ่งประดิษฐ์" โครโมโซมจะแสดงลักษณะของยีนตามรหัสชุดคำพ้อง (Synonym set: Synset) จากการแปลงคำที่เกี่ยวข้องกับคำว่า "สิ่งประดิษฐ์" ดัง Figure 4

build.v.02	create.v.02	artifical.a.01	thing.n.01	recover.v.01	appoint.v.01	thing.n.03	artifical.v.02	thing.v.02	create.v.03
------------	-------------	----------------	------------	--------------	--------------	------------	----------------	------------	-------------

Figure 4 Simulation of the chromosome consisting of 10 genes

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างประชากรเริ่มต้น

สร้างประชากรเริ่มต้น (Initial population) ด้วยการสร้างโครโมโซมแต่ละตัวโดยการสุ่มยีนไปสร้างเป็นโครโมโซมยีนที่ถูกสุ่มออกมาแล้วจะไม่ใส่กลับไป สุ่มจนครบตามจำนวนยีนสูงสุดที่กำหนด การสร้างโครโมโซม 1 ตัวและทำกระบวนการสุ่มซ้ำจนครบตามจำนวนโครโมโซมที่กำหนดไว้ซึ่งยีนได้มาจากมาตรวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายที่ได้มาจากการนำข้อมูลจากการนำกุญแจไขรหัสโครโมโซมมาค้นหาคำในฐานข้อมูลเครือข่ายคำภาษาไทย (Thai WordNet) โดยสร้างมาจากเครือข่ายคำของพรินสตัน (Princeton's wordnet: PWN) ที่เป็นแหล่งคำศัพท์ภาษาอังกฤษ โดยพิจารณาความคล้ายคลึงกันของเทอม (Term similarity) จาก

ความหมายที่คำนวณได้จากทรัพยากรคำศัพท์ที่มีโครงสร้างแบบอนุกรมวิธาน (Taxonomy) ของเครือข่ายคำ (Wordnet) กล่าวคือ เป็นข้อมูลคลังคำศัพท์ที่มีการจัดหมวดหมู่ของคำไว้เป็นกลุ่มไวพจน์ (Synonym set) อธิบายความหมายรายละเอียดของคำจำกัดความ และความสำคัญทางความหมายระหว่างกลุ่มไวพจน์^{16, 20}

โครงสร้างเครือข่ายคำเริ่มต้นจะเป็นทรัพยากรคำศัพท์ที่สำคัญในการประมวลผลภาษาอังกฤษที่ใช้เป็นจุดเริ่มต้น ส่วนคำของเครือข่ายคำในภาษาอื่นๆ มักถูกออกแบบให้จับคู่กับเครือข่ายคำภาษาอังกฤษเท่าที่ทำได้ โครงสร้างของเครือข่ายจะแทนคำเป็นชุดคำพ้อง (Synonym set: Synset) ซึ่ง Synset จะเป็นของหนึ่งความหมายโดยมีรูปแบบดังนี้¹⁶

"<word>.<pos>.<number>"
 <word> คือ รากศัพท์ของคำ
 <pos> แสดงบทบาทของคำในประโยคมีบทบาทสำคัญ ได้แก่ Noun (n), Verb (v), Adjective (a or s), Adverb (r)
 <number> เป็นเลขเรียงลำดับเริ่มตั้งแต่ 01 เป็นต้นไป โดยในภาษาอังกฤษจะเรียงตามความถี่ของคำที่เกิดขึ้น ตัวอย่างเช่น คำว่า "success" จะมี 4 ลักษณะดังนี้¹⁶
 Synset('success.n.01'),
 Synset('success.n.02'),
 Synset('success.n.03'),
 Synset('achiever.n.01')
 โดยแต่ละแบบจะมีนิยามและตัวอย่างการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น¹⁶

Success.n.01 หมายถึง "an event that accomplishes its intended purpose" ใช้กล่าวถึงตัวความสำเร็จ เช่น "let's call heads a success and tails a failure"

Success.n.02 หมายถึง "an attainment that is successful" ใช้กล่าวถึงการประสบความสำเร็จ เช่น "his new play was a great success"

สำหรับการเข้าถึงคำศัพท์ภาษาอังกฤษ เข้าถึงได้โดยผ่านเครือข่ายคำภาษาไทย (Thai wordnet) ซึ่งเครือข่ายคำภาษาไทยจะมีกลุ่มไวพจน์ภาษาอังกฤษกำกับไว้^{16, 21} ด้วยการสร้างคลาสคำสั่งโปรแกรมย่อยผ่านคุณสมบัติเครือข่ายคำภาษาไทยที่ใช้วิธีการแปลงคำภาษาไทยมาเป็นภาษาอังกฤษในขั้นตอนนี้ ดังนั้น สรุปได้ว่า ยินจะมีรูปแบบการเก็บข้อมูลในลักษณะดังนี้

"<word>.<pos>.<number>"

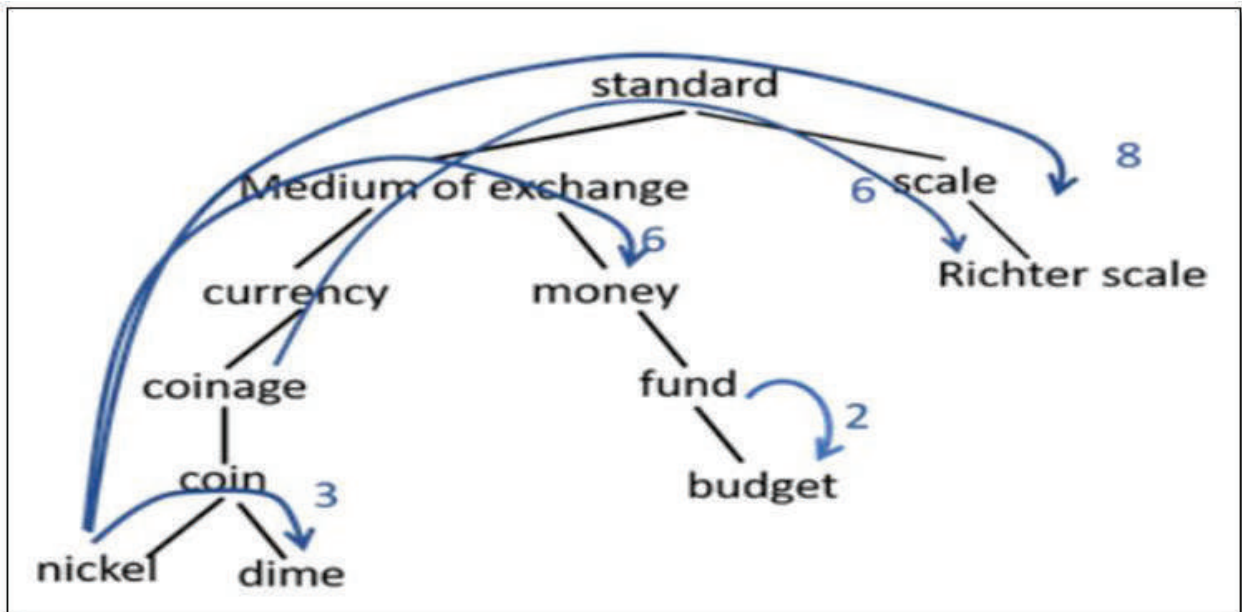


Figure 5 Example of the calculation of Path Distance Similarity⁸

ขั้นตอนที่ 4 การหาค่าความเหมาะสม

หาค่าความเหมาะสม เป็นการหาค่าความเหมาะสมให้แก่โครโมโซมตามฟังก์ชันค่าความเหมาะสม (Fitness function) จากสมการมาตรวัดความคล้ายคลึงเชิงลำดับชั้น ได้แก่ สมการ Path distance similarity^{22, 23} เป็นกลุ่มมาตรวัดที่คำนวณจากความสัมพันธ์ดังนี้

"is-ataxonomy (Hypernym, Hypnym)" (4)

โดยที่

is-ataxonomy คือ กลุ่มคำศัพท์ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะความหมายคล้ายคลึงกัน

Hypernym คือ คำศัพท์ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะความหมายคล้ายคลึงกันในระดับหมวดหลัก (Superclass)

Hypnym คือ คำศัพท์ที่มีความสัมพันธ์กันในลักษณะความหมายคล้ายคลึงกันในระดับหมวดย่อย (Subclass)

โดยจะคำนวณจากจำนวนโหนด (Node) ในเส้นทางที่สั้นที่สุดที่เชื่อมเทอมทั้งสองในความสัมพันธ์แบบ is-a taxonomy (Hypernym, Hypnoym) และคืนค่าคะแนนตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยอย่างยิ่งใกล้ 1 มากเท่าไร ก็คือ มีความคล้ายคลึงมากเท่านั้นแสดงดัง Figure 5 และมีสมการต่อไปนี้¹⁶

$$pathsim = \frac{1}{pathlen(c1, c2)} \quad (5)$$

โดยที่

pathsim คือ ค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมาย

pathlen คือ จำนวนโหนดความสัมพันธ์ระหว่างคำศัพท์ *c1* และ *c2*

c1 คือ ข้อมูลกฎเกณฑ์รหัสโครโมโซม

c2 คือ กลุ่มคำในยีน

จาก Figure 5 สามารถคำนวณค่า Path Distance Similarity ดังตัวอย่างดังนี้

$$pathsim(\text{fund, budget})=1/2=0.50$$

$$pathsim(\text{nickel, dime})=1/3=0.33$$

$$pathsim(\text{nickel, money})=1/6=0.16$$

$$pathsim(\text{nickel, Richter scale})=1/8=0.13$$

$$pathsim(\text{coinage, Richter scale})=1/6=0.16$$

ดังนั้น ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมมีสมการดังนี้

$$Max(pathsim) \quad (6)$$

จากสมการที่ 3 ค่าความเหมาะสม คือ ค่าความคล้ายคลึงเชิงความหมายที่มีค่าสูงที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 การเก็บค่าโครโมโซมที่เหมาะสม

เก็บค่าโครโมโซมที่เหมาะสม โดยการเก็บโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูงที่สุดจำนวนร้อยละ 20 ของโครโมโซมทั้งหมด^{24, 25}

ขั้นตอนที่ 6 การคัดเลือกโครโมโซม

การคัดเลือกโครโมโซมแบบ Roulette wheel selection เป็นการใช้ค่าความเหมาะสม (Fitness) ของโครโมโซมมาพิจารณา โดยโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีโอกาสถูกเลือกขึ้นมาด้วยความน่าจะเป็นที่มากกว่าโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมน้อย²⁶

ขั้นตอนที่ 7 การข้ามสายพันธุ์โครโมโซม

การข้ามสายพันธุ์โครโมโซม เป็นการข้ามสายพันธุ์แบบ Partially mapped crossover (PMX) เป็นการสุ่มตำแหน่งในโครโมโซมมา 2 ตำแหน่ง จากทั้ง 2 โครโมโซม จะได้ส่วนสำหรับจับคู่ (Mapping section) ที่เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างจุดตัด 2 จุด ที่สุ่มมา และยีนที่เหลือจะถูกสลับกันโดยพิจารณาเฉพาะส่วนที่จับคู่^{27, 28}จะได้โครโมโซมใหม่ จำนวน 2 โครโมโซม เลือกโครโมโซมแรกมาเพียง 1 ตัว สำหรับความหลากหลายของคำตอบที่ทำให้ประชากรรุ่นใหม่สืบทอดจากประชากรรุ่นก่อนหน้าให้มากที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 การกลายพันธุ์

กลายพันธุ์ คือ ทำการกลายพันธุ์โครโมโซมแบบ Swap mutation โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งยีนในโครโมโซมมา 2 ตำแหน่ง และสลับค่าระหว่าง 2 ตำแหน่งที่ถูกเลือกมา²⁹

ขั้นตอนที่ 9 การทำซ้ำส่วนคัดเลือกโครโมโซม

ทำซ้ำส่วนคัดเลือกโครโมโซมในขั้นตอนที่ 5 ถึงขั้นตอนที่ 7 จนได้โครโมโซมที่เป็นประชากรรุ่นใหม่ครบตามที่กำหนดในจำนวนโครโมโซม คือ อีกร้อยละ 80 ของจำนวนโครโมโซม^{27, 28}

ขั้นตอนที่ 10 การแทนที่ประชากรรุ่นเก่า

แทนที่ประชากรรุ่นเก่าด้วยประชากรรุ่นใหม่ แบ่งเป็นร้อยละ 20 จากโครโมโซมที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 และร้อยละ 80 ที่เหลือจากโครโมโซมที่ได้จากขั้นตอนที่ 9²⁹

ขั้นตอนที่ 11 การจัดเรียงยีนใหม่

จัดเรียงยีนใหม่หลังจากได้โครโมโซมที่เป็นประชากรรุ่นใหม่ครบแล้ว ทำการจัดเรียงยีนสำหรับจำนวนกลุ่มคำที่จะแสดง เริ่มจากกลุ่มคำแรก แล้วจัดเรียงใหม่ เมื่อได้ค่าความเหมาะสมที่มากกว่าเดิม จะแทนโครโมโซมที่มีค่าเดิมด้วยโครโมโซมที่มีค่าใหม่ ทำการจัดเรียงยีนสำหรับจำนวนกลุ่มคำที่จะแสดงในโครโมโซมถัดไปจนถึงโครโมโซมสุดท้ายด้วยวิธีเดียวกันจนได้ค่าสูงที่สุดของร้อยละ 20 ของโครโมโซมทั้งหมด^{27, 28, 29}

ขั้นตอนที่ 12 การทำซ้ำเพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสม

ทำซ้ำเพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสม เป็นการซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4 ถึง ขั้นตอนที่ 12^{27, 28, 29}

ขั้นตอนที่ 13 การแสดงข้อมูลให้ผู้ใช้งาน

แสดงข้อมูลให้ผู้ใช้งาน เมื่อได้ยีนในโครโมโซมที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ให้นำกลุ่มคำที่อยู่ในยีนมาสืบค้นข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาแสดงในระบบสืบค้นข้อมูลเพื่อแสดงข้อมูลให้กับผู้ใช้งาน

การทดลองใช้โปรแกรมเปรียบเทียบวิธีการสืบค้นข้อความภาษาไทยระหว่างเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและเทคนิคการ

ค้นหาด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง ตัวอย่างโปรแกรมแสดงได้ดัง Figure 6 และ Figure 7 โดยมีรายละเอียดสรุปผลการประเมินเปรียบเทียบ ดัง Table 1

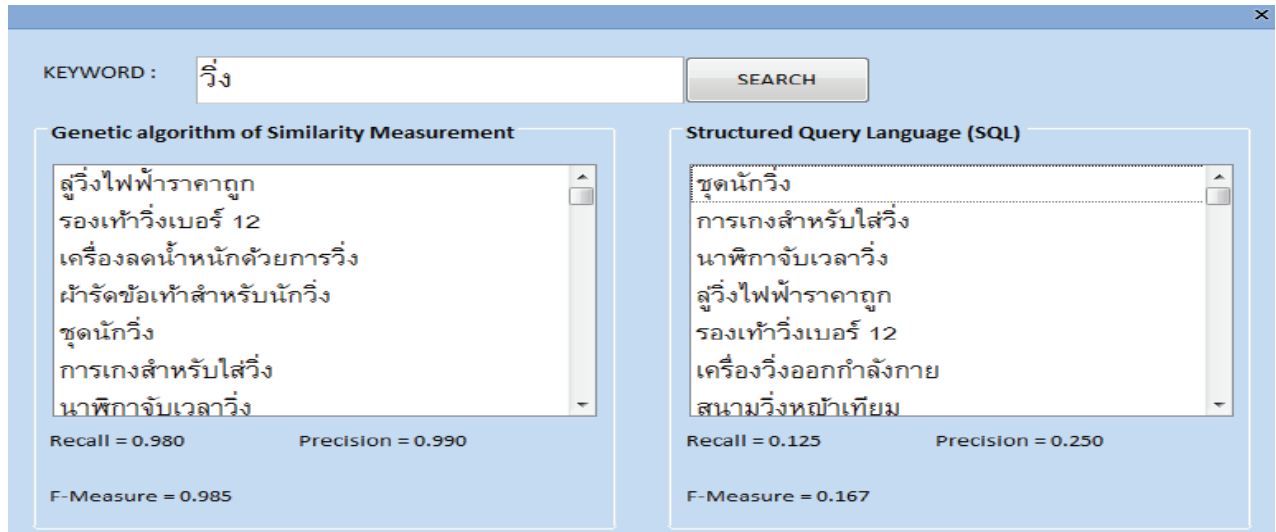


Figure 6 Example of the testing programs for the comparison between Thai text search in term of semantic-based similarity measurement technique using Genetic Algorithm and the search technique using Structured Query Language (SQL), single word search

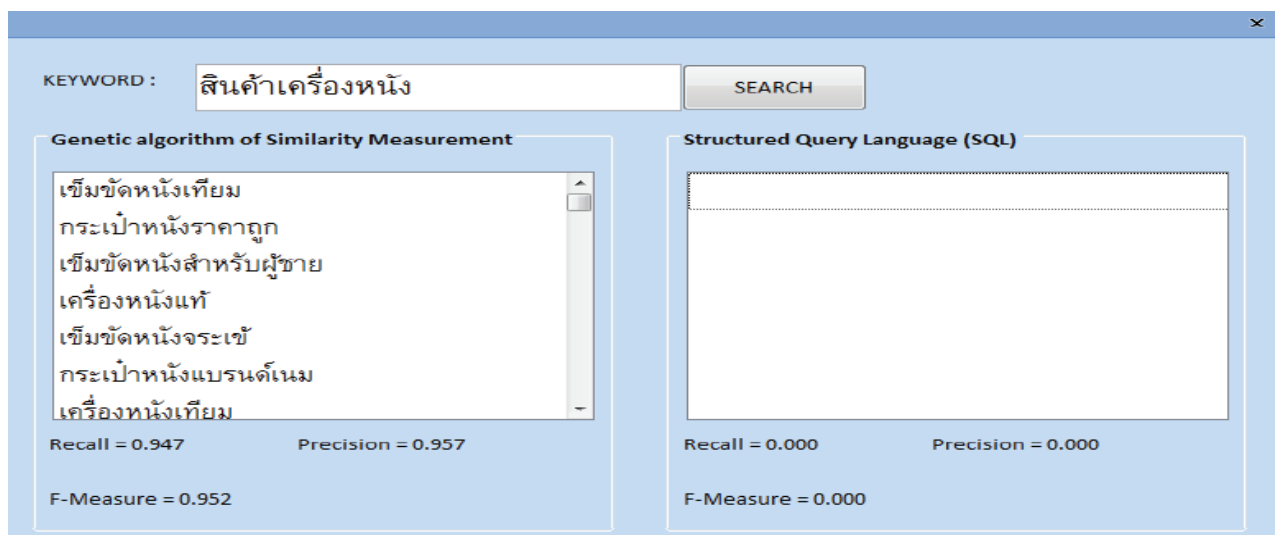


Figure 7 Example of the testing programs for the comparison between Thai text search in term of semantic-based similarity measurement technique using Genetic Algorithm and the search technique using Structured Query Language (SQL), sentence search

Table 1 Evaluation Result

คุณลักษณะ	ค่าเฉลี่ยความระลึก	ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง	ค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์
เทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	0.981	0.986	0.983
เทคนิคการค้นหาด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง	0.155	0.295	0.203

ผลการทดสอบการสืบค้นข้อความภาษาไทย จำนวน 10 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพตามเกณฑ์การประเมิน ประสิทธิภาพ 3 ด้าน ได้แก่ ค่าความระลึก ค่าความเที่ยงตรง และค่าเอฟเมเชอร์ พบว่า เทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.981 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ 0.986 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.983 ส่วนเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.155 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ 0.295 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.203

จากผลการศึกษา พบว่า การสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง โดยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย 13 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดข้อมูลนำเข้า 2) การสร้างโครโมโซมจากข้อมูลนำเข้า 3) การสร้างประชากรเริ่มต้น 4) การหาค่าความเหมาะสม 5) การเก็บค่าโครโมโซมที่เหมาะสม 6) การคัดเลือกโครโมโซม 7) การข้ามสายพันธุ์โครโมโซม 8) การกลายพันธุ์ 9) การทำซ้ำส่วนคัดเลือกโครโมโซม 10) การแทนที่ประชากรรุ่นเก่า 11) การจัดเรียงยีนใหม่ 12) การทำซ้ำเพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสม และ 13) การแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้งาน

วิจารณ์และสรุปผล

ผลการศึกษา พบว่า แนวคิดการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ประกอบด้วย 13 ขั้นตอน ได้แก่ 1) การกำหนดข้อมูลนำเข้า 2) การสร้างโครโมโซมจากข้อมูลนำเข้า 3) การสร้างประชากรเริ่มต้น 4) การหาค่าความเหมาะสม 5) การเก็บค่าโครโมโซมที่เหมาะสม 6) การคัดเลือกโครโมโซม 7) การข้ามสายพันธุ์โครโมโซม 8) การกลายพันธุ์ 9) การทำซ้ำส่วนคัดเลือกโครโมโซม 10) การแทนที่ประชากรรุ่นเก่า 11) การจัดเรียงยีนใหม่ 12) การทำซ้ำเพื่อหาข้อมูลที่เหมาะสม และ 13) การแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้งาน ส่วนการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพสูงกว่าการเข้าถึงข้อมูลด้วยเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง โดยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.981 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ 0.986 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.983 ส่วนเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้าง มีค่าเฉลี่ยความระลึก เท่ากับ 0.155 ค่าเฉลี่ยความเที่ยงตรง เท่ากับ

0.295 และค่าเฉลี่ยเอฟเมเชอร์ เท่ากับ 0.203 ซึ่งให้เห็นว่าการเข้าถึงข้อมูลด้วยเทคนิคการค้นหาคำด้วยภาษาแบบสอบถามข้อมูลอย่างมีโครงสร้างจะค้นหาคำข้อมูลได้เฉพาะคำที่เป็นคำโดดและต้องเป็นคำที่มีความหมายที่ตรงตัวเท่านั้น (Figure 6) ส่วนการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีประสิทธิภาพการค้นหาคำที่สูงทั้งคำค้นหาที่เป็นคำโดดและคำที่เป็นรูปประโยค โดยค้นหาได้ทั้งคำที่มีความหมายโดยตรงและคล้ายคลึงได้ (Figure 7) ซึ่งผลการศึกษาสอดคล้องกับการศึกษาของ Netisopakul (2019)⁸ ที่ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายสำหรับคำเหมือนและคำตรงข้ามภาษาไทย ซึ่งการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายสามารถประยุกต์ใช้วัดความคล้ายคลึงในคำภาษาไทยได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง และผลการศึกษาได้รับประโยชน์ดังนี้

1. ได้แนวความคิดการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยการประมวลผลข้อความตามมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
2. นักพัฒนาโปรแกรมสามารถนำผลการวิจัยไปใช้สำหรับอ้างอิงในการพัฒนาการสืบค้นข้อมูลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้
3. นักวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสาขาการจัดการสารสนเทศ สามารถนำผลการวิจัยไปใช้สำหรับอ้างอิงเป็นแนวทางในการวิจัยในอนาคตได้

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. นักพัฒนาโปรแกรมที่มีความต้องการพัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยควรนำแนวคิดการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยการประมวลผลข้อความตามมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทย
2. การนำแนวคิดการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยการประมวลผลข้อความตามมาตรฐานวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมไปใช้งานควรนำไปทดสอบหาค่าประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากในขั้นตอนที่ 3 การสร้างประชากรเริ่มต้น ควรที่จะสร้างคลาสคำสั่งโปรแกรมย่อยผ่านคุณสมบัติเครือข่ายคำภาษาไทยในการเข้าถึงคำศัพท์ภาษาอังกฤษซึ่งเครือข่ายคำภาษาไทยจะมีกลุ่มไวยากรณ์ภาษาอังกฤษกำกับไว้
3. การกำหนดยีนของโครโมโซมอาศัยคุณสมบัติเครือข่ายคำภาษาไทยในการเข้าถึงคำศัพท์ภาษาอังกฤษ

ซึ่งจำนวนคำศัพท์ที่มีสูงสุดขึ้นอยู่กับเครือข่ายคำภาษาไทย ดังนั้น ควรมีการปรับปรุงรุ่น ของเครือข่ายคำภาษาไทยอย่างสม่ำเสมอเพื่อความทันสมัยของข้อมูล

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป

1. การศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้การหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายแบบ Path distance similarity เป็นพื้นฐานของสมการหาค่าความเหมาะสมเท่านั้น การศึกษาครั้งต่อไป ควรใช้การหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายแบบอื่นๆ ได้แก่ Leacock chodorow similarity, Wu-palmer Similarity, Resnik similarity, Jiang-conrath, Similarity และ Lin similarity มาใช้ในการศึกษาในอนาคต

2. การศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายแบบต่างๆ มาเปรียบเทียบหามาตรวัดความคล้ายคลึงเชิงความหมายที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการนำมาใช้เป็นพื้นฐานของสมการหาค่าความเหมาะสมของการสืบค้นข้อมูลข้อความภาษาไทยด้วยเทคนิคการหาความคล้ายคลึงเชิงความหมายด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

เอกสารอ้างอิง

- Sapsomboon B. Medical biology information search. Available from: URL: <https://www.si.mahidol.ac.th/simi/pdf/pubmed> Assessed May 16, 2019.
- Laothongdee D. Search engine algorithm study and web promotion analysis. (Maters Thesis, Thammasat University). 2003.
- Google. Advanced Search. Available from: URL: https://google.com/advanced_search May 16, 2019.
- Boonrawd P, Srisuktaksin P. Retrieving Big Data Using NoSQL and Semantic Web Technology. The Journal of KMUTNB 2015 ; 5(2): 255-264.
- Korler P. SQL Issues. Available from: URL: <http://stackoverflow.com/quest/SQL/Like-not-found> May 16, 2019.
- Svetthitikun Y, Supasetsiri P, Pakdeeronachit S. The analysis of factors for e-commerce affects the purchasing behavior of consumers' fashion apparel. The Journal of Social Communication Innovation 2017 ; 5(1): 21-31.
- Vongsirisin K. The product value affecting the customer's purchase decision on V CARE U Natural & Premium Dog Food in Bangkok. Maters Thesis, Bangkok University). 2016. (in thai).
- Netisopakul P. Text similarity measurement for synonyms term and antonyms term of Thai. Available from: URL: http://www.it.kmitl.ac.th/index.php/main_journal/article May 10, 2019. (in thai).
- Pattrawadee M. Research Design for Mixed Method Research. Journal of the Association of Researchers 2016 ; 2(2): 19-31.
- Wellington J. Education research: contemporary issues and practical approaches. London: Continuum ; 2000.
- Scott, J. Social research and documentary sources. Sage Benchmarks in Social Research Methods, Documentary Research Volume 1. Thousand Oaks, California: SAGE Publication. 2006 ; 3-40.
- Rigotti, B. How do I get my website on the first page of Google. Available from: URL: <https://cristersmedia.com/how-do-i-get-my-website-on-the-first-page-of-google/> May 16, 2019.
- Mathworks. Find global minima for highly nonlinear problems. Available from: URL: <https://mathworks.com/genetic-algorithm.html> May 16, 2019.
- Salah FAAS, Mohamad SA, El-Horbaty ESM. Swarm Intelligent Algorithms for solving load balancing in cloud computing. Egyptian Computer Science Journal 2019 ; 43(1): 45-57.
- Whitley D. Next generation genetic algorithms: a user's guide and tutorial. In: Gendreau M, Potvin JY. (eds) Handbook of metaheuristics. International Series in Operations Research & Management Science 2019 ; 272: Springer, Cham.
- Netisopakul P. text similarity measurement for synonyms term and antonyms term of Thai. Available from: URL: http://www.it.kmitl.ac.th/~journal/index.php/main_journal/article/download/100/49 May 16, 2019. (in thai).
- Rigotti B. How do I get my website on the first page of Google. Available from: URL: <https://cristersmedia.com/how-do-i-get-my-website-on-the-first-page-of-google/> May 16, 2019.
- Google. Data search. Available from: URL: <https://www.google.co/search> May 16, 2019.

19. Eiben K, Agoston E, Smith JE. *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer. Goldberg, David E. (1989), *Genetic Algorithm in Search Optimization and Machine Learning*, New York: Addison Wesley. 2003.
20. Sagum RA, Ramos AD, Llanes MT. FICOBU: Filipino WordNet construction using decision tree and language modeling. *International Journal of Machine Learning and Computing* 2019 ; 9(1): 103-107.
21. Thoongsup SR. Thai WordNet construction. *Proceedings of the 7th workshop on Asian language resources Association for computational linguistics* 2009: 139-144.
22. Yang D, Powers DM. Measuring semantic similarity in the taxonomy of WordNet. *Australian Computer Society* 2005 ; 38(1): 315-322.
23. Cai Y, Zhang Q, Che WA. Hybrid approach for measuring semantic similarity based on IC-weighted path distance in WordNet. *Journal of Intelligent Information Systems* 2018 ; 51(1): 33-47.
24. Fazlia W, Zagerb AAK, Rozaidaa G. Using improved firefly algorithm based on genetic algorithm crossover operator for solving optimization problems. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems* 2019 ; 36(2): 1547-1562.
25. Haoweia Z, Junweia X, Jiaanga G, Zhaojianb Z, Binfengc ZA. Hybrid adaptively genetic algorithm for task scheduling problem in the phased array radar. *European Journal of Operational Research* 2019 ; 272 (3): 868-878.
26. Krishna GJ, Ravi V. Feature subset selection using adaptive differential evolution: an application to banking. *Proceedings of the ACM India Joint International Conference on Data Science and Management of Data* 2019: 157-163.
27. Juneja SS, Saraswat P, Singh K, Sharma J, Majumdar R, Chowdhary S. Travelling salesman problem optimization using genetic algorithm. *Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)* 2019.
28. Mishra A, Sainul IA, Bhuyan, S, Deb S, Sen D, Deb AK. Development of a flexible assembly system using industrial robot with machine vision guidance and dexterous multi-finger gripper. *Precision Product-Process Design and Optimization* 2018 ; 31-71.
29. Yifei T, Meng Z, Jingwei L, Dongbo L, Yulin W. Research on intelligent welding robot path optimization based on GA and PSO algorithms. *IEEE Access* 2019 ; 6: 65397-65404.

ผลของระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่วโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตตเบด

Effect of degree of roast on roasted coffee physical and sensory qualities using spouted bed roaster

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์^{1*}, สุชน ทรัพย์สิงห์², เอกภูมิ บุญธรรม³, ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์⁴
Kittisak Witinantakit^{1*}, Suchon Supsing², Eakpoom Boonthum³, Chaiyong Taechapairoj⁴

Received: 9 October 2019 ; Revised: 29 November 2019 ; Accepted: 7 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการคั่วกาแฟด้วยเครื่องคั่วสเปาเตตเบด เพื่อศึกษาระดับการคั่วต่อคุณภาพด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว ด้วยกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้าที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียก และนำมาคั่วที่อุณหภูมิอากาศร้อน 255 258 261 และ 264 องศาเซลเซียส ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city, และ Italian ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า คุณภาพด้านกายภาพของกาแฟคั่วที่ระดับการคั่วเข้มข้น ความหนาแน่นปรากฏ ความหนาแน่นจริง และสีของกาแฟมีค่าลดลง แต่การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มข้น ค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่ระดับการคั่ว city จะมีค่า sweetness, mouth feel, aftertaste และ balance สูงที่สุด และมีรสชาติของกาแฟดีที่สุด

คำสำคัญ: กาแฟ การคั่ว ระดับการคั่ว สเปาเตตเบด

Abstract

This research studied the on physical and sensory qualities of roasting coffee using a spouted bed. The arabica coffee bean samples were treated by wet processing and roasting temperatures of 255, 258, 261 and 264 °C (degree of roast were called city(-), city, full city and Italian, respectively). The results demonstrated that changes in physical quality with increased degree of roasted were true density, bulk density and color of roast coffee decreased but roast loss and organic roast loss were increased. In addition, studies of sensory quality found that aroma, clean cup, acidity and flavor were decreased. While, degree of roast "city" showed that sweetness, mouth feel, aftertaste and balance were highest and the best coffee flavor.

Keywords: Coffee, Roasting, Degree of roast, Spouted bed

¹ อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110

² นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20110

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

⁴ ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹ Lecturer, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand

² Graduate Student, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand

³ Assist. Prof., Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang District, Phitsanulok 65000, Thailand

⁴ Assist. Prof., Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University, Sanamchadra Palace Campus, Muang District, Nakhon Pathom 73000 Thailand

* Corresponding author ; Kittisak Witinantakit, Energy Technology Department, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Sriracha District, Choburi 20110, Thailand. k_yong28@hotmail.com

บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก ทำให้มีความต้องการเมล็ดกาแฟเพิ่มมากขึ้น ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งประเทศไทยมีความต้องการเมล็ดกาแฟในอุตสาหกรรมประมาณ 90,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าสูงกว่า 10,000 ล้านบาท¹ กาแฟอาราบิก้า (Arabica) เป็นกาแฟสายพันธุ์หนึ่งที่ยิยมปลูกและจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่สูงที่มีอากาศเย็น จึงนิยมปลูกในจังหวัดทางภาคเหนือของประเทศไทย เช่น เชียงราย และเชียงใหม่ เป็นต้น กาแฟอาราบิก้ามีกลิ่นหอม รสชาติกลมกล่อม และมีปริมาณคาเฟอีนต่ำ การดื่มกาแฟช่วยลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็ง โรคอัลไซเมอร์ โรคซึมเศร้า และโรคหัวใจ เป็นต้น¹ การแปรรูปผลกาแฟอาราบิก้าเป็นเมล็ดกาแฟดิบหรือสารกาแฟ นิยมใช้วิธีการแปรรูปแบบเปียก แล้วนำมาคั่วทำความสะอาดให้ได้สารกาแฟที่มีคุณภาพก่อนเข้าสู่กระบวนการคั่ว

เครื่องคั่วกาแฟทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนให้กับเมล็ดกาแฟดิบเพื่อเปลี่ยนเป็นกาแฟคั่วที่ให้สี และกลิ่นที่หลากหลายตามความต้องการ เครื่องคั่วมีหลายแบบ อาทิ เช่น เครื่องคั่วแบบถังหมุนแนวนอนและแนวตั้งเป็นเครื่องคั่วแบบดั้งเดิมที่ได้รับความนิยม จะติดตั้งใบกวนเพื่อทำหน้าที่คลุกเคล้าเมล็ดกาแฟขณะคั่ว ให้ได้รับความร้อนจากการนำผ่านผนังของถังคั่ว² ซึ่งการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำจะช้ากว่าการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา และเมล็ดกาแฟอาจจะได้รับความร้อนไม่สม่ำเสมอ ส่วนเครื่องคั่วแบบฟลูอิดไคซ์เบดและเครื่องคั่วแบบสเปาเตตเบดจะอาศัยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศร้อนโดยการพาเป็นหลัก^{3, 4} ซึ่งมีข้อดี คือ อากาศร้อนจะคลุกเคล้ากับเมล็ดได้อย่างทั่วถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนสูง ทำให้ใช้ระยะเวลาในการคั่วสั้น⁴ และเครื่องคั่วแบบสเปาเตตเบดสามารถใช้กับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และมีรูปทรงที่ไม่เป็นเรขาคณิตได้⁵ การคั่วเป็นขั้นตอนที่เพิ่มมูลค่าของกาแฟ และเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อรสชาติ และกลิ่นของกาแฟที่แตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับเครื่องคั่วและเทคนิคเฉพาะรายของโรงคั่ว สอดคล้องกับผู้บริโภคในปัจจุบันที่นิยมดื่มกาแฟสดหรือกาแฟคั่วบดแทนกาแฟสำเร็จรูป ทำให้มีธุรกิจร้านกาแฟอิสระเพิ่มขึ้น ซึ่งแต่ละร้านจะมีกลิ่นและรสชาติของกาแฟแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดกาแฟ วิธีการคั่ว และแหล่งเพาะปลูก¹ เป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคที่ชื่นชอบกลิ่น และรสชาติของกาแฟที่แปลกใหม่

การคั่วกาแฟโดยใช้เครื่องคั่วที่ถ่ายเทความร้อนด้วยการพา ซึ่งมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จะทำให้ใช้เวลาในการคั่วสั้น และเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนสม่ำเสมอทุกเมล็ด โดยเฉพาะเครื่องคั่วแบบสเปาเตตเบดที่เหมาะสมกับวัสดุขนาดใหญ่และรูปทรงไม่เป็นเรขาคณิต⁴ และเครื่องคั่วที่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูง จะสามารถปรับเปลี่ยนโปรไฟล์การคั่วได้

หลากหลาย ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพทั้งด้านกายภาพและประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคั่วกาแฟสายพันธุ์อาราบิก้า (จากจังหวัดเชียงใหม่) โดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตตเบด ทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนถึงคั่วเข้ม เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการคั่ว (ระดับการคั่ว) ต่อคุณภาพด้านกายภาพของกาแฟคั่ว⁶ เช่น สี การสูญเสียมวล ความหนาแน่น และคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของกาแฟคั่ว

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

เครื่องคั่วสเปาเตตเบด

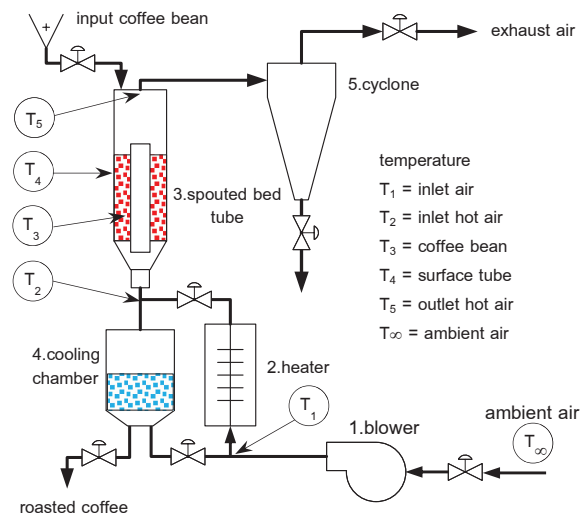


Figure 1 Diagram of spouted bed roaster

เครื่องคั่วสเปาเตตเบด (spouted bed roaster) เป็นเครื่องคั่วต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ ดัง Figure 1 ประกอบด้วย 1) เครื่องเป่าลม (blower) ขนาด 1 แรงม้า ควบคุมด้วยเครื่องควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์พัดลม 2) ชุดให้ความร้อนขนาด 9 กิโลวัตต์ สำหรับให้ความร้อนแก่อากาศ ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้ temperature controller 3) ท่อสเปาเตตเบดเป็นหลอดแก้วทนความร้อน (borosilicate glass) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร ภายในติดตั้งท่อนำก๊าซขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร 4) ชุดระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟหลังการคั่ว 5) ไซโคลน (cyclone) ดักฝุ่นที่เกิดจากการคั่ว ขณะทำการคั่วจะบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (T_1, T_2, T_5, T_∞) อุณหภูมิผนังห้องคั่ว (T_4) และอุณหภูมิเมล็ดกาแฟ (T_3) ดัง Figure 1 หน้าที่ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ส่งค่าแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์บันทึกข้อมูล (GRAPTEC midi logger รุ่น GL820) มีความละเอียดในการบันทึกค่า 0.1 °C สำหรับการวัดอุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะใช้ไพรบวัดอุณหภูมิในช่องดาร์วิน

คัมเมอร์ ซึ่งเมล็ดกาแฟจะสัมผัสกับโพรบตลอดเวลา และเป็นส่วนที่มีปริมาณเมล็ดกาแฟหนาแน่น แต่มีอากาศแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นเมล็ดกาแฟน้อย จึงประมาณได้ว่าเป็นอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ

วัตถุดิบ

เมล็ดกาแฟหรือสารกาแฟที่ทดลอง ใช้ผลกาแฟสายพันธุ์อราบิกากจากจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเก็บเกี่ยวในปี พ.ศ. 2560 และผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเปียกแล้ว นำมาทำการสีและคัดแยกเมล็ดที่ไม่สมบูรณ์ออก และหาความชื้นของเมล็ดกาแฟตามมาตรฐาน AOAC⁷ ซึ่งมีค่าความชื้นของเมล็ดกาแฟก่อนคั่วโดยเฉลี่ยประมาณ 14.29% d.b.

การคั่วกาแฟ

คั่วกาแฟโดยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 255 258 261 และ 264 °C เพื่อให้ได้ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian ตามลำดับ ซึ่งเป็นระดับการคั่วอ่อนไปจนถึงระดับการคั่วเข้ม โดยอ้างอิงสีของเมล็ดกาแฟแต่ละระดับการคั่วตามมาตรฐานของ Agtron numbers⁸ ที่ 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ แสดงดัง Table 1

Table 1 Conditions of coffee roasting at each degree of roast

Roast temperature (°C)	Degree of roast	Roast classification	Agtron numbers
255	city(-)	light	85
258	city	moderately light	75
261	full city	medium	55
264	Italian	moderately dark	45

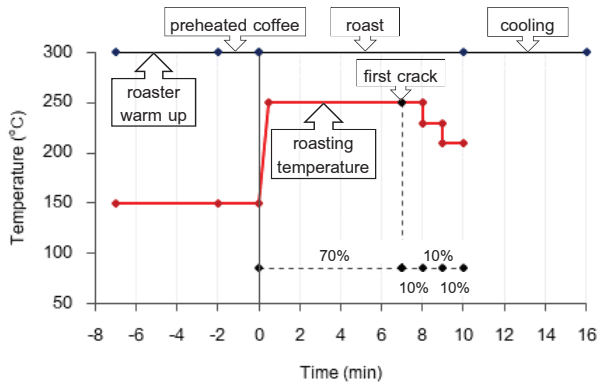


Figure 2 Coffee roasting profile

ทดลองคั่วกาแฟโดยเริ่มจากอุณหภูมิเครื่องคั่วด้วยอากาศร้อนที่อัตราการไหล 2.18 m³/min อุณหภูมิประมาณ 150 °C เป็นเวลา 5 นาที ใส่เมล็ดกาแฟ 700 กรัม เข้าทางช่องใส่เมล็ดกาแฟด้านบนห้องคั่วดัง Figure 1 อุณหภูมิกาแฟเป็นเวลา 1.5 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิอากาศร้อนตาม Table 1 เพื่อคั่วเมล็ดกาแฟตามโปรไฟล์ที่ต้องการศึกษาดัง Figure 2 โดยทำการคั่วและบันทึกเวลาที่เกิดเสียงปริแตกของเมล็ดกาแฟ (first crack) โดยประมาณเวลาที่เกิดเสียงปริแตกเป็นเวลาคั่วร้อยละ 70 ของระยะเวลาการคั่วทั้งหมด เมื่อเวลาการคั่วเป็นร้อยละ 80 ให้ลดอุณหภูมิการคั่วประมาณ 20 °C และเมื่อเวลาการคั่วเป็นร้อยละ 90 ให้พิจารณาสีของเมล็ดกาแฟ ถ้าสีของเมล็ดกาแฟยังไม่ได้ตาม Agtron numbers ใน Table 1 ให้ลดอุณหภูมิการคั่วประมาณ 20 °C แล้วทำการคั่วต่อไปจนได้สีของเมล็ดกาแฟตาม Agtron numbers ใน Table 1 จึงหยุดป้อนอากาศร้อน แล้วปล่อยเมล็ดกาแฟเข้าสู่ห้องระบายความร้อน (cooling chamber) เพื่อเป่าอากาศแวดล้อมระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟจนเมล็ดกาแฟมีอุณหภูมิประมาณ 55 °C แล้วเก็บในภาชนะปิดสนิท ส่วนความชื้นของเมล็ดกาแฟหาตามมาตรฐาน AOAC⁷ โดยคำนวณดังสมการที่ (1)

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \tag{1}$$

เมื่อ

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.)

w คือ มวลเปียกของวัสดุ (g)

d คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

สัดส่วนช่องว่างอากาศ (void fraction)

นำเมล็ดกาแฟใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตร แล้วเติมเฮกเซน (hexane) จนเต็มภาชนะ บันทึกปริมาตรเฮกเซนที่ใช้ จากนั้นคำนวณหาสัดส่วนช่องว่างอากาศตามสมการที่ (2)⁹

$$\epsilon = \frac{V_h}{V_a} \tag{2}$$

เมื่อ

e คือ สัดส่วนช่องว่างอากาศ (ทศนิยม)

V_h คือ ปริมาตรเฮกเซน (m³)

V_a คือ ปริมาตรเมล็ดกาแฟรวมช่องว่างอากาศ (m³)

ความหนาแน่น (density)

นำเมล็ดกาแฟใส่ภาชนะที่ทราบปริมาตรจนเต็ม ชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟ คำนวณหาความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) ดังสมการที่ (3) และคำนวณหาความหนาแน่นจริง (true density) ดังสมการที่ (4)¹⁰

$$\rho_b = \frac{m_r}{V} \tag{3}$$

$$\rho_t = \frac{\rho_b}{1 - \varepsilon} \tag{4}$$

- เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นปรากฏ (kg/m³)
 ρ_t คือ ความหนาแน่นจริง (kg/m³)
 m_r คือ มวลของเมล็ดกาแฟหลังคั่ว (kg)
 V คือ ปริมาตรของภาชนะ (m³)

การสูญเสียมวล (roast loss)

ชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนคั่วและหลังคั่ว คำนวณการสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว ดังสมการที่ (5)³

$$RL = \frac{m_g - m_r}{m_g} \times 100 \tag{5}$$

- เมื่อ RL คือ ค่าสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว (ร้อยละ)
 m_g คือ มวลของเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (g)
 m_r คือ มวลของเมล็ดกาแฟหลังคั่ว (g)

การสูญเสียมวลแห้ง

ชั่งน้ำหนักเมล็ดกาแฟก่อนและหลังคั่ว แล้วนำไปหามวลแห้ง ตามมาตรฐาน AOAC (1990)⁶ แล้วคำนวณการสูญเสียมวลแห้ง (organic roast loss) ของเมล็ดกาแฟคั่ว ดังสมการที่ (6)⁶

$$ORL = 100 - (100 - RL) \frac{dm_r}{dm_g} \tag{6}$$

- เมื่อ ORL คือ ค่าสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดกาแฟคั่ว (ร้อยละ)
 dm_g คือ มวลแห้งของเมล็ดกาแฟก่อนคั่ว (g/100 g, w.b.)
 dm_r คือ มวลแห้งของเมล็ดกาแฟคั่ว (g/100 g, w.b.)

สีของผงกาแฟ

บดเมล็ดกาแฟด้วยเครื่องบดมือ แล้วเข้าเครื่องวัดสี Colorimeter N3H รุ่น NR200 บันทึกค่าสีของผงกาแฟคั่วตามมาตรฐาน CIE Lab (international commission on illumination) โดย L แสดงถึงความสว่างมีค่า 0-100 โดยค่า 0 คือ สีดำ และค่า 100 คือ สีขาว ส่วนค่า a* แสดงสีเขียว (-a*) ถึงสีแดง (+a*) และค่า b* แสดงสีน้ำเงิน (-b*) ถึงสีเหลือง (+b*)

วิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส (sensory evaluation) ของกาแฟ โดยการชิมกาแฟจากผู้เชี่ยวชาญด้านกาแฟจำนวน 6 คน ที่ได้รับใบอนุญาต Q Grader จาก CQI (Coffee Quality Institute) ตามมาตรฐานของสมาคมกาแฟพิเศษแห่งอเมริกา SCAA (Specialty Coffee Association of America) ทำการชิมแยกกระตบรสชาติ และกลิ่นของกาแฟที่คั่วที่ได้จากการทดลองตามระดับการคั่วต่างๆ ซึ่งขั้นตอนการชิมและการบันทึกคะแนนใช้หลักเกณฑ์ตามมาตรฐาน SCAA¹¹ โดยให้คะแนนการชิมด้านความสะอาดในรสชาติ (clean cup) ความหวาน (sweetness) ความเปรี้ยว (acidity) ความรู้สึกสัมผัสในปาก (mouth feel) กลิ่นรส (flavor) ความรู้สึกหลังการดื่ม (aftertaste) และความสมดุลของกลิ่นและรสชาติ (balance) ในช่วง 0-8 คะแนน ดังนี้ 0=unacceptable, 2=poor, 4=ordinary, 6=fine และ 8=great

ผลการศึกษา

ทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนไปคั่วเข้ม หรือที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จนได้สีเมล็ดกาแฟที่ใกล้เคียงกับ Agtron numbers 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ ได้ผลดังนี้

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟ

จาก Figure 3 เป็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟขณะคั่วกาแฟที่ระดับการคั่ว city พบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าห้องคั่วจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว จนถึงค่าประมาณ 258 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการคั่วตามเงื่อนไขใน Table 1 โดยใช้เวลาประมาณ 1 นาที จากนั้นจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่จนถึงช่วงที่เกิดเสียงปร๊ตของเมล็ดกาแฟ อุณหภูมิของอากาศจะถูกปรับลดลงตามโปรไฟล์ใน Figure 2

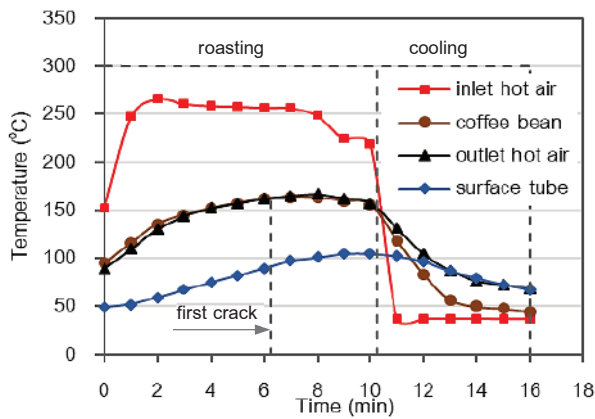


Figure 3 Temperature profile of hot air and coffee bean during roasting at “city” roasting level

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟ พบว่า อุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 4 นาทีแรกของการคั่ว หลังจากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนเกือบคงที่ เมื่อเมล็ดกาแฟเกิดเสียงปริแตกในนาทีที่ 6.25 (ประมาณเวลาเป็นร้อยละ 70 ของระยะเวลาการคั่วทั้งหมด) จะทำการลดอุณหภูมิการคั่ว (258 °C) ตามโปรไฟล์ใน Figure 2 ครั้งละ 20 °C จำนวน 2 ครั้ง ในนาทีที่ 7.14 และนาทีที่ 8.04 ดำเนินการคั่วจนได้สีของเมล็ดกาแฟตาม Agtron numbers 75 ใน Table 1 จึงหยุดการให้ความร้อน (ประมาณนาทีที่ 10.05) แล้วปล่อยเมล็ดกาแฟเข้าสู่ห้องระบายความร้อน จากนั้นเป่าอากาศแวดล้อม (อุณหภูมิประมาณ 37 °C) เข้าไปที่ห้องระบายความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟ ทำให้อุณหภูมิของเมล็ดกาแฟลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5-6 นาทีสุดท้ายของการทดลอง จนได้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟประมาณ 55 °C จึงหยุดการทดลอง แล้วจัดเก็บในภาชนะปิดสนิทเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

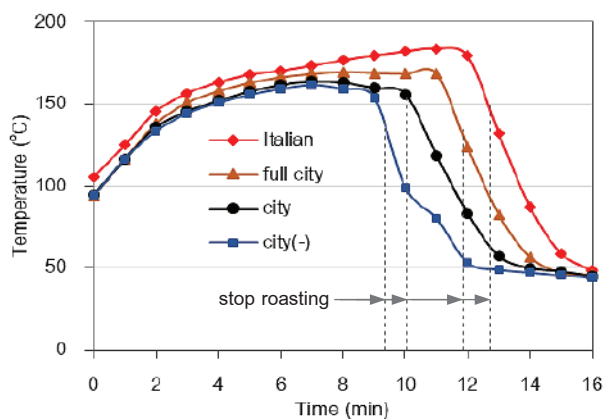


Figure 4 Temperature profile of coffee bean during roasting at different degree of roasting

จาก Figure 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเมล็ดกาแฟที่ระดับการคั่วต่างกัน พบว่า ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมล็ดกาแฟขณะทำการคั่ว มีลักษณะรูปทรงของกราฟแบบโค้งคว่ำคล้ายกันทุกระดับการคั่ว โดยที่ระดับการคั่วเข้มจะมีอุณหภูมิเมล็ดกาแฟสูงกว่า ส่งผลให้อุณหภูมิเมล็ดสูงขึ้นตามไปด้วย และใช้เวลาในการคั่วมากกว่า แสดงว่ามีการใช้พลังงานในการคั่วมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน เพื่อให้ได้สีของเมล็ดกาแฟหลังคั่วตามเงื่อนไขตั้ง Table 1

เวลาในการเกิดเสียงปริแตก ระยะเวลาการให้ความร้อน และปริมาณความชื้น

Table 2 First crack, heat duration and moisture content of roasted coffee

Degree of roast	First crack time (min)	Heat duration (min)	Moisture content ^{ns} (% d.b.)
city(-)	7.25	9.32	1.18±0.97
city	6.25	10.05	1.05±0.52
full city	6.00	11.85	1.42±0.26
Italian	5.50	12.73	1.57±0.27

ns mean that the data not statistically significant (p>0.05)

จาก Table 2 การเกิดเสียงปริแตกจากการคั่วเมล็ดกาแฟอยู่ในช่วง 5.50-7.25 นาที เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกจากการคั่วเมล็ดกาแฟสั้นลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจาก city(-) เป็น city ระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกสั้นลงค่อนข้างมากประมาณร้อยละ 13.79 ขณะที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจาก city เป็น full city และ full city เป็น Italian ระยะเวลาการเกิดเสียงปริแตกสั้นลงประมาณร้อยละ 4.00 และ 8.33 ตามลำดับ แต่จะมีระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น โดยที่ระดับการคั่ว city(-) เป็น city และ full city เป็น Italian ระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 7.83 และ 7.43 ตามลำดับ ส่วนที่ระดับการคั่ว city เป็น full city ระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากร้อยละ 17.91 และทุกระดับการคั่วมีความชื้นหลังการคั่วใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณร้อยละ 1.05-1.57 d.b. โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ความหนาแน่น

Table 3 Density of the roasted coffee

Degree of roast	Bulk density	True density	Void fraction
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)
city(-)	414.22±9.46 ^a	520.02±9.48 ^a	20.35±0.37 ^a
city	398.19±8.13 ^a	502.15±11.10 ^a	20.70±0.13 ^a
full city	370.14±3.00 ^b	464.83±2.49 ^b	20.37±0.22 ^a
Italian	332.14±6.96 ^c	415.27±7.24 ^c	20.02±0.40 ^a

a-c in the same column with different superscripts mean that the data significantly different ($p < 0.05$)

จาก Table 3 แสดงค่าความหนาแน่น และสัดส่วนช่องว่างอากาศ พบว่า ความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะที่ระดับการคั่ว city ถึงระดับ Italian มีความแตกต่างทางสถิติ อย่างชัดเจน ($p < 0.05$) โดยความหนาแน่นปรากฏลดลงจาก 414.22 kg/m³ ที่ระดับการคั่ว city (-) เหลือ 332.14 kg/m³ ที่ระดับการคั่ว Italian และความหนาแน่นจริงลดลงจาก 520.02 kg/m³ ที่ระดับการคั่ว city(-) เหลือ 415.27 kg/m³ ที่ระดับการคั่ว Italian และที่ระดับการคั่วเพิ่มขึ้นจากระดับการคั่ว city(-) เป็น city, city เป็น full city และ full city เป็น Italian ความหนาแน่นปรากฏมีค่าลดลงร้อยละ 3.87 7.04 และ 10.27 และความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง 3.44 7.43 และ 10.66 ตามลำดับ และทุกระดับการคั่วมีสัดส่วนช่องว่างอากาศใกล้เคียงกันโดยมีค่าประมาณร้อยละ 20.02-20.70 และไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การสูญเสียมวล

จาก Table 4 แสดงค่าการสูญเสียมวลของเมล็ดกาแฟคั่ว พบว่า การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยการสูญเสียมวลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12.86 ที่ระดับการคั่ว city(-) เป็นร้อยละ 17.14 ที่ระดับการคั่ว Italian และการสูญเสียมวลแห้งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.63 ที่ระดับการคั่ว city(-) เป็นร้อยละ 2.17 ที่ระดับการคั่ว Italian และเมื่อระดับการคั่วเพิ่มขึ้นจากระดับการคั่ว city (-) เป็น city, city เป็น full city และ full city เป็น Italian การสูญเสียมวลมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.89 11.23 และ 15.34 และการสูญเสียมวลแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.68 11.24 และ 15.43 ตามลำดับ

Table 4 Roast loss and organic roast loss of the roasted coffee

Degree of roast	Roast loss (%)	Organic roast loss (%)
city(-)	12.86	1.63
city	13.36	1.69
full city	14.86	1.88
Italian	17.14	2.17

สีของกาแฟคั่วบด

Table 5 Color of the roasted coffee

Degree of roast	Color		
	L*	a*	b*
city(-)	39.45±1.04 ^a	3.91±0.11 ^a	3.88±0.11 ^a
city	37.32±0.40 ^b	2.75±0.27 ^b	2.74±0.43 ^{ab}
full city	36.96±0.57 ^{bc}	2.47±0.29 ^b	2.44±0.69 ^b
Italian	35.43±0.20 ^c	1.61±0.09 ^c	1.18±0.09 ^c

a-c in the same column with different superscripts mean that the data significantly different ($p < 0.05$)

สีของกาแฟคั่วบดแสดงใน Table 5 พบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian มีค่าความสว่าง สีแดง สีเหลือง อยู่ในช่วง 35.43-39.45 1.61-3.91 และ 1.18-3.88 ตามลำดับ เมื่อระดับการคั่วเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ยกเว้นที่ระดับการคั่ว city และ full city มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลือง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Figure 5 แสดงสีของเมล็ดกาแฟคั่ว และกาแฟคั่วบด ที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จากกราฟสังเกตเห็นด้วยสายตา พบว่า เมล็ดกาแฟคั่วและกาแฟคั่วบดมีสีสม่ำเสมอทุกระดับการคั่ว และมีสีเข้มขึ้นหรือมีความสว่างน้อยลงตามระดับการคั่วอ่อนไประดับการคั่วเข้ม ซึ่งสอดคล้องกับค่าสีของกาแฟคั่วที่ได้จากเครื่องมือวัดสีใน Table 5

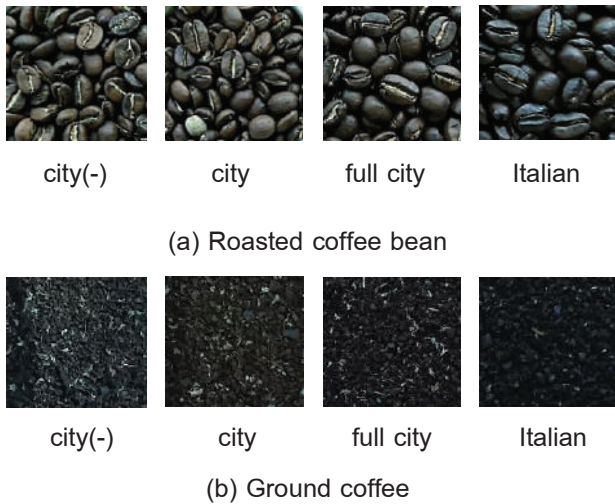


Figure 5 Color of the roasted coffee

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

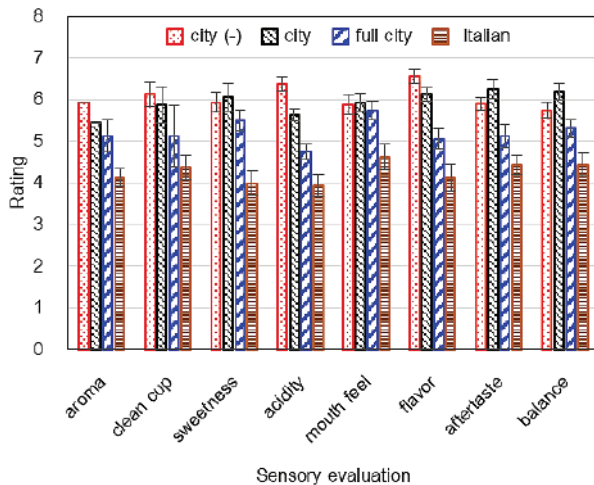


Figure 6 Sensory evaluation of ground coffee

จากการชิมกาแฟคั่วบด (coffee cupping) โดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งผลการทดสอบการชิมจะแบ่งตามคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของเมล็ดกาแฟคั่ว จากผลการทดสอบใน Figure 6 พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่การคั่วเข้มขึ้นจาก city(-) เป็น city ค่า sweetness, mouth feel, aftertaste และ balance จะมีค่าสูงขึ้น และมีค่าสูงสุดที่ระดับการคั่ว city จากนั้นจะเริ่มลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นเป็น full city และ Italian นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-) และ city มีคะแนนการชิมทุกค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่ว full city และ Italian และที่ระดับการคั่ว full city จะมีคะแนนการชิมทุกค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่ว Italian นั่นคือที่ระดับการคั่ว Italian มีคะแนนการชิมทุกค่าต่ำที่สุดอย่างชัดเจน

วิจารณ์ผล

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศและเมล็ดกาแฟ อากาศร้อนที่เข้าห้องคั่วมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเมล็ดกาแฟค่อนข้างมาก และความเร็วของอากาศที่ค่อนข้างสูงทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงตามไปด้วย ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนจากอากาศสู่เมล็ดกาแฟเป็นไปอย่างรวดเร็ว⁴ ทำให้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟสูงขึ้นตามไปด้วย โดยอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟจะมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิอากาศร้อนที่เข้าห้องคั่วกาแฟ หลังจาก 4 นาทีแรก อุณหภูมิอากาศร้อนค่อนข้างคงที่ตามระดับการคั่ว ในขณะที่อุณหภูมิเมล็ดกาแฟจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ และเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในกระบวนการ pyrolytic และ polymerization ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางกายภาพ เป็นช่วงสร้างกลิ่นและรสชาติของกาแฟคั่ว¹² เมื่อสีของเมล็ดกาแฟได้ตามเงื่อนไขดัง Table 1 จะหยุดให้ความร้อน และเมล็ดกาแฟจะถูกปล่อยสู่ห้องระบายความร้อน จากนั้นอากาศแวดล้อมจะถูกเป่าเข้าสู่ห้องระบายความร้อน เพื่อระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟ ทำให้อุณหภูมิเมล็ดกาแฟลดต่ำอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมกับอุณหภูมิเมล็ดกาแฟมีค่าแตกต่างกันมาก รวมถึงปริมาณอากาศแวดล้อมเข้าห้องระบายความร้อนมีค่ามาก ทำให้สามารถระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟได้อย่างรวดเร็วจนถึงระดับอุณหภูมิประมาณ 55 °C ถ้าการระบายความร้อนออกจากเมล็ดกาแฟใช้เวลานานอาจส่งผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ หรืออาจทำให้สีของเมล็ดกาแฟเข้มเกินกว่าระดับที่ต้องการ

เวลาในการเกิดเสียงปริแตก ระยะเวลาการให้ความร้อน และปริมาณความชื้น

เมื่อคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะใช้เวลาคั่วกาแฟจนเกิดเสียงปริแตกสั้นลง หรือที่ระดับการคั่วเข้ม อุณหภูมิในการคั่วมีค่าสูงกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ทำให้เมล็ดกาแฟได้รับความร้อนมากกว่าจึงเกิดเสียงปริแตกเร็วกว่าเนื่องจาก เสียงปริแตกเกิดจากน้ำที่อยู่ในเซลล์ของเมล็ดกาแฟได้รับความร้อนจนเดือดกลายเป็นไอ เมื่อปริมาณไอน้ำมากขึ้น จึงสร้างแรงดันที่สูงขึ้นถึง 5-10 bar จนทำให้ผนังเซลล์แตกออก⁶ นอกจากนี้ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะใช้ระยะเวลาให้ความร้อนมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน พลังงานความร้อนที่เมล็ดกาแฟได้รับจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ และจะเกิดการก่อตัวของสารระเหยหลากหลายชนิด ซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยา Maillard และ Pyrolysis โดยสารระเหยจากกาแฟที่ได้จากการคั่วที่อุณหภูมิต่างๆ จะแตกต่างกันตามระดับการคั่ว³ ซึ่งที่ระดับการคั่วเข้มต้องการพลังงานความร้อนมากกว่าเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดกาแฟคั่วที่เข้มขึ้นนั่นเอง

ความหนาแน่น

เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงลดลง¹³ เนื่องจาก ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้น เมล็ดกาแฟจะได้รับความร้อนเป็นเวลานานกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ทำให้ไอน้ำและก๊าซภายในเมล็ดกาแฟขยายตัวตามอุณหภูมิของเมล็ดกาแฟที่สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดช่องว่างมากขึ้นจากการขยายตัวของผนังเซลล์¹³ ส่งผลให้ที่ระดับการคั่วเข้มเมล็ดกาแฟมีการขยายตัวและมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่จะมีน้ำหนักลดลงเนื่องจากเกิดการสูญเสียไอน้ำภายในเมล็ดกาแฟ ซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นของเมล็ดกาแฟที่ลดลงจาก 14.29% d.b. เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 1.18-1.57% d.b. นอกจากนี้มวลของกาแฟบางส่วนก็สูญเสียไปกับแก๊สที่ปล่อยออกจากเมล็ดกาแฟในกระบวนการคั่ว

การสูญเสียมวล

การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะเพิ่มขึ้นตามระดับการคั่วที่เข้มขึ้น เนื่องจาก การสูญเสียมวลส่วนหนึ่งเกิดจากน้ำที่อยู่ในเมล็ดกาแฟระเหยออกไปจากกระบวนการคั่ว ทำให้เมล็ดกาแฟสูญเสียความชื้นจาก 14.29% d.b. เหลือความชื้น 1.18-1.57% d.b. ซึ่งทุกระดับการคั่วมีความชื้นสุดท้ายใกล้เคียงกัน แสดงว่ามีการสูญเสียไอน้ำไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นหรือใช้อุณหภูมิการคั่วสูงขึ้น และใช้เวลานานในการคั่วมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียสารระเหย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการ pyrolytic และ polymerization มากขึ้นด้วย¹²

สีของกาแฟคั่วบด

การคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วต่างๆ จะใช้การเทียบสีตามมาตรฐานของ Agtron-numbers เป็นตัวบ่งชี้ว่าเมล็ดกาแฟคั่วได้ระดับสีตาม Table 1 แล้ว โดยที่ระดับการคั่ว city(-), city, full City, และ Italian จะอ้างอิงสีของเมล็ดกาแฟคั่วกับ Agtron numbers 85 75 55 และ 45 ตามลำดับ จากผลการทดลองใน Figure 5 ซึ่งแสดงสีของเมล็ดกาแฟคั่วและกาแฟคั่วบดที่ระดับการคั่ว city(-), city, full city และ Italian จะเห็นว่า มีสีแตกต่างกันชัดเจน และเมื่อนำกาแฟคั่วบดไปทดสอบสีได้ผลดัง Table 5 พบว่า ที่ระดับการคั่ว city(-) กับ city และ full city กับ Italian ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลือง มีแนวโน้มที่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับการคั่ว city กับ full city มีสีที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลือง มีแนวโน้มลดลงตามระดับการคั่วที่เข้มขึ้น เนื่องจากที่ระดับการคั่วเข้ม จะใช้เวลาในการคั่วนานและใช้อุณหภูมิในการคั่วสูงขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา¹⁴ ทำให้ที่ระดับการคั่วเข้ม (Italian) มีค่าความสว่างน้อยกว่าอย่างชัดเจน

คุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส

เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นส่งผลให้ระดับคะแนนของค่า aroma, clean cup และ flavor ลดลง เนื่องจากกระบวนการคั่วจะทำให้เกิดสารระเหยที่ส่งผลให้กาแฟคั่วบดมีกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงประสงค์ โดยเฉพาะสาร pyridine ที่มีรสขม ผาด และกลิ่นไหม้ ส่วนค่า acidity ที่มีระดับคะแนนลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น เนื่องจาก กรด citric, malic, lactic, pyruvic และ acetic ซึ่งมีอยู่ในเมล็ดกาแฟ เกิดการสลายเพิ่มมากขึ้นตามระดับการคั่ว ในขณะที่ระดับคะแนนของค่า sweetness มีค่าสูงสุดที่ระดับการคั่ว city และลดลงเมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้น เป็น full city และ Italian เนื่องจากที่ระดับการคั่วเข้มจะเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากกว่าที่ระดับการคั่วอ่อน ซึ่งปฏิกิริยาเมลลาร์ดก่อให้เกิดเป็นสารประกอบหลายชนิดที่ให้สีน้ำตาลและอาจเกิดกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์¹⁴ สำหรับค่า acidity ที่ลดลงตามระดับการคั่วเข้มและค่า sweetness ที่สูงที่สุดที่ระดับการคั่ว city เป็นผลให้ระดับคะแนนค่า mouth feel, aftertaste และ balance มีค่าสูงที่สุดที่ระดับการคั่ว city นั้นแสดงว่าที่ระดับการคั่ว city จะมีรสชาติของกาแฟที่ดีที่สุด

สรุปผล

การคั่วกาแฟอาราบิก้าโดยใช้เครื่องคั่วสเปาเตดเบด ทดลองคั่วกาแฟที่ระดับการคั่วอ่อนไปคั่วเข้ม คือ city(-), city, full city และ Italian จากผลการทดลองพบว่า ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้นจะเกิดเสียงปรแตกเร็วกว่า สำหรับคุณภาพด้านกายภาพ พบว่า ที่ระดับการคั่วเข้มขึ้น ค่าความสว่าง ค่าสีแดง ค่าสีเหลืองมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน ส่วนความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นจริงมีค่าลดลง แต่การสูญเสียมวลและการสูญเสียมวลแห้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส พบว่า เมื่อระดับการคั่วเข้มขึ้นค่า aroma, clean cup, acidity และ flavor จะลดลง ในขณะที่ระดับการคั่ว city จะมีค่า sweetness, mouth feel, aftertaste, balance สูงที่สุด และจะมีรสชาติของกาแฟโดยรวมดีที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาโท สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) บริษัท กรีนเนท เอสอี จำกัด ร้านแกลลอรี่ กาแฟดริป และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. พรรณนีย์ วิชชาชู, บรรณารักษ์. กาแฟ...จากเกษตรกรสู่อุตสาหกรรม. พีชสวน 2561 ; 33(2): 4-13.
2. De Azeredo AMC. Coffee roasting: color and aroma-active sulfur compounds. Doctoral dissertation, University of Florida, Florida ; 2011.
3. Wang X, Lim L-T. A Kinetics and modeling study of coffee roasting under isothermal conditions. Food Bioprocess Technol 2014 ; 7: 621-32.
4. Nagaraju VD, Bhattacharya S. Roasting green coffee beans using spouted bed roaster: changes in physical characteristics. J Food Sci Technol 2010 ; 47(6):674-77.
5. โพร็ทอง ประณีตพลกรัง, กิตติ สถาพรประสาธน์. การประยุกต์ใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดร่วมกับคลื่นอัลตราซาวด์สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2560 ; 12(1): 163-75.
6. Schenker S. Investigations on the hot air roasting of coffee beans. Doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich ; 2000.
7. AOAC. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 15th ed. Arlington, Virginia ; 1990.
8. Sweet Maria's. Using sight to determine degree of roast. Available from: <https://legacy.sweetmarias.com/library/using-sight-to-determine-degree-of-roast> Accessed November 1, 2017.
9. บุญคง คำครุฑลาวงษ์, อุษาวดี ตันติวรานุกฤษ, มารีนามะหิณี. แบบจำลองการอบแห้งชั้นบางของเมล็ดกาแฟสายพันธุ์คาร์ติมอร์. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 2552 ; 14(2): 70-7.
10. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ; 2540.
11. Maria's S. COE cupping form. Available from: https://legacy.sweetmarias.com/library/coe_cupping_form/ Accessed November 1, 2017.
12. Alonso-Torres B, Hernández-Pérez JA, Sierra-Espinoza F, Schenker S, Yeretzyan C. Modeling and validation of heat and mass transfer in individual coffee beans during the coffee roasting process using computational fluid dynamics (CFD). Chimia 2013 ; 67(4): 291-94.
13. พีระพงษ์ กัทลี, เชาวี อินทร์ประสิทธิ์. คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดกาแฟโรบัสต้า ก่อนคั่วและหลังคั่ว ในการประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9 ; 6-7 ธันวาคม 2555 ; มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม ; 2555. หน้า 97-104.
14. พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนปนนท์. ปฏิกริยาเมลลลาร์ด. สืบค้นจาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0397/maillard-reaction>. 3 กันยายน 2562.

วิธีการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองโดยวิธีไม่ทำลายตัวอย่าง

Cavendish quality testing by using a non-destructive method

ธนชาติ ศรีเปารยะ^{1*}, อภิเดช บูรณวงศ์¹, คณดิถ เจษฎ์พัฒนานนท์¹
Thanachart Sripaurya^{1*}, Apidet Booranawong¹, Kanadit Chetpattananondh¹

Received: 13 October 2019 ; Revised: 2 March 2020 ; Accepted: 30 March 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ของการออกแบบ NIR Spectral Sensor Model AS7263 เพื่อมาทำการทดสอบและวิเคราะห์สเปกตรัมของแสงที่มาทดสอบกล้วยหอมทองอย่างเหมาะสม โดยทำการวัดค่าการสะท้อนกลับของแสงจากกล้วยหอมทอง 30 ลูกด้วยเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นมา ขั้นตอนการทดลองงานวิจัยนี้ได้ใช้ NIR Spectral Sensor มาเป็นตัวประกอบสำคัญในการที่ประดิษฐ์ขึ้นมาทดสอบกับผลไม้คือกล้วยหอมทอง NIR Spectral Sensor Model AS7263 นี้มีความยาวคลื่น 6 ย่านคือ 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm และ 860nm ในแต่ละความยาวคลื่นจะให้ค่าทางสเปกตรัมที่แตกต่างกัน ค่าทางสเปกตรัมของกล้วยหอมที่ได้จะนำมาวิเคราะห์เทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Brix *refractometer*

จากผลการทดลองพบค่าทางสเปกตรัมในแต่ละความยาวคลื่นมีความเป็นไปได้ในการแยกระดับสีและทำนายค่าความหวานของกล้วยหอมทองได้ โดยผลการทดลองของแต่ละสเปกตรัมมีความสัมพันธ์ที่ดีและสอดคล้องกับค่าที่ได้จากเครื่องวัดความหวาน Brix *refractometer*

คำสำคัญ: การวัดคุณภาพผลไม้แบบไม่ทำลาย คุณภาพของผลไม้ ไกล์อินฟราเรด

Abstract

This research presents a feasibility study of the NIR Spectral Sensor AS7263 for banana quality testing by analyzing the reflective optical spectrum. 30 Bananas were tested with the fabricated optical reflective NIR portable device. In this experiment, a NIR Spectral Sensor was developed to be a non-destructive testing device of the fruit. The NIR Spectral Sensor Model AS7263 has 6 wavelengths, 610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm and 860nm. Each wavelength provides different reflective intensity values with different banana skins. This reflective value of the different bananas can be analyzed and calibrated with a standard Brix *refractometer*.

From the experimental results, spectral values of each wavelength are possible to separate the color levels and predict the sweetness of Kluai Hom Thong. The results of each spectrum are good and consistent with the values obtained from the Brix *refractometer*.

Keywords: Non-destructive fruit quality measurement, fruit Quality, NIR

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา 90110

¹ Department of Electrical, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hatyai Campus, Songkhla 90110

* Corresponding Author E-mail Address: thanachart.sripaurya@gmail.com

บทนำ

ณ เวลานั้น ประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศเกษตรกรรมที่อาศัย การส่งออกผลผลิตทางการเกษตรหรือผลไม้มานานชนิด เพื่อนำรายได้เข้าสู่ประเทศ เช่นทุเรียน มังคุด กล้วย ซึ่งผลผลิตทางการเกษตรดังกล่าวมียอดการส่งออกอันดับต้น ๆ ของประเทศสามารถส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ เช่น จีน เวียดนาม มาเลเซีย อินโดนีเซีย เป็นต้น ข้อมูลจากอธิบดีกรมเจรจา การค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ในปี 2561 กล่าวว่า ประเทศไทยได้นำเข้าผลไม้จากประเทศไทยเป็นอันดับ 1 มีมูลค่ากว่า 2,021 ล้านดอลลาร์¹ จึงขอให้เกษตรกรและผู้ส่งออกไทยให้ความสำคัญกับการรักษาคุณภาพมาตรฐาน ในการเพาะปลูก และการผลิตสินค้าผลไม้สดให้สอดคล้องกับ มาตรฐานสากล

ในภาคการเกษตรมูลค่าของผลไม้โดยปกติใช้วิธีการ ดูความสมบูรณ์ลักษณะภายนอกของผลไม้ เช่น ขนาด น้ำหนัก เป็นต้น เกษตรกรไม่สามารถกำหนดราคาผลไม้ได้ แม้ว่า ผลไม้ดี มีคุณภาพสูงก็ตามเนื่องจากไม่มีเครื่องมือทดสอบหรือ เปรียบเทียบที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลไม้ จากปัญหาเหล่านี้ ทำให้มีผลกระทบต่อเกษตรกรและผู้ส่งออกผลไม้ไทยทั้งในและต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากผลไม้ถูก ส่งออกไปต่างประเทศ ลูกค้าอาจจะไม่พอใจในคุณภาพของ ผลไม้และผลไม้อาจจะถูกตีกลับประเทศก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย²

จากขีดจำกัดและปัญหาข้างต้นจึงเกิดแนวคิด ในการหาวิธีในการทดสอบคุณภาพของผลไม้โดยวิธีแบบไม่ ทำลายตัวอย่าง ข้อดีคือใช้เวลาในการทดสอบรวดเร็วและผลไม้ ที่ผ่านการทดสอบยังคงสภาพรูปทรงเดิม และเพื่อให้เกษตรกร สามารถใช้เครื่องมือนี้ในการทดสอบและสามารถรู้ถึงคุณภาพ ของผลไม้ได้อีกวิธีหนึ่ง หลายๆ งานวิจัยได้พูดถึงเทคนิค NIRs เช่น งานวิจัยของ M.Azfar Din และคณะ กล่าวถึงการทดสอบ หาค่าความหวานของกล้วย 2 ชนิด โดยใช้ความถี่ 2 MHz และ 4 MHz ผลที่ได้รับคือความถี่ 4 MHz ได้ผลความหวาน ที่ดีกับกล้วยขนาดเล็กและความถี่ 2 Mhz ได้ผลความหวานที่ ดีกับกล้วยขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเครื่องวัดความหวาน (Brix Refractometer) ปัญหาของบทความนี้คือจะต้องมีการวาง ตำแหน่งของกล้วยให้อยู่กึ่งกลางเครื่องวัดพอดีเพื่อให้มีค่า ความผิดพลาดน้อยที่สุดและอีกปัญหาที่กล้วยต้องมีขนาด ตามที่กำหนดเท่านั้นถึงจะได้ค่าความหวานใกล้เคียงกับ เครื่องวัดความหวาน³ งานวิจัยของ Amos Mizrach ได้กล่าวถึง การใช้คลื่นความถี่เสียงเพื่อตรวจสอบอายุและปริมาณน้ำตาล ของผลไม้พลัม โดยใช้วิธีการวัดการลดทอนคลื่นเสียงในเนื้อเยื่อ ผลไม้โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการสัมผัสกับเปลือกผลไม้ และระยะเวลา 78 ชั่วโมงในขั้นตอนของการเก็บรักษา ค่าความ

แน่นของเนื้อและปริมาณน้ำตาลจะลดลงตามอายุการเก็บ รักษา แสดงให้เห็นว่าคลื่นอัลตราโซนิกอาจจะใช้เป็นเทคนิค ที่ไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อตรวจสอบความแน่นของเนื้อพลัม และตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำตาลที่ลดลงได้ งานวิจัยของ Baharuddin Mustapha และคณะ นำเสนอการ ใช้เซ็นเซอร์อัลตราซาวด์และอินฟราเรดเพื่อวัดระยะทางใน การพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางสำหรับผู้สูงอายุและคน ที่มีความบกพร่องทางสายตา ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและอินฟราเรดมีลักษณะแตกต่างกัน ในแง่ของการวัดแรงดันไฟฟ้าขาออก อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ให้ลักษณะการส่งออกเชิงเส้น ในขณะที่อินฟราเรดแสดง ลักษณะการส่งออกที่ไม่เป็นเชิงเส้น เซ็นเซอร์ทั้งสองสามารถ ตรวจจับอุปสรรคในระยะทางที่ใช้งานได้โดยมีเปอร์เซ็นต์ความ ถูกต้องระหว่าง 95% ถึง 99% ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า Ultrasonic Sensor และ IR Sensor สามารถสร้างระบบการ วัดระยะทางที่เชื่อถือได้แม้จะมีสีและวัสดุที่แตกต่างกัน⁴ และ มีงานวิจัยที่ใช้เทคนิค NIR spectroscopic ในการตรวจสอบ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้และตรวจสอบความเป็นกรด (Titratable) โดยทำการทดสอบในผลไม้สามชนิดที่มีลักษณะ แตกต่างกัน คือ เสาวรส มะเขือเทศและเอพริคอต ผลการ ทำนายการทดลองของโมเดล PLS ที่มีสเปกตรัมที่แตกต่าง กันและใช้วิธีการปรับสภาพก่อนตรวจสอบจากการวิเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติภายนอกของผลไม้มีผลต่อผลลัพธ์ โดยตรง กล่าวคือเสาวรสมะเขือเทศจะมีค่าความสัมพัทธ์ ที่ต่ำเนื่องจากผิวของผลหนาและมีลักษณะภายในไม่สม่ำเสมอ และมีปริมาณน้ำสูงทำให้เกิดความสัมพัทธ์ที่ไม่ดี ส่วนผลการ ทำนายที่ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุดคือเอพริคอตซึ่งเป็น ผลไม้ที่มีผิวของผลบางๆ และเป็นเนื้อเดียวกัน⁵ และงานวิจัย ของ Ayman Ibrahim และคณะ ได้กล่าวสรุปสั้นๆ คือ ใน การจำแนกประเภทข้าวสาลีและการกำหนดมูลค่าการตลาด จำเป็นต้องใช้วิธีการแบบไม่ทำลายตัวอย่าง เทคนิคอินฟราเรด เป็นเทคนิคแบบที่ไม่ทำลายตัวอย่างและวิธีการประเมิน ความแข็งของเมล็ดข้าวสาลีโดยใช้ NIRs มีข้อผิดพลาดที่ต่ำ SEP=3.92 N ค่าสัมประสิทธิ์ในการทำนายสูง R²P≈0.91 และค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายต่ำ RPD≈3.35 เมื่อเทียบกับเครื่องทดสอบแรงดึงอเนกประสงค์ “อินสตรอน” ความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายนั้นเพียงพอที่จะใช้ เทคนิค NIRs เป็นวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่างเพื่อประเมิน ความแข็งของข้าวสาลีชนิดต่างๆ⁶ งานวิจัยของ Els Bobelyn และคณะ ได้กล่าวถึงการศึกษาความถูกต้องของแบบจำลอง การสอบเทียบโดยใช้เทคนิคอินฟราเรด (NIR) สำหรับตรวจ สอบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้(SSC) และความแน่นเนื้อ ของแอปเปิ้ลโดยศึกษาจากชุดข้อมูลสเปกตรัมขนาดใหญ่ จาก สายพันธุ์ต้นกำเนิดเวลาการเก็บรักษาและฤดูกาลที่แตกต่าง

กัน จากผลการวิเคราะห์ FANOVA สรุปได้ว่าผลของพันธุ์เวลาเริ่มต้นและอายุการเก็บรักษาของสเปกตรัม NIR นั้นมีความสำคัญทั้งหมด สายพันธุ์และสภาพการเก็บรักษาโดยทั่วไป ค่า RMSEP สำหรับการทำนายของ SSC อยู่ในช่วง 0.6-0.8 °Brix ในงานวิจัยนี้ความแปรปรวนข้อมูลของฤดูกาลและต้นกำเนิดสายพันธุ์ต่างๆ และสภาพการเก็บรักษาถูกนำมาใช้ในการสอบเทียบของชุดข้อมูลทั้งหมด และการวิเคราะห์โดยใช้ FANOVA (ANOVA) ผลของความแปรปรวนทางชีวภาพต่อสเปกตรัมที่วัดได้ถูกสำรวจเพิ่มเติมพบว่าต้นกำเนิด (ทางภูมิศาสตร์และตามฤดูกาล) พันธุ์และอายุการเก็บรักษามีผลต่อสเปกตรัมอย่างมีนัยสำคัญที่ 970, 1170 และ 1450 nm ซึ่งมีผลที่ชัดเจนที่เกี่ยวกับความแตกต่างในการดูดซึมน้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำในแอปเปิ้ลหนึ่งสัปดาห์ของอายุการเก็บรักษาพบว่าการลดการดูดกลืนแสงเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำในช่วงอายุการเก็บรักษา⁷ มีบทความที่จำลองการสอบเทียบสำหรับกลุ่มความยาวคลื่นในย่าน NIRs ในช่วงความยาวคลื่น 299-1100 nm สำหรับการทำนาย TSS, DM, pH และ ABR ของกล้วยโดยใช้วิธีการถดถอยแบบ PLS และ MLR เพื่อการส่งผ่านและอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่ง สอง และสาม การทดสอบโดยใช้การตรวจสอบความถูกต้อง PLS คาดการณ์หรือทำนายค่า TSS และ DM ในช่วงความยาวคลื่น 955.235-981.879 และ 1,063.248-1089.407 nm ตามลำดับ การทำนายค่า pH แม่นยำยิ่งขึ้นจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 927.927-954.690 nm แบบจำลองการสอบเทียบที่พัฒนาขึ้นจะมีประโยชน์ในการออกแบบเครื่องมือสำหรับผลการทดลองที่รวดเร็วตาม TSS, DM และ pH⁸

มีบทความที่ศึกษาเพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ทางเคมี(ปริมาณของแข็งที่ละลายได้) และทางกายภาพ (ความแน่น) ของกล้วยหอมที่ปลูกในท้องถิ่นโดยสเปกโทรสโกปีใกล้อินฟราเรด NIR spectra ในช่วงความยาวคลื่น 680-2500 nm ได้มาจากกล้วยหอมทั้งหมด 408 ลูก ซึ่งมีดัชนีสถานะความสุกที่แตกต่างกัน นำเทคนิคทางเคมีมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองการสอบเทียบเพื่อทำนายความแม่นยำและปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของกล้วยหอมผลการวิจัยพบว่า NIR สเปกโทรสโกปี มีความเป็นไปได้ในการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายคุณภาพของกล้วยหอม ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R²) สำหรับความแม่นยำและโมเดลการสอบเทียบ SSC ที่ดัชนีความสุกแตกต่างกันอยู่ในช่วง 0.78 ถึง 0.86 และ 0.75 ถึง 0.96 ตามลำดับ⁹ และงานวิจัยของ Septi Tri Wahyuni และคณะ ได้กล่าวถึงการศึกษาเกี่ยวกับการวัดความชื้นในผลไม้โดยใช้เทคนิคการถ่ายภาพ Visual-NIR งานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบผลการทำนายของปริมาณความชื้น ข้อมูลที่วัดหรือทดสอบได้ด้วยโมเดล PCR มีความผิดพลาดในระหว่างการทำนายเท่ากับ 0.58% และค่าความสัมพันธ์สัมประสิทธิ์

R² เท่ากับ 0.79 ในส่วนโมเดล PLSR ระบบการทำนายมีค่า RMSE 0.25% และ R² 0.96 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอสามารถทำนายความชื้นของกล้วยได้และสามารถคัดแยกคุณภาพของกล้วยในเชิงอุตสาหกรรมได้¹⁰

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเทคนิควิธีการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองแบบไม่ทำลายตัวอย่างและศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจสอบค่าต่างๆ ที่ต้องการโดยวิธีทางสเปกตรัมโดยใช้ NIRs Spectral Sensor อีกทั้งสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกจากการตรวจวัดมาใช้ในการคัดแยกคุณภาพของผลไม้ได้โดยมีวิธีการทดสอบกับกล้วยหอมทองที่มีสถานะระดับความสุกดิบที่แตกต่างกันมาเปรียบเทียบกับเครื่องวัดความหวานของผลไม้ที่มีมาตรฐานรุ่น PENPRO และเมื่อมีการพัฒนางานวิจัยเพิ่มเติม ชาวสวนผลไม้สามารถนำเทคนิควิธีการนี้ไปใช้ในการทดสอบคุณภาพของผลไม้ก่อนการเก็บเกี่ยวและข้อมูลที่ได้ออกจากการทดสอบค่าต่างๆ ทางสเปกตรัม (NIRs Spectral Sensor) สามารถนำไปศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมในผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้

ทฤษฎีและหลักการ NIRs

Near Infrared Spectroscopy (NIRS) เป็นการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่ Near Infrared ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 700-2500 nm ในการตรวจสอบคุณภาพตัวอย่าง โดยวิธีการที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive method) อาศัยการตรวจวัดปริมาณแสงที่ถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่ทำการทดสอบ เป็นวิธีการที่ให้ผลแม่นยำ รวดเร็ว และเป็นเทคนิคที่ใช้อย่างแพร่หลายในต่างประเทศและใช้ในหลายกลุ่มอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเกษตร เป็นต้น¹¹

หลักการของเทคนิค NIRs ในทางปฏิบัติเมื่อลำแสงของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังวัตถุหรือตัวกลางจะมีแสงบางส่วนที่จะถูกดูดกลืน (absorbed) บางส่วนผ่านทะลุออกไป (transmitted) บางส่วนเกิดการสะท้อนกลับ (reflected) บางส่วนเกิดการวาวแสงหรือการเรืองแสง (fluorescence or phosphorescence) และบางส่วนอาจเกิดการกระเจิงแสง (scattered) ดัง Figure 1¹²

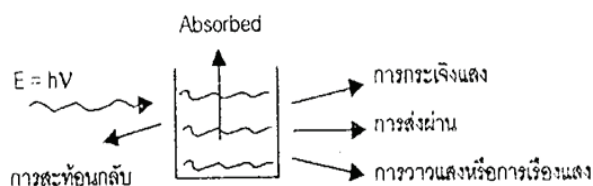


Figure 1 The action of electromagnetic waves on various substances

ปริมาณความเข้มข้นของแสงที่ถูกดูดกลืนจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นและความหนาของของตัวกลางหรือสารละลายที่ลำแสงส่องผ่านจึงต้องรวมกฎทั้งสองเข้าด้วยกันเรียกว่า กฎของเบียร์-แลมเบิร์ต¹²

กฎของแลมเบิร์ต(Lambert's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงสีเดียว (monochromatic light) คือ แสงความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียว (homogeneous) เป็นสัดส่วนของความเข้มแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงเริ่มต้น และความเข้มของแสงจะถูกแต่ละชั้นของตัวกลางดูดกลืนไว้ในสัดส่วนที่เท่ากัน”

กฎของเบียร์ (Beer's law) กล่าวว่า “เมื่อแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวผ่านตัวกลางเนื้อเดียวสัดส่วนของความเข้มของแสงที่ถูกตัวกลางดูดกลืนไว้จะแปรโดยตรงกับปริมาณของตัวกลางที่ดูดกลืนแสงนั้น”

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

เนื่องจาก T (Transmittance) เท่ากับ

$$T = \frac{I}{I_0}$$

เพราะฉะนั้น

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc$$

$$A = \log \frac{1}{T}$$

I =ความเข้มของแสงความยาวคลื่นเดียวที่ส่งผ่านออกมา

ϵ =สัมประสิทธิ์ของการดูดกลืนแสง ปกติเปลี่ยนแปลงตามความยาวคลื่นและอุณหภูมิ

I_0 =ความเข้มของแสงก่อนผ่านตัวกลางเมื่อ $b=0$

b =ความหนาของตัวกลางในหน่วยเซนติเมตร

c =ความเข้มข้นของสารในหน่วย โมล/ลิตร

A =ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)

พันธะโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีการจัดเรียงโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแตกต่างกัน¹²

ระเบียบวิธีวิจัย

ศึกษาคูณสมบัติและหลักการทํางานพื้นฐานของ NIRs

ข้อดีให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว ไม่ทำลายตัวอย่าง ไม่ต้องใช้สารเคมีในการทดสอบและใช้งานได้ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะสาขาหรือเฉพาะทาง

ข้อจำกัด เนื่องจาก NIR ใช้หลักการดูดกลืนแสงจึงไม่สามารถตรวจวัดตัวกลางที่เป็นโลหะได้

ศึกษาคูณลักษณะของกล้วยหอม

ระยะเวลาในการให้ผลผลิตของกล้วยหอม หลังจากการปลูกแล้ว 10 เดือน จะเริ่มเก็บเกี่ยวเครือได้ โดยมีระยะปลูกถึงแทงปลี 7 เดือน และหลังจากแทงปลีจนเก็บเครือได้มีระยะเวลา 70 วัน โดย 1 เครือ จะมีหวี 8 หวี และ 1 หวี มี 15 ลูก หลังจากตัดปลีแล้ว 70 วัน จะเริ่มเก็บเกี่ยวเครือได้

ระยะการสุกของกล้วยหอม¹³

ระยะที่ 1 เปลือกเขียว (ดิบ 100%) ผลแข็ง ผิวสีเขียว

ระยะที่ 2 เปลือกเขียว (ดิบ 95%) เริ่มสุก ผิวเป็นสีเหลือง (5%)

ระยะที่ 3 เปลือกเขียว (ดิบ 70%) เริ่มสุก ผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (30%)

ระยะที่ 4 เปลือกเขียว (ดิบ 30%) เริ่มสุกผิวเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมากขึ้น (70%)

ระยะที่ 5 เปลือกเหลือง มีการสุกมาก (95%) ปลายยังเป็นสีเขียว (ดิบ 5%)

ระยะที่ 6 ทั้งผลมีสีเหลืองมีการสุกเต็มที่ (100%)

ระยะที่ 7 ผิวสีเหลืองเริ่มมีจุดสีน้ำตาล (สุกเต็มที่ที่มีกลิ่นหอม)

ระยะที่ 8 ผิวสีเหลือง มีจุดสีน้ำตาลมากขึ้น (สุกมากเกินไป มีกลิ่นคล้ายแอลกอฮอล์)

จัดหาอุปกรณ์สร้างชุดต้นแบบ

จัดหาอุปกรณ์เพื่อสร้างชุดต้นแบบตาม Figure 3 เพื่อใช้ในการทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมทองตามสถานะที่แตกต่างกันและแก้ไขชุดต้นแบบให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

ทดลองและสรุปผลการทดลอง

ทดลองและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากอุปกรณ์ต้นแบบ NIR และนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่ได้มาตรฐาน ในงานวิจัยนี้ใช้ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 เป็นตัวเปรียบเทียบ

ขั้นตอนของการวิจัย

ออกแบบ Flow Chart การทำงานของอุปกรณ์สำหรับทดลองคุณภาพของกล้วยหอมทอง ตาม Figure 2

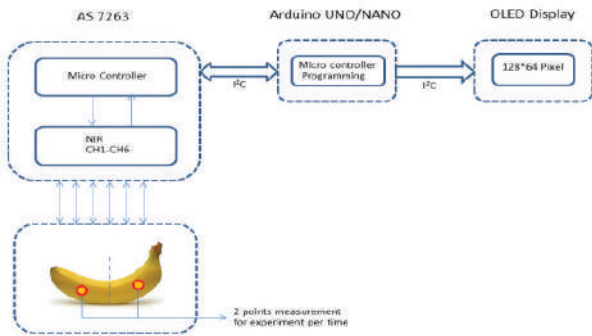


Figure 2 Flow Chart of equipment for experimentation

จาก Figure 2 การทำงานของอุปกรณ์สำหรับทดลองมีหลักการการทำงานพื้นฐานคือเมื่อฉายแสงไปยังกล้วยหอมทองตามตำแหน่งที่ทำการทดสอบ ลำแสงจะตกกระทบกับผิวกล้วยและมีการดูดกลืนแสงบางส่วนในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ทั้ง 6 ช่วงความยาวคลื่น ตั้งแต่ 610 nm-860 nm และมีลำแสงบางส่วนที่ถูกดูดกลืนไม่หมดสะท้อนกลับมายังตัว NIR ผ่านตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อจำค่าที่ส่งออกไปเทียบกับค่าที่ได้รับกลับมาในแต่ละความยาวคลื่น ผลที่ได้จาก NIR Spectral Sensor Model AS7263 นำมาประมวลผลและดึงข้อมูลมาใช้แสดงผลและเพื่อสร้างสมการในการทำนายในขั้นตอนถัดไปจากหลักการทำงานข้างต้นที่กล่าวไว้ในงานวิจัยนี้ได้สร้างชุดต้นแบบตาม Figure 3 (a) และเพื่อให้สามารถทดสอบคุณภาพของกล้วยหอมที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้นโดยการใช้ชุดซอฟต์แวร์รองรับอีกชุดหนึ่ง ตาม Figure 3 (b)

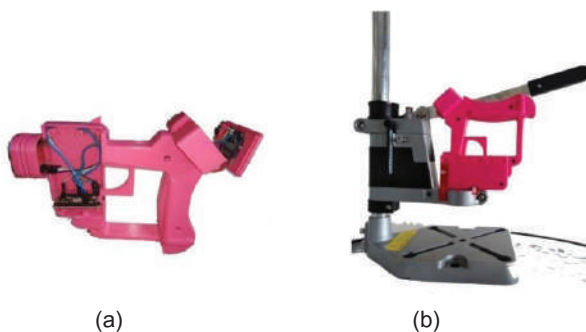


Figure 3 Prototypes for use in experiments

จัดหากกล้วยหอมทอง

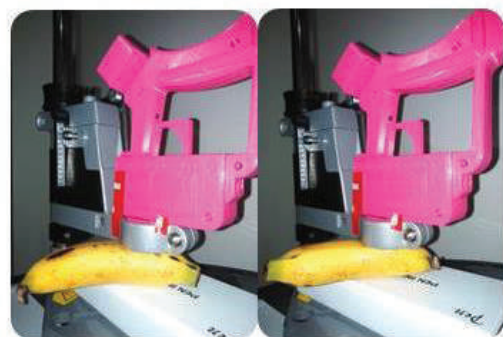
กล้วยหอมที่นำมาทดสอบจะมีอายุระยะหลังปลูกลงถึงแทงปลี 7 เดือน และหลังจากแทงปลีจนเก็บเกี่ยว 70 วัน โดย 1 หวี มี 15 ลูก ซึ่งเป็นช่วงที่กล้วยหอมทองแก่เต็มที่ อยู่ในระยะการสุกของกล้วยหอมระยะที่ 1 คือเปลือกเขียว (ดิบ 100%) ลักษณะของผลจะแข็งไม่มีการสุกและจะทำการทดลองจนกว่ากล้วยหอมทองจะเปลี่ยนสถานะเป็นกล้วยสุก ดัง Figure 4



Figure 4 The ripening of the banana experiment

วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองการวัดสถานะของกล้วยหอมทองด้วยการวิเคราะห์ผลทางสเปคตรัมนี้ มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ทำให้เกิดสัญญาณที่นำไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสเปคตรัมของกล้วยหอมทอง และนำค่าทางสเปคตรัมที่ได้เข้าสู่การประมวลผลเพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730



(a) Using Prototypes NIR



(b) Using PEN PRO Cat.No.3730

Figure 5 Experimental methods of prototype and PEN PRO devices

การทดสอบชุดอุปกรณ์ต้นแบบในงานวิจัยนี้ได้เลือกตัวอย่างกล้วยหอมทองแก่ที่มีอายุหลังจากแทงปลี 70 วัน เพื่อใช้ในการทดลองทั้งหมด 4 หวี แต่แต่ละหวีจะอยู่ในเครือเดียวกันทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้ หวีที่ 1-4 มีจำนวนลูกหวีละ 15 ลูก เลือกกล้วยจากหวีที่ 1-3 ออกหวีละ 10 ลูก รวม 30 ลูก สำหรับใช้ทดลองกับ Prototypes NIR และหวีที่ 1-3 ที่เหลืออีกหวีละ 5 ลูก นำมารวมกับหวีที่ 4 อีก 15 ลูก รวมเป็น 30 ลูก สำหรับใช้ทดลองกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730

โดย Prototypes NIR จะทำการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูกจะทำการทดสอบสองครั้ง (หัว-ท้าย) ดัง Figure 5 (a) และตัว Prototypes NIR มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วยอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร หรือ 1 เซนติเมตร และเพื่อให้เห็นจุดการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูก หัว-ท้ายชัดเจนยิ่งขึ้นสามารถดูได้ดังใน Figure 6

ในส่วนของวิธีการใช้ PENPRO Cat.No.3730 จะใช้ทำการทดสอบบริเวณหน้าตัดกึ่งกลางของกล้วยโดยวิธีการทาบกับเนื้อกล้วยไม่มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วย ดัง Figure 5 (b) และในการทดสอบในแต่ละครั้งใช้เวลา 30 วินาทีเพื่อให้ได้ค่าการทดลองที่แม่นยำและคงที่ที่สุดแล้วจึงทำการบันทึกค่าลงในตารางผลการทดลองที่ 1

Table 1 NIR and%Brix result

	R(610 nm)	S(680 nm)	T(730 nm)	U(760 nm)	V(810 nm)	W(860 nm)	%Brix
all green	0.490	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.270
more green than yellow	0.204	0.908	3.373	4.751	4.279	3.484	17.010
green equals yellow	1.190	1.209	5.493	6.268	5.273	4.760	16.900
more yellow than green	2.015	4.347	8.446	8.465	8.006	7.089	18.363
all yellow	6.286	9.911	11.103	11.176	10.381	9.516	21.140

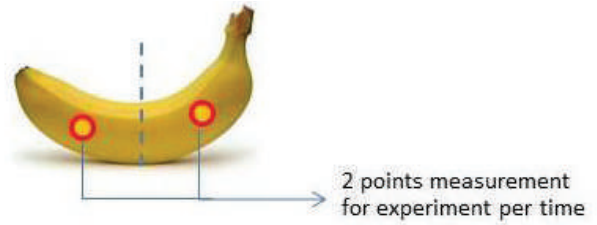


Figure 6 The position of banana tested by NIR

ในส่วนของห้องที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 4 เมตร x 4 เมตร x 3 เมตร กำหนดอุณหภูมิไว้ที่ 29 °C ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) (RH) 80% แสงภายในห้องทดลองมีความส่องสว่าง 250 ลักซ์ (Lux)

ผลการทดลอง

สร้างสมการ (Calibration Set)

ผลการทดลองที่ทดลองได้จะแสดงที่หน่วยแสดงผลดัง Figure 7 ค่าที่ได้จากการทดลองกล้วยหอมทอง 30 ลูก ในแต่ละความยาวคลื่นจะนำมาหาค่าเฉลี่ยให้เหลือ 10 ลูกเพื่อบันทึกลงในตารางเพื่อทำการสร้างสมการที่เหมาะสมในการทำทาบ (Calibration Set) ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นไมโครวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร จะเป็นค่าทางสเปคตรัมมีทั้งหมด 6 ความยาวคลื่น (610nm=CH1=R, 680nm=CH2=S, 730nm=CH3=T, 760nm=CH4=U, 810nm=CH5=V และ 860nm=CH6=W)



Figure 7 Spectral values of wavelengths

จากผลการทดลองของการทดสอบชุดต้นแบบ NIR และ %Brix ใน Table 1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงความยาวคลื่นของ Prototypes NIR ทุกความยาวคลื่นกับ %Brix ผลการทดสอบสถานะระดับความสุกดิบของกล้วยที่แตกต่างกันกับอุปกรณ์วัดความหวานของผลไม้จะเห็นว่ามี ความสัมพันธ์และสอดคล้องไปในทางเดียวกันกล่าวคือเมื่อสถานะของกล้วยเปลี่ยนไปจากเขียวไปเป็นเหลืองค่าที่ทดสอบได้จาก Prototypes NIR และ PENPRO Cat.No.3730 จะเพิ่มขึ้นตามสถานะที่เปลี่ยนแปลงไป

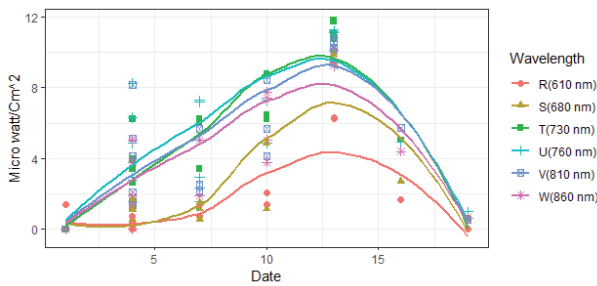


Figure 8 Spectral values of Prototypes NIR

จากกราฟผลการทดลอง Figure 8 แสดงให้เห็นถึงผลการทดลองจากกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูกและแยกออกเป็นหรีๆ ละ 10 ลูก ช่วงความยาวคลื่นทั้ง 6 ความยาวคลื่นมีการดูดซับแสงที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่น 730 nm มีการดูดซับแสงน้อยที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่ามากที่สุด ความยาวคลื่น 610 nm มีการดูดซับแสงมากที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยที่สุด และจากกราฟผลการทดลอง Figure 8 สามารถนำค่าที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นเปรียบเทียบกับหรือทำนายผลความหวานของกล้วยหอมทองในหน่วยของ %Brix และสามารถนำไปสร้างสมการหรือทำการวิจัยเพิ่มเติมต่อไปได้

Table 2 Defining variables

Ripeness banana	Mean 610 nm	Mean 680 nm	Mean 730 nm	Mean 760 nm
all green	Th1,1	Th1,2	Th1,3	Th1,4
more green than yellow	Th2,1	Th2,2	Th2,3	Th2,4
half green / half yellow	Th3,1	Th3,2	Th3,3	Th3,4
yellow with green tips & green necks	Th4,1	Th4,2	Th4,3	Th4,4
all yellow	Th5,1	Th5,2	Th5,3	Th5,4

$$Difference_{level_{1-5}} = \sum_{i=1-5} |I_i - Th_{i,1-5}| = \{|I_1 - Th_{1,1-5}| + |I_2 - Th_{2,1-5}| + |I_3 - Th_{3,1-5}| + |I_4 - Th_{4,1-5}| + |I_5 - Th_{5,1-5}| + |I_6 - Th_{6,1-5}|\} \quad (1)$$

วิธีการกำหนดตัวแปรดัง Table 2 สามารถนำมาสร้างสมการเพื่อทำนายผลการทดลองได้ตามสมการที่ 1

ผลการทดลอง

การตรวจสอบสมการ (Validation Set)

ผลการทำนายที่ได้จากสมการ Calibration Set จะทำการทดสอบบริเวณผิวของกล้วยและในแต่ละลูกและ

ตัว Prototypes NIR มีระยะห่างระหว่างผิวกล้วยอยู่ที่ 10 มิลลิเมตร หรือ 1 เซนติเมตรและทำนายผลกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูก กำหนดเงื่อนไขในการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองเพื่อสร้างสมการ Calibration Set การทดสอบค่าการทำนาย (Prediction Value) ในแต่ละครั้งใช้เวลา 30 วินาทีเพื่อให้ได้ค่าการทำนายที่เที่ยงตรงที่สุดแล้ววิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยก่อนบันทึกค่าลงในตารางผลการทดลองที่ 3

Table 3 Prediction Value

R(610 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.467	0.467	0.700	0.933	0.000	0.000	0.233	1.167	0.233	0.700
More Green	0.670	0.467	0.000	0.233	0.233	0.233	0.568	0.000	0.000	0.000
Half Green	0.467	1.400	1.400	1.400	1.400	0.233	1.400	1.400	1.400	1.400
More Yellow	2.770	2.055	2.175	2.185	1.838	1.400	2.095	2.095	2.095	2.160
Yellow	6.295	6.275	6.295	6.295	6.295	6.262	6.288	6.282	6.282	6.288
Day16	21.828	1.635	1.635	1.635	7.923	1.635	1.635	6.145	6.544	18.032
S(680 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	0.373	1.108	0.925	0.925	0.925	1.295	0.557	1.110	1.110	1.110
Half Green	1.110	1.500	1.110	1.110	1.110	0.925	1.240	1.370	1.370	1.240
More Yellow	5.063	4.845	4.530	4.845	3.600	1.110	4.845	4.845	4.845	4.845
Yellow	10.005	9.905	10.005	10.005	9.395	9.978	9.972	9.938	9.938	9.972
Day16	2.510	2.715	2.640	2.715	2.488	2.649	2.685	1.848	2.715	2.217
T(730 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	1.943	3.807	3.963	3.777	3.777	3.588	3.425	3.240	3.240	3.697
Half Green	3.048	6.230	6.230	6.230	6.163	3.777	4.558	6.230	6.230	6.230
More Yellow	8.117	8.778	8.775	8.775	8.012	6.230	8.775	8.775	8.782	8.778
Yellow	10.193	11.780	10.760	10.760	10.760	11.110	11.093	11.427	11.467	11.113
U(760 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	2.257	6.962	4.375	4.485	4.535	4.213	4.722	5.668	5.668	5.345
Half Green	3.752	7.180	7.285	7.285	5.633	4.535	5.333	7.215	7.215	7.250
More Yellow	8.427	8.740	8.740	8.740	7.447	7.285	8.740	8.740	8.740	8.740
Yellow	11.170	11.170	11.171	11.347	11.130	11.270	11.170	11.323	11.150	11.350
V(810 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	1.900	6.153	4.292	3.620	3.777	4.463	4.372	4.978	4.978	4.807
Half Green	4.635	5.680	5.665	5.665	4.615	3.777	5.670	5.675	5.675	5.670
More Yellow	7.660	8.492	8.425	8.425	6.988	5.665	8.617	8.425	8.425	8.425
Yellow	10.300	10.200	10.300	10.300	10.550	11.158	10.267	10.233	10.233	10.267
W(860 nm)										
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
All Green	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
More Green	0.833	5.033	3.570	3.150	3.150	3.780	2.727	4.617	4.617	4.198
Half Green	4.197	5.035	5.030	5.030	5.030	3.150	5.032	5.033	5.033	5.032
More Yellow	6.610	7.400	7.417	7.750	6.193	5.030	7.400	7.400	7.400	7.517
Yellow	9.448	9.525	9.457	9.440	9.240	10.153	9.518	9.463	9.463	9.452

จากผลการทดลอง Table 3 แสดงให้เห็นถึงผล การทำนายที่ได้จากการสร้างสมการและค่าการทำนายเมื่อ เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก Brix Refractometer รุ่น Type

Model PEN-PRO Cat.No.3730 มีความสัมพันธ์ที่ดีและสามารถ ขยายผลเพิ่มเติมต่อไปได้ดังนี้

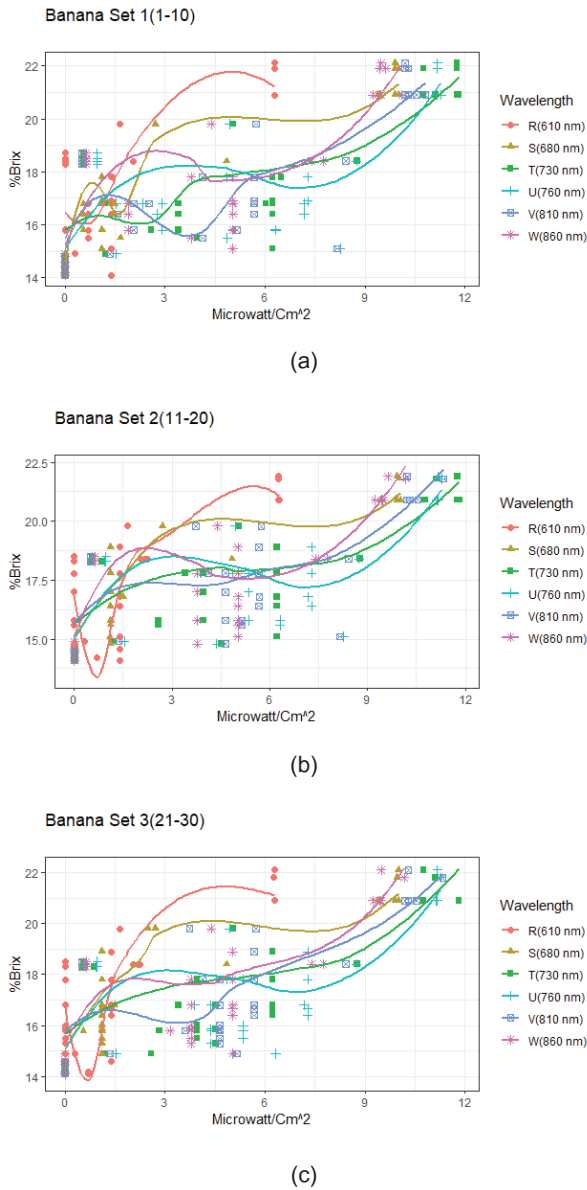


Figure 9 The 610 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

จากกราฟผลการทำนาย Figure 9 (a) (b) และ (c) แสดงให้เห็นถึงผลการทำนายจากกล้วยหอมทองทั้งหมด 30 ลูกและแยกออกเป็นหวีๆ ละ 10 ลูก ช่วงความยาวคลื่นทั้ง 6 ความยาวคลื่นมีการดูดซับแสงที่แตกต่างกัน ความยาวคลื่น 730 nm มีการดูดซับแสงน้อยที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมา มีค่ามากที่สุด ความยาวคลื่น 610 nm มีการดูดซับแสงมากที่สุดทำให้แสงที่สะท้อนกลับมามีค่าน้อยที่สุดเช่นเดียวกับผลการทดลองในขั้นตอนการสร้างสมการ และจากกราฟผลการทำนายใน Figure 9 สามารถนำค่าที่ได้ในแต่ละความยาวคลื่นเป็นตัวชี้วัดทำนายผลความหวานของกล้วยหอมทองในหน่วยของ %Brix ในส่วนของการเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการใช้งานหรือศึกษาเพิ่มเติมสามารถแสดงได้ ดังนี้

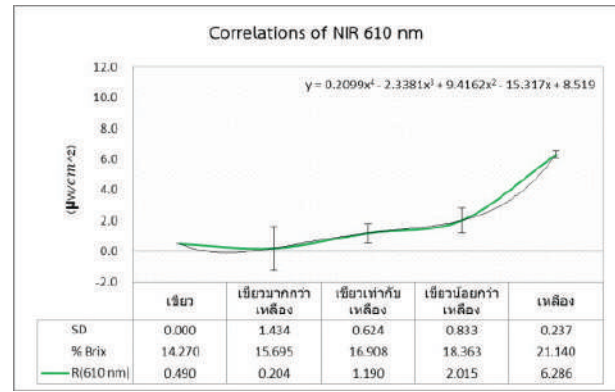


Figure 10 The 730 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 10 ในช่วงความยาวคลื่น 610 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวมากกว่าเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากชุดข้อมูลของการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.434 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 610 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.237 ตามลำดับ

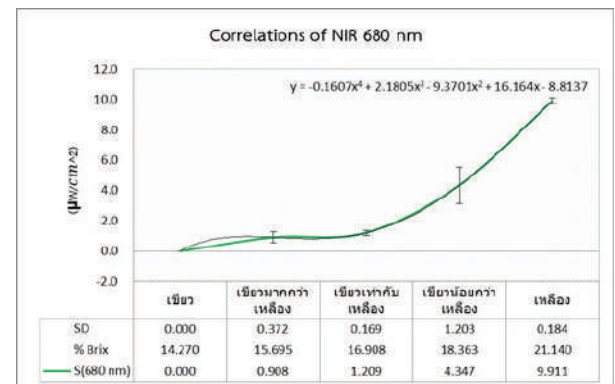


Figure 11 The 680 nm wavelength relationship of NIR with %Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 11 ในช่วงความยาวคลื่น 680 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวน้อยกว่าเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.203 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 680 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะ เขียว, เขียวเท่ากับเหลืองและเหลือง เนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 0.169 และ 0.184 ตามลำดับ

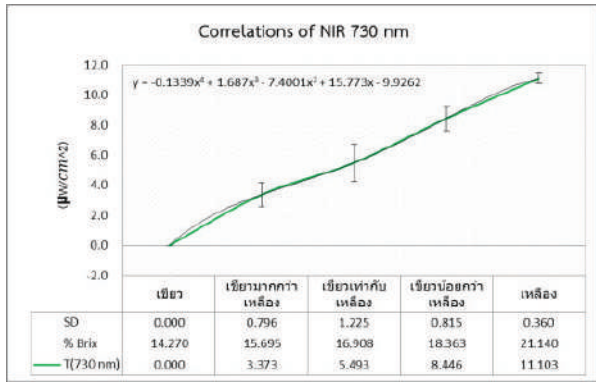


Figure 12 The 730 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 12 ในช่วงความยาวคลื่น 730 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.225 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 730 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.360 ตามลำดับ

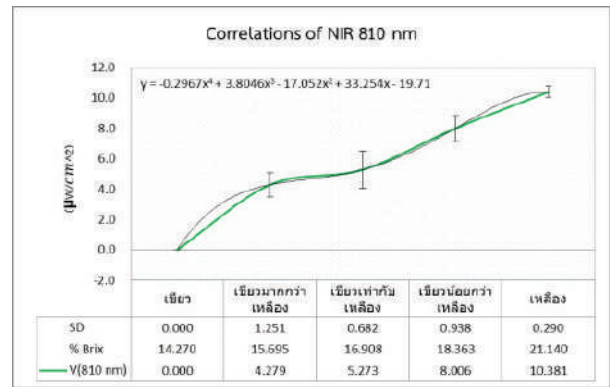


Figure 14 The 810 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 14 ในช่วงความยาวคลื่น 810 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 0.682 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 810 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.290 ตามลำดับ

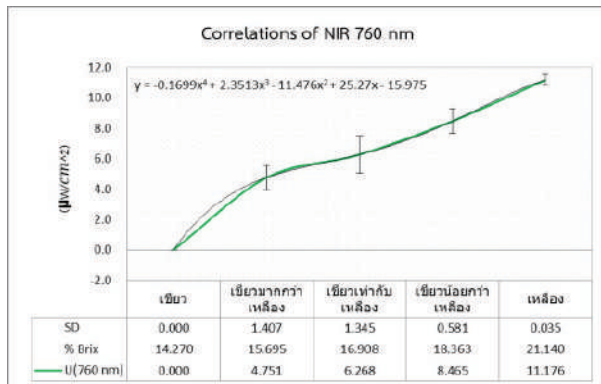


Figure 13 The 760 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 13 ในช่วงความยาวคลื่น 760 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวเท่ากับเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.345 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 760 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.035 ตามลำดับ

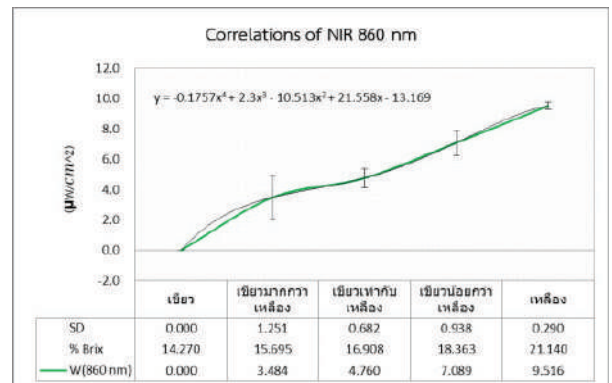


Figure 15 The 860 nm wavelength relationship of NIR with%Brix

กราฟความสัมพันธ์จาก Figure 15 ในช่วงความยาวคลื่น 860 nm เมื่อกล้วยอยู่ในสถานะเขียวกว่าเหลืองมีค่าความผิดพลาดจากการทดสอบอุปกรณ์ NIR ต้นแบบมากที่สุดคือ 1.251 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการทำนายและในย่านความยาวคลื่น 860 nm เหมาะที่จะทำนายคุณภาพของกล้วยหอมทองในสถานะเขียวและเหลืองเนื่องจากมีความผิดพลาด 0.00 และ 0.290 ตามลำดับ

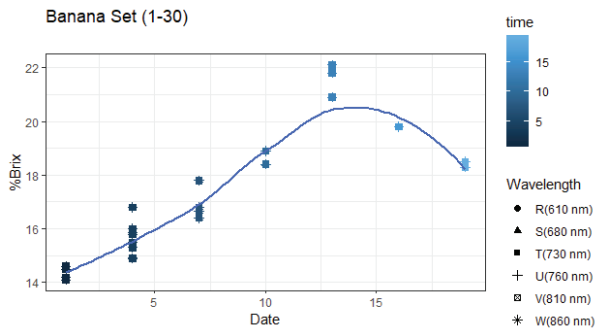


Figure 16 The relationship between wavelength 610 nm-860 nm and %Brix.

จาก Figure 16 เมื่อเวลาและสถานะในแต่ละระดับความสุกดิบของกล้วยหอมทองเปลี่ยนแปลงจากสีเขียวเป็นสีเหลืองตามวันเวลาที่เพิ่มขึ้นและในแต่ละย่านความยาวคลื่น (610nm, 680nm, 730nm, 760nm, 810nm, 860nm) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์กับค่า %Brix ที่ทดลองได้จาก Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 กล่าวคือผลที่ทดลองได้มีความสอดคล้องกันและสามารถเลือกย่านที่เหมาะสมกับการใช้งานหรือทำนายสถานะความสุกหรือทำนายความหวานของกล้วยโดยการดูค่าในแต่ละย่านความยาวคลื่นที่มีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดนำมาใช้วิเคราะห์และใช้ในการแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความหวานที่ทดสอบได้จากอุปกรณ์ทดสอบความหวานที่ได้มาตรฐาน Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในทุกความยาวคลื่นซึ่งแสดงผลการทดสอบค่าเฉลี่ยในแต่ละความยาวคลื่นแสดงให้เห็นว่าเมื่อกล้วยหอมทองเปลี่ยนสถานะจากกล้วยแก่เป็นกล้วยสุกตามระยะเวลาการเก็บรักษา ค่าที่ทดสอบได้จะเปลี่ยนแปลงตามสถานะความสุกของกล้วย โดยค่าที่ทดสอบได้จะสอดคล้องกับค่าที่ได้จากอุปกรณ์วัดความหวาน Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 และยังสามารถเลือกย่านความยาวคลื่นให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไปได้ในผลไม้ชนิดอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายๆ กัน ดังนี้

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 1 “เขียว” อุปกรณ์ต้นแบบที่ทำจาก NIR มีค่าเท่ากับ 0.000 ค่าความผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0.000 ทุกๆ ความยาวคลื่นเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 14.270%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 2 “เขียวมากกว่าเหลือง” ความยาวคลื่น 680 nm Figure 6 มีค่าความผิดพลาด 0.372 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 15.695%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 3 “เขียวเหลืองเท่ากัน” ความยาวคลื่น 680 nm Figure 6 มีค่าความผิดพลาด 0.169 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 16.908%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 4 “เหลืองมากกว่าเขียว” ความยาวคลื่น 760 nm Figure 8 มีค่าความผิดพลาด 0.581 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 18.363%Brix

ที่สถานะความสุกของกล้วยในระดับที่ 5 “เหลือง” ความยาวคลื่น 760 nm Figure 8 มีค่าความผิดพลาด 0.035 มีค่าน้อยที่สุดจึงเหมาะที่จะนำไปทำนายหรือศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมและเมื่อเทียบกับ Brix refractometer รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 ได้ความหวานเท่ากับ 21.140%Brix

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการทดสอบวัดหาค่าคุณภาพของกล้วยหอมทองเทียบกับความหวานที่ได้จากชุดอุปกรณ์มาตรฐานรุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 โดยตรวจสอบจากสถานะของกล้วยหอมทองที่มีระดับและสถานะความสุกดิบที่แตกต่างกันโดยวิธีการไม่ทำลายตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ค่าที่ได้จากทางสเปคตรัมของ AS7263 NIR Spectral Sensor โดยวิเคราะห์จากความยาวคลื่นที่ต่างกัน 6 ช่วงความยาวคลื่น ผลการทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นมา มีแนวโน้มที่ดีในการที่จะสามารถแยกแยะความสุกดิบหรือสถานะสีของกล้วยและสถานะความหวานของกล้วยหอมทองได้ โดยมีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับอุปกรณ์วัดความหวานผลไม้ รุ่น Type Model PEN-PRO Cat.No.3730 อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำไปขยายผล ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ได้ และยังสามารถพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบให้มีความทันสมัยสามารถลดต้นทุนให้เกษตรกรและเหมาะแก่การใช้ในทางการเกษตรต่อไปได้ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. อนิรุจ (Anirut.j), (2562), ผลไม้ไทยส่งออกไปจีนโต 152% ทุเรียนสดครองแชมป์, เข้าถึงเมื่อ (29 สิงหาคม 2562) เข้าถึงได้จาก (<https://www.smartsme.co.th/content/221955>)
2. ไทยรัฐออนไลน์, (2560), ผู้ว่าฯ เมืองจันทร์ ลุยตรวจ 'ล้งทุเรียน' โดนจีนตีกลับ 3 คอนเทนเนอร์, เข้าถึงเมื่อ (29 สิงหาคม 2562) เข้าถึงได้จาก (<https://www.thairath.co.th/content/920005>)
3. M.Azfar Din, M.H. Abdul Halim, Norlida Buniyamin. (2016). Determination of Banana Sugar Content Using Ultrasound Velocity Measurement, 8th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE). Yogyakarta, Indonesia. (2016).
4. Amos Mizrach. (2004). Assessing plum fruit quality attributes with an ultrasonic method, 2004 Food Research International 37. 627-631
5. Gabrieli Alves de Oliveira, Sylvie Bureau, Catherine Marie-Geneviève Claire Renard, Aducto Bellarmino Pereira-Netto a, Fernanda de Castilhos. (2014). Comparison of NIRS approach for prediction of internal quality traits in three fruit species, Food Chemistry 143 (2014). 223-230
6. Ayman Ibrahim, Adrienne Csur Varga, Marton Jolankai, Ferenc Safranyik. (2018). Applying Infrared Technique as a Nondestructive Method To Assess Wheat Grain Hardness, International Journal of Science and Qualitative Analysis (2018). 100-107
7. Els Bobelyn, Anca-Sabina Serbanc, Mihai Nicuc, Jeroen Lammertyn, Bart M. Nicolai, Wouter Saey. (2010). Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: Study of the effect of biological variability on spectra and model performance. Postharvest Biology and Technology 55 (2010). 133-143
8. Pranita Jaiswal, Shyam N. Jha, Rishi Bharadwaj. (2012). Non-destructive prediction of quality of intact banana using spectroscopy. Scientia Horticulturae 135 (2012). 14-22
9. Liew, C.Y. and Lau, C.Y.. (2012). Determination of quality parameters in Cavendish banana during ripening by NIR spectroscopy. International Food Research Journal 19(2) (2012). 751-758
10. Septi Tri Wahyuni Siregar, Windri Handayani, Adhi Harmoko Saputro. (2017). Bananas Moisture Content Prediction System using Visual-NIR Imaging. 2017 5th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA). Yogyakarta, Indonesia, August 9-11. (2017).
11. พัชรียา โภคกุล. (2553). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี NIR (Near Infrared) กับงานควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์สุขภาพ. สำนักความร่วมมือระหว่างประเทศ สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา. วารสารอาหารและยา. ฉบับเดือน มกราคม-เมษายน. หน้า 1-5
12. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์. (2557). การศึกษาความเป็นไปได้ในการตรวจวัดปริมาณความชื้นในแป้งมันสำปะหลังหมาด โดยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี. คณะวิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
13. เบญจมาศ ศิลาอ้อย. (2545). กล้วย. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

การจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารต้นแบบมหาวิทยาลัยพะเยา

Building energy management for reducing the electricity demand of air conditioning systems in prototype building at the University of Phayao

นัทธินันท์ พงษ์พานิช^{1*}, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล¹
Nuttanon Pongpanit^{1*}, Bunyawat Vichanpol¹

Received: 14 August 2019 ; Revised: 25 December 2019 ; Accepted: 28 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในฤดูร้อน โดยใช้แนวทางของระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System, BEMS) ที่ทำงานร่วมกับการสำรองพลังงานในรูปแบบน้ำเย็น โดยการศึกษาวิจัยนี้เริ่มจากการประเมินศักยภาพและรูปแบบการใช้พลังงานในพื้นที่ต้นแบบซึ่งเป็นอาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดทำเป็นข้อกำหนดในการออกแบบระบบสำรองน้ำเย็น (Chilled Water Thermal Storage, CWTS) และระบบควบคุมที่สามารถจัดการภาระทำความเย็นของพื้นที่ จากนั้นจึงทำการทดสอบร่วมกันระหว่างระบบที่ออกแบบกับระบบปรับอากาศติดตั้งเดิมของอาคารซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ผลของการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลา 13.30-16.30 น. ระบบที่ออกแบบสามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่ 26.09 W/m² หรือคิดเป็น 35.10% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสูงกว่าค่ากำหนดการออกแบบที่สามารถลดได้เพียง 20% นอกจากนี้ผลของการศึกษายังพบว่าสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 15.20 Wh/m² หรือคิดเป็น 13.16% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศจากการมีระบบควบคุมการตอบสนองภาระความร้อนที่เกิดขึ้นของพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาสรุปได้ว่า การออกแบบการจัดการพลังงานที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ระบบ CWTS สามารถนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศเดิมของอาคาร ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานจะเพิ่มขึ้นได้จากการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ที่สูงขึ้นและการออกแบบระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่รองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand Response, DR) จากสภาพอากาศภายนอก ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแนวทางของการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

คำสำคัญ: การสำรองพลังงานในรูปแบบน้ำเย็น ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

Abstract

This research aims to reduce electricity demand of air conditioning systems in the summer period using a Building Energy Management System (BEMS) cooperating with Chilled Water Thermal Storage (CWTS). Initially, the potential and energy consumption pattern of the building in the University of Phayao were evaluated. The CWTS and the control system, which used the actual cooling load in the area as a feedback, were designed based on the initial results and implemented with the existing split type air conditioning system. The results show that the peak demand (PD) occurs during 1.30-2.30 p.m. and the design system can reduce the electricity demand of that period by 26.09 W/m² (35.10%) of the peak demand, which is higher than expectation in design criteria of 20%. In addition, the system with the actual cooling load feedback control system can effectively be reduced to 15.20 Wh/m² or 13.16% of the electricity consumption in the area.

¹ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000 โทรศัพท์: 0 5446 6666

¹ School of Energy and Environment, University of Phayao, Tambon Maeka, Amphur Muang, Phayao, 56000 Thailand. Tel: +66 5446 6666

* Corresponding author, nuttanon.po@gmail.com

The study can be included in appropriate energy management design with CTWTS and can be implemented with the existing split type air conditioning system. In further study, the efficiency of the energy management will be improved by use of high Coefficient Of Performance (COP) equipment and a controller design based on Demand Response (DR) combined with the photovoltaic (PV) system.

Keywords: Chilled Water Thermal Storage (CWTS), Building Energy Management System (BEMS), Peak Demand (PD)

บทนำ

แนวโน้มความต้องการพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้นจากระดับสูงสุดในรอบปี 2558 ที่ 27,346 MW โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 38,815 MW เพิ่มเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 30,853 MW จากกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมเพิ่มที่ 44,443 MW¹ ข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงปัญหาของเสถียรภาพพลังงานจากการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของปีจะเกิดในช่วงฤดูร้อน ระหว่างเดือน มี.ค.-มิ.ย. จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์รูปแบบของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand, PD)² ของระบบประกอบอาคาร พบว่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้ไปสำหรับการควบคุมสภาวะอากาศสำหรับพื้นที่ต่างๆ ภายในอาคาร หรือระบบ Heating Ventilation and Air-Condition (HVAC) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 50% ของผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของอาคาร Motegi N และคณะวิจัย³ พบว่าการที่จะจัดการระบบ HVAC ให้มีประสิทธิภาพจะต้องใช้การจัดการที่มีรูปแบบการที่สัมพันธ์กับการตอบสนองความต้องการปริมาณไฟฟ้าที่หลากหลาย (Demand Response Resource) การจัดการพลังงานอาคารจะถูกใช้เพื่อควบคุมภาวะชั่วคราวของอากาศในพื้นที่ต่างๆ ของอาคารเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะอากาศภายนอกอาคาร ในประเทศไทยระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดของอาคารทั่วไป⁴ ดังนั้นการจัดการพลังงานจึงควรให้ความสำคัญในระบบดังกล่าวเป็นอันดับแรก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานการใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร หรือ Building Energy Management System (BEMS) มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว⁵ ในเบื้องต้นถูกใช้ในการจัดการ ควบคุม และติดตามระบบพลังงานต่างๆ ภายในอาคารทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเอง ซึ่งจะทำให้สามารถระบุแนวทางหรือศักยภาพที่เป็นไปได้ในการออกแบบเพื่อปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

หนึ่งในแนวทางการออกแบบเพื่อควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร นิยมใช้แนวทาง Thermal Energy Storage (TES) ซึ่งสามารถลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต้นทุนพลังงานสูงหรือที่เรียกว่าช่วง Peak จากการสำรองพลังงานอยู่ในรูปแบบน้ำเย็น (Chilled Water Thermal Storage, CWTS) สำหรับระบบปรับอากาศอาคาร โดยในประเทศจีนการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในรูปแบบดังกล่าวมีผลให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารลดได้ถึง 40%^{6,7} จากส่วนต่างของต้นทุนค่าไฟฟ้าในช่วงสูงสุดและต่ำสุดที่มากกว่า 3 เท่า และพื้นที่ที่อุณหภูมิในช่วงกลางวันสูงมากอย่างคูเวต การใช้รูปแบบ CTWS มาแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทำให้ค่า Peak ลดลงได้มากกว่า 36%⁸ การศึกษาเพิ่มเติมการสำรองรูปแบบความเย็นในรูปแบบของน้ำแข็ง (Ice Thermal Storage, ITS)⁹ หรือการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์จากอุปกรณ์ Solar Collector มาใช้ทำน้ำเย็นด้วย Absorption Chiller¹⁰ เป็นแนวทางการจัดการพลังงานที่ถูกเลือกใช้สำหรับการออกแบบอาคารสร้างใหม่ แต่ในประเทศไทยที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการก่อสร้างอาคารหรือในการปรับปรุงระบบปรับอากาศอาคารที่มีอยู่แล้วอาจจะมีข้อจำกัดทั้งในด้านงบประมาณและพื้นที่การศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของการจัดการพลังงาน ทำให้ได้ฐานข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องกับบริบทเดิมของอาคารสำหรับการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบอาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้รูปแบบของ CWTS ที่มีการควบคุมการตอบสนองโหลดตามหลักการของ BEMS ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมซึ่งเป็นการใช้งานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานอาคารหรือ BEMS ในรูปแบบ CWTS ที่สามารถใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบ จังหวัดพะเยา

ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและทดสอบ แนวทางการจัดการพลังงานในอาคาร ในรูปแบบ CWTS ของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ในช่วงเดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม 2560

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานเพื่อศึกษาการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศกรณีศึกษา: อาคารต้นแบบมหาวิทยาลัยพะเยา แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินศักยภาพของพลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบและการทดสอบการใช้รูปแบบ CWTS สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร ของระบบปรับอากาศ โดยในแต่ละส่วนมีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

ส่วนที่ 1 การประเมินศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของพื้นที่ต้นแบบ สำหรับการศึกษาครั้งนี้คือ อาคารทันตแพทยศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ ชุดอาคาร EN3-4 มีพื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด 1,417.5 ตารางเมตร Figure 1 เป็นรูปแสดงอาคารต้นแบบในการศึกษา



Figure 1 Prototype Building in Research

ในส่วนที่ 1 มีการศึกษา 3 หัวข้อ เพื่อประเมินเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุงได้แก่

(1) การประเมินภาระโหลดความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศของอาคาร (Cooling Load of Building) โดยใช้การคำนวณจากมาตรฐานการออกแบบของ ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ในวิธี Residential Load Factor (RLF) Method¹¹ เพื่อหาภาระความร้อนสูงสุด ที่เกิดในช่วงเวลา 14.00-16.00 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิภายนอกสูงสุดเกิดขึ้นในพื้นที่ต้นแบบ

(2) ขนาดติดตั้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งแล้วในอาคารต้นแบบ ซึ่งเป็นความสามารถของระบบในการจัดการกับภาระโหลดความร้อนอาคาร

ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้นำมาใช้ประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากระบบปรับอากาศที่เกิดจากภาระความร้อนภายนอกและความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งอุปกรณ์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศหรือ COP ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Estimate Power} = \frac{\text{Cooling Load of Building}}{\text{COP of Air Conditioning}}$$

Cooling Load of building เป็นผลการคำนวณได้จาก (1) ส่วนค่า COP ได้จากค่าตามมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคาร

(3) การทดสอบเพื่อประเมินรูปแบบและศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารในช่วงฤดูร้อน เพื่อประเมินเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกใน โดยพื้นที่ทดสอบในอาคารต้นแบบคือ ห้องเขียนแบบ(Drawing room) มีพื้นที่ปรับอากาศ 189 ตารางเมตรจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 26,110 Btu/Hr. จำนวน 1 เครื่องและเครื่องปรับอากาศขนาด 62,600 Btu/Hr. จำนวน 3 เครื่อง แสดงพื้นที่ดังกล่าวได้ใน Figure 2

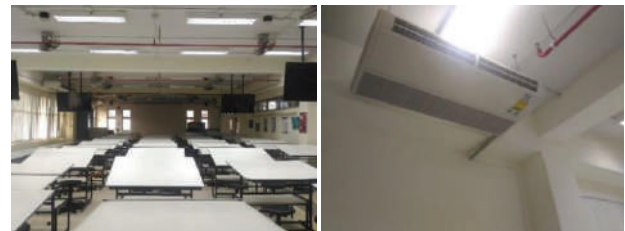


Figure 2 Drawing Room in The Prototype Building

ส่วนที่ 2 การออกแบบและทดสอบรูปแบบ CWTS สำหรับการจัดการพลังงานของระบบปรับอากาศ รูปแบบของการทดสอบแสดงได้ดังแผนภาพใน Figure 3 มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

ออกแบบรูปแบบ CWTS โดยใช้ผลการทดสอบจากการศึกษาในส่วนที่ 1 โดยพิจารณาเฉพาะรูปแบบความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจากภาวะความร้อนของอากาศภายนอกเป็นหลัก

ติดตั้งระบบ CWTS จากการออกแบบ 1) โดยสำรองน้ำเย็นเฉพาะใช้งานในพื้นที่ทดสอบ

ทดสอบระบบที่ติดตั้งและการใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมของพื้นที่ศึกษา โดยแนวทางการทดสอบได้ดังนี้

3.1) ทดสอบและเก็บข้อมูลจากระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเดิมในพื้นที่ทดสอบเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการศึกษาที่สนใจ

3.2) ทำน้ำเย็นสำรองและเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเย็นช่วงเวลาเริ่มต้นทดสอบในส่วนนี้ตั้งแต่ 06.00 น.

3.3) เลือกใช้ระบบ CWTS ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมของพื้นที่ในช่วงเวลา 13.00-17.00 น.

3.4) ขนาดการปรับอากาศของระบบถูกออกแบบที่ขนาด 96,000 Btu/Hr. สำหรับใช้แทนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 62,600 Btu/Hr. จำนวน 2 ชุดของพื้นที่ทดสอบ

3.5) ทดสอบระบบโดยควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ทดสอบที่ 25 °C ภายใต้ช่วงเวลาเป้าหมาย

ในการทดสอบจะใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูล ได้แก่ค่ากำลังไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นอากาศของพื้นที่ทดสอบโดยกำหนดให้ใช้เครื่องมือและระบบในการตรวจวัดดังนี้

4.1) ชุด Power Meter สำหรับเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าพร้อมชุด Data Logger

4.2) อุปกรณ์ตรวจวัดและเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นภายใน ภายนอกอาคารและชุดเครื่องส่งสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ

ประเมินและวิเคราะห์ผลการศึกษา ซึ่งเป็นการประเมินผลทดสอบสำหรับการแก้ปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในระบบปรับอากาศในฤดูร้อนและการใช้งานอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1. การประเมินศักยภาพและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของพื้นที่ต้นแบบ

(1.1) การประเมินร่วมกันของ (1) และ (2) จากส่วนที่ 1 ของวิธีดำเนินการวิจัย ผลการประเมินของภาวะความร้อนสูงสุดที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศของอาคารจากการคำนวณด้วยวิธี RLF ที่ 1,012,293.45 Btu/Hr. หรือคิดเป็น 714.14 Btu/Hr.·m² โดยการติดตั้งระบบปรับอากาศของอาคารมีขนาดรวมที่ 1,500,265 Btu/Hr หรือคิดเป็น 1,058.39 Btu/hr. m² ซึ่งมากกว่าการคำนวณถึง 48.02% โดยผลของภาวะความร้อนดังกล่าวเมื่อประเมินเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand, PD) จากเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งพบว่าทำให้เกิด PD ที่ 139.15 kW ทั้งที่ควรจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 97.27 kW ถ้ามีการติดตั้งขนาดการปรับอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่

(1.2) ในการทดสอบเพื่อประเมินรูปแบบและศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในพื้นที่ศึกษาก่อนปรับปรุง พบว่ามีภาวะความร้อนสูงสุดในรอบวันจากการทดสอบใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงฤดูร้อนเท่ากับ 260.94 W/m² หรือเท่ากับ 890.85 Btu/Hr.·m² ที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 85.55 W/m² และเมื่อมีการทดสอบและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในพื้นที่ทดสอบเพื่อหารูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ติดต่อกัน 3 วัน ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดัง Figure 4 และสรุปเป็นความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยได้จาก Table 1

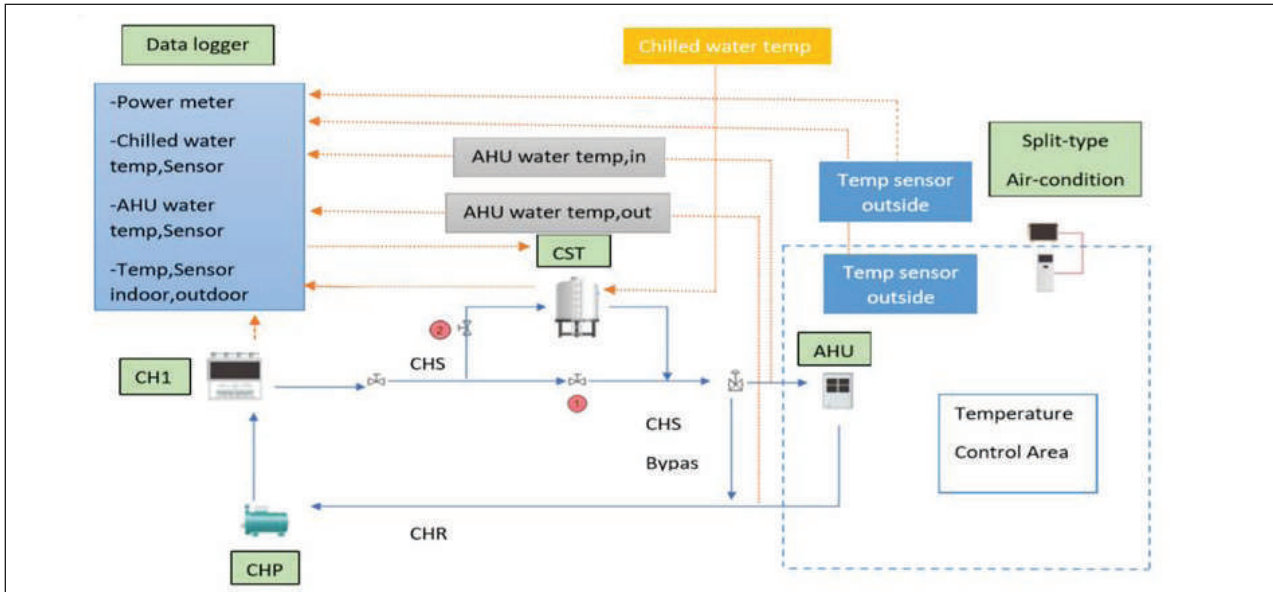


Figure 3 Diagram of The CWTS Test System for Power Management in Air Conditioning Systems

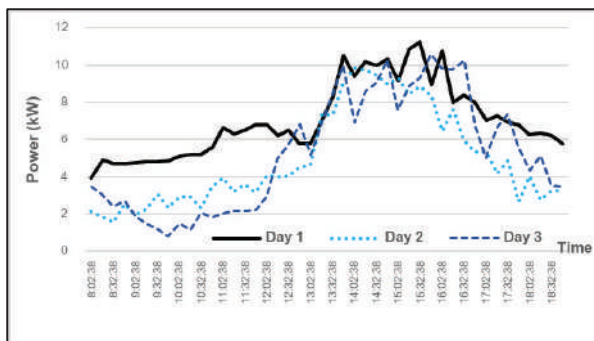


Figure 4 The demand for electricity in the day

ผลการทดสอบพบว่าระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา 8.00-12.00 น.เฉลี่ยที่ 4.57 kW หลังจากนั้นระดับดังกล่าวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและขึ้นไปที่ระดับสูงสุดของวันและอยู่ในระดับใกล้เคียงกันช่วงเวลา 13.30 -16.30 น. หรือประมาณ 3 ชั่วโมงและมีค่าเฉลี่ยที่ 9.10 kW ซึ่งรูปแบบความต้องการพลังงานไฟฟ้าเกิดจากโหลดความร้อนภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันในแต่ละวันและคุณสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนและสะท้อนความร้อนหรือที่เรียกว่า มวลอุณหภาพ (Thermal Mass) คุณสมบัตินี้เป็นความสามารถในการกักเก็บความร้อนของกรอบอาคาร ในการศึกษาที่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อออกแบบและทดสอบในจัดการพลังงานเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในระบบปรับอากาศ

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษา CWTS ในการจัดการพลังงานของระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบ

(2.1) ภาวะความร้อนของพื้นที่ต้นแบบในช่วงเวลา 13.30 -16.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดภาวะสูงสุดของวัน

มีปริมาณความร้อนที่ต้องกำจัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 519.97 kJ/m² สูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาอื่นเกือบ 2 เท่า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในฤดูร้อน โดยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศจำเพาะต่อพื้นที่ในพื้นที่ทดสอบแสดงได้ตาม Table 1

Table 1 The Specific Electricity Demand and Heat Load of The Air Conditioning System in The Prototype Area.

Description	Electricity Demand	Specific Heat Load
1) Maximum Value from The Calculation (W/m ²)	68.621	209.293
2) Maximum Value from The test (W/m ²)	59.627	181.863
3) Average During The Period 13.30-16.30. (W/m ²)	48.146	146.844

เมื่อพิจารณาจาก Table 1 ใน 1) และ 2) ซึ่งเป็นค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากการคำนวณภาวะสูงสุดของการปรับอากาศและค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบต่อเนื่อง 3 วัน พบว่าค่า 2) จะต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 15.08% แต่จะสูงกว่าค่าพลังงานเฉลี่ยของช่วงเวลาศึกษา หรือ 3) ที่ 19.25% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการบริหารจัดการไฟฟ้าที่ดีตามศักยภาพของการใช้พลังงานในการระบายความร้อนของพื้นที่ต้นแบบ ก็จะทำให้สามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

ได้ไม่ต่ำกว่าตัวเลขดังกล่าว ผลของข้อมูลถูกกำหนดเพื่อใช้สำหรับการออกแบบ CWTS ในการจัดการพลังงานเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบโดยมีเป้าหมายให้เกิดการลดลงที่ประมาณ 20% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน สามารถสรุปเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ (Design Criteria) ดังนี้

ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยที่ 9.55 kW ดังนั้นระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจะต้องควบคุมให้ไม่เกิน 7.64 kW ระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถชดเชยการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้ในช่วง 3.63 -10.91 kW และสามารถสำรองพลังงานในรูปน้ำเย็นไม่ต่ำกว่า 34.94 MJ โดยเลือกใช้ชุดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- ชุดเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller, CH1) มีคุณสมบัติอุปกรณ์คือ COP=3.1 ที่ 7.753 kW ใช้สารทำความเย็น R-22 ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวแสดงได้ใน Figure 5



Figure 5 Air-cooled chiller

- ชุดถังเก็บน้ำเย็น (Chilled Water Storage Tank, CST) ขนาด 1,000 ลิตรพร้อมหุ้มฉนวน Close Cell Foam หนา 25 มิลลิเมตร

- เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump, CHP) มีขนาด 0.87 HP โดยมีระบบชุดควบคุมสำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ จากการทดสอบการใช้งานพบว่าสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นในการทดสอบได้ในช่วงที่ใช้งานระหว่าง 30-55 ลิตรต่อวินาที



Figure 6 Chilled Water Storage Tank and Chilled Water Pump

- ระบบท่อน้ำเย็นเลือกใช้ท่อ PPR ขนาด 1.5 นิ้ว หุ้มฉนวน Close Cell Foam หนา 2.5 มิลลิเมตร สำหรับท่อน้ำเย็นจ่าย (Chilled Water Supply, CHS) และท่อน้ำเย็นกลับ (Chilled Water Return, CHR)

- ชุดเครื่องส่งลมเย็นต้นแบบ (Air Handling Unit, AHU) เป็นเครื่องส่งลมเย็นที่ออกแบบสำหรับการทดสอบขนาดเหมาะสมกับ CH1 สามารถส่งลมเย็นที่อัตราการไหลสูงสุด 3,200 ft³/min สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศเย็นได้โดยอุปกรณ์ปรับรอบ (Variable Speed Drive, VSD)



Figure 7 AHU and VSD set

(2.2) ในการทดสอบระบบ CWTS ที่ออกแบบร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมในพื้นที่ศึกษา เพื่อชดเชยและลดระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบปรับอากาศโดยควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ที่ 25 °C ดำเนินการทำน้ำเย็นช่วงเวลา 6.00-8.00 น. ที่อุณหภูมิน้ำเย็นใช้งานเริ่มต้น 6.5 °C ผลการทดสอบของระบบร่วมดังกล่าวแสดงดัง Figure 8 ซึ่งเป็นการทดสอบต่อเนื่อง 3 วันช่วงเวลา 13.00-17.00 น. โดย Day 1, 2 และ 3 มีอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องเฉลี่ยที่ 32.89 33.03 และ 33.24 °C ตามลำดับ

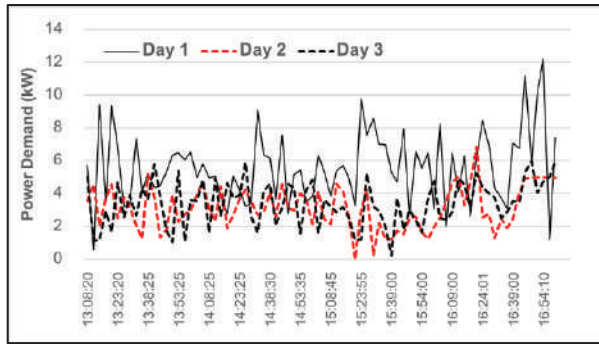


Figure 8 Compare the use of electricity demand before (Day 1) and after the CWTS test

ผลการทดสอบพบว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ Day 2 และ Day 3 เฉลี่ยต่ำกว่า Day 1 ที่ 5.39 kW หรือคิดเป็นระดับพลังไฟฟ้าที่ลดลง 44.11% ของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ Day 1 เมื่อพิจารณาค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทดสอบจะมีระดับที่ลดลงที่ 2.36 kW หรือเป็นระดับที่ลดลงที่ 45.34% ของวันที่ไม่มีการใช้ระบบ CWTS ส่วนในการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศพบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง 9.10 kWh เมื่อเปรียบเทียบกับ Day 1 โดยการประเมินนี้ยังไม่ได้หักลบกับพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำงานของระบบทำน้ำเย็นซึ่งเท่ากับ 7.54 kWh เมื่อประเมินเป็นการลดลงของพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมดพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 7.13% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศเดิม

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาสรุปเป็นผลลัพธ์ได้ตาม Table 2 ซึ่งเป็นตารางสรุปผลการศึกษาของการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบ โดยมีการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 7 วัน

Table 2 Summary of test results

Description	Quantity	%	Specific
(1) The average peak power demand decreases.	4.93 kW	35.10	26.09 W/m ²
(2) The average electrical energy reduction in air conditioning systems	2.87 kWh	13.16	15.20 Wh/m ²
(3) The overall COP of CWTS	1.83		

จาก Table 2 ส่วน (1) แสดงระดับการลดลงของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือ PD เฉลี่ยเท่ากับ 4.93 kW หรือ

ลดลงคิดเป็นสัดส่วนที่ 35.10% ของค่า PD เดิมก่อนปรับปรุง เมื่อประเมินเป็นพลังไฟฟ้าจำเพาะต่อพื้นที่ใช้งานคิดเป็น 26.09 W/m² ขณะเดียวกันใน (3) เป็นการประเมินสมรรถนะของการทำน้ำเย็นจากค่า COP พบว่ามีค่าสมรรถนะโดยรวมถึงแม้จะต่ำกว่าระบบปรับอากาศเดิม แต่จากการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิที่มีการตอบสนองต่อภาวะความร้อนของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพด้วยหลักการของระบบบริหารจัดการในอาคารหรือ BEMS ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่ำกว่าระบบเดิมที่ 13.16% หรือคิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลงที่ 15.20 Wh/m²

ผลการศึกษานี้เป็นการทดสอบในช่วงวันที่มีระดับอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด แนวทางการทดสอบที่ได้จะถูกใช้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศ ระบบที่ถูกออกแบบนี้สามารถลดระดับความต้องการพลังไฟฟ้าเป้าหมายที่ประเมินไว้ที่ 20% เนื่องจาก

1) ระบบปรับอากาศเดิมเป็นแบบแยกส่วน ควบคุมการทำงานโดยเทอร์โมสแตตเฉพาะตัว ทำให้ไม่สามารถจัดการการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ ขณะเดียวกันการออกแบบระบบตามแนวคิด BEMS ด้วยการใช้รูปแบบ CWTS มีการควบคุมอัตราการใช้น้ำเย็นแบบ PID ทดแทนการควบคุมแบบ On-Off จากเครื่องปรับอากาศเดิมโดยใช้การตรวจวัดอุณหภูมิพื้นที่ต่างๆ ที่แม่นยำ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management: DSM) ร่วมกับการปรับปริมาณลมเย็นที่เหมาะสมจากการใช้งาน ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและช่วยลดระดับความต้องการพลังไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

2) ประสิทธิภาพของการใช้งานเครื่องปรับอากาศขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อระบายความร้อนของส่วน Condensing ซึ่งช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อนข้างสูงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องปรับอากาศต่ำ ขณะเดียวกันช่วงเวลาในการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นช่วงเช้า ระดับอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำทำให้สมรรถนะของระบบจึงสูงกว่าการใช้ประโยชน์ช่วงกลางวัน ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้น้ำเย็นเฉพาะช่วงเวลาจึงทำให้เกิดผลที่ดีกว่าที่ประเมิน

3) เมื่อทดสอบใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องพบว่าการใช้พลังงานของระบบทำน้ำเย็นมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นเริ่มต้นของการทำงานมีค่าลดลงจากผลการสูญเสียความร้อนต่ำของ CST รวมถึงความต้องการพลังงานในระบบปรับอากาศจากการกักเก็บความร้อนของกรอบอาคารน้อยลงเมื่อมีการใช้พื้นที่ปรับอากาศต่อเนื่อง ดังนั้นรูปแบบของการจัดการการใช้ประโยชน์พื้นที่อาคารที่ดี มีการใช้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศลดลงได้

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

ผลจากการศึกษาการจัดการด้านพลังงานนี้ สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้แก่

1) ในการใช้งานระบบปรับอากาศในฤดูร้อน ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานที่ออกแบบขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำน้ำเย็นหรือ COP จาก Table 2 ผลการทดสอบของระบบ CWTS มีค่าเพียง 1.83 ซึ่งถือว่าเป็นค่าค่อนข้างต่ำ ยิ่งอุปกรณ์มี COP ของระบบสูง ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ความสามารถในการผลิตน้ำเย็นจะมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการลดของความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่สูงขึ้นด้วย

2) ผลประโยชน์ของการติดตั้งระบบเกิดสูงสุดในฤดูร้อน การทดสอบเพิ่มเติมในช่วงอื่นที่แตกต่างกันตลอดทั้งปี จะทำให้สามารถประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์และความน่าสนใจในการลงทุนปรับปรุง

3) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานที่มากขึ้น สามารถศึกษาเพิ่มเติมตามแนวทางต่อไปนี้

- การทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องปรับอากาศต้นแบบในการศึกษานี้

- การจัดการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand Response:DR) ร่วมกันในระบบปรับอากาศ

- การจัดการเพื่อให้เกิดผลตอบแทนสูงสุดจากการกำหนด อัตราค่าไฟฟ้าตามมาตรการส่งเสริมการลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response Rate) 2561¹²

เอกสารอ้างอิง

1. Information from the Electricity Generating Authority of Thailand. (2562). Power demand of the system. retrieved at Jan. 9, 2020 https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116
2. Xiao F, Wang SW. (2009). Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. *Renew Sustain Energy*, 13(5), 1144-9

3. Motegi N, Piette MA, Watson DS, Kiliccote S, Xu P. (2007). *Introduction to commercial building control strategies and techniques for demand response*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-59975, A1-9
4. Yimprayoon C. (2016). Review Article: Zero Energy Building. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 13(2), 1-30 (In Thai)
5. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). คู่มือโครงข่ายอัจฉริยะ (Smartgrid), กระทรวงพลังงาน, 19-27
6. Lin H, Li X, Cheng P, Xu B. (2014). Thermo-economic evaluation of air conditioning system with chilled water storage. *Energy Conversion and Management*, 85(2014), 328-332.
7. Lin H, Li X, Cheng P, Xu B. (2014). Study on chilled energy storage of air-conditioning system with energy saving. *Energy and Building*, 79(2014), 41-46
8. M.J. Sebzali, B. Ameer, H.J. Hussain. (2014). Comparison of energy performance and economics of chilled water thermal storage and conventional air-conditioning systems. *Energy and Building*, 69(2014), 237-250
9. Song X, Liu L, Zhu T, Chen S, Cao Z. (2018). Study of economic feasibility of a compound cool thermal storage system combining chilled water storage and ice storage. *Applied Thermal Engineering*, 133 (2018), 613-621
10. Rosiek S, Garrido FJB. (2012). Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building). *Energy Conversion and Management*, 55 (2012), 81-92
11. ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition) (2017). chapter 17 residential cooling and heating load calculations. pp. 17.1-17.6
12. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579. retrieved at Feb. 9, 2018, <http://www.Eppo.go.th/index.php/th/electricity/smartgrid/mainplan>.

การผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน

Bio-coal and Green Fuel Production from Durian Peel

ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์^{1*}, ศิริวรรณ แก้วswing², อมรประภา ทิศกระโทก²
Panjai Saueprasearsit^{1*}, Siriwan Kaewsawing², Amornprapa Thitkrathok²

Received: 28 April 2020 ; Revised: 15 May 2020 ; Accepted: 26 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน โดยในขั้นตอนการทดลองเปลือกทุเรียนที่ถูกเตรียมเป็นถ่านเปลือกทุเรียน (DPC) และเปลือกทุเรียน (DP) จะถูกบดและผสมกับตัวประสาน คือ กากไขมัน (WG) ที่อัตราส่วนโดยมวล 1:1, 2:1, 3:1 จนถึงอัตราส่วนที่ไม่สามารถขึ้นรูปได้ ทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจากการพิจารณาค่าความสามารถในการขึ้นรูป และคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้ จากนั้นทำการศึกษาคูณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนของเชื้อเพลิงทั้งสองที่อัตราส่วนที่เหมาะสม และเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มพช.238/2547) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างถ่านเปลือกทุเรียน : กากไขมัน และเปลือกทุเรียน : กากไขมัน มีค่าเท่ากับ 3:1 และ 5:1 ที่อัตราส่วนดังกล่าวค่าความร้อนของเชื้อเพลิงมีค่าเท่ากับ 25,996 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และ 21,655 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนมีค่าเท่ากับร้อยละ 20.14 และร้อยละ 16.94 ตามลำดับ คุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงทั้งหมดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้ สำหรับราคาพลังงานของเชื้อเพลิงทั้งสองมีค่าเท่ากับ 0.31 บาทต่อเมกะจูล และ 1.13 บาทต่อเมกะจูล จากผลการศึกษาทั้งหมดจะสามารถสรุปได้ว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน (ถ่านเปลือกทุเรียน : กากไขมัน เท่ากับ 3:1) จัดเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพสามารถนำมาใช้ทดแทนถ่านไม้ได้

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, เชื้อเพลิงเขียว, เปลือกทุเรียน

Abstract

This research aimed to study the bio-coal and green fuel production from durian peel. For the purpose of experimentation, durian peel was prepared as durian peel char (DPC) and durian peel (DP). Both of these were ground and mixed with a waste grease (WG) binder at a ratio (w:w) of 1:1, 2:1, and 3:1 until the mixture couldn't be molded. The appropriate ratios (DPC:WG and DP:WG) were determined from formability and physical characteristics. The fuel properties and heating efficiencies were then investigated and compared with the Thai Community Product Standard (238/2547). The results showed that the optimal ratios of DPC:WG and DP:WG were 3:1 and 5:1 with heating values of 25,996 kJ/kg and 21,665 kJ/kg respectively. The corresponding heating efficiencies were found to be 20.14% and 16.94%. All properties were found to be higher than the Thai Community Product Standard (238/2547) and the energy prices were 0.31 Baht/MJ and 1.13 Bath/MJ, respectively. The results therefore conclude that the bio-coal production from 3:1 ratio of durian peel (DPC:WG) is a potential fuel which can be utilized instead of wood charcoal.

Keywords: Bio-coal, Green fuel, Durian peel

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
อีเมล: panjai.s@hotmail.com

² นิสิตระดับปริญญาตรี คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

¹ Asst. Prof., Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.
Email: panjai.s@hotmail.com

² Bachelor Degree Student, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Kantarawichai District, MahaSarakhm 44150, Thailand.

บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้พลังงานของประเทศไทยมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง¹ โดยแหล่งพลังงานที่ใช้มากที่สุด คือ พลังงานฟอสซิล ประกอบด้วย น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และ ถ่านหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไป จึงมีความเป็นไปได้ที่จะหมดไปในอนาคต จากการคาดการณ์ดังกล่าว จึงทำให้มีนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยจำนวนมากที่พยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิล แหล่งพลังงานทดแทนต่างๆ เช่น พลังงานน้ำพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานชีวมวล เป็นต้น² สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สนใจพลังงานชีวมวล ทั้งนี้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้ในแต่ละปีมีวัสดุเหลือทิ้งจากกิจกรรมทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก ซึ่งหากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ดังนั้น การนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ประโยชน์เชิงพลังงานจะเป็นทั้งการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Utilization) และการจัดการวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Management) ได้อีกทางหนึ่งและ ชีวมวลที่ผู้วิจัยสนใจที่จะนำมาศึกษา คือ เปลือกทุเรียน ซึ่งทุเรียนจัดว่าเป็นผลไม้ที่สำคัญของประเทศไทย ที่ในช่วงฤดูการที่ทุเรียนออกผลผลิตนั้น จะมีเปลือกทุเรียนเหลือทิ้งออกมาเป็นจำนวนมาก ถึงแม้ว่าจะมีการนำเปลือกทุเรียนไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลาย เช่น ผลิตฟิล์มพลาสติกจากเปลือกทุเรียน³ ผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อน⁴ เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเทียบจำนวนที่ผลิตออกมา พบว่า สัดส่วนการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อยมาก จึงเป็นการต้ออย่างยิ่งในการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้ประโยชน์เชิงพลังงาน และในการใช้ประโยชน์ในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ การผลิตเป็นถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ⁵ ซึ่งมีกระบวนการผลิตและคุณสมบัติต่างๆ ที่แตกต่างกัน เพื่อประเมินรูปแบบที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์จากเปลือกทุเรียนในเชิงพลังงาน

วิธีการศึกษา

การเตรียมวัตถุดิบก่อนนำไปผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ

ถ่านชีวภาพ

นำเปลือกทุเรียนมาหั่นเป็นชิ้นตากแดดให้แห้งและนำไปเผาโดยใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร โดยใช้น้ำหนักของเปลือกทุเรียน 40 กิโลกรัม ต่อ 1 ถัง หลังจากได้ถ่านเปลือกทุเรียนจะนำถ่านที่ได้มาทำการบดให้ละเอียดและบรรจุอยู่ในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท

เชื้อเพลิงชีวภาพ

นำเปลือกทุเรียนที่หั่นเป็นชิ้นและตากแดดให้แห้งแล้วมาทำการบดให้ละเอียดและบรรจุในภาชนะที่แห้งและปิดสนิท

กากไขมัน

นำกากไขมันที่ได้จากช่องดักไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารมหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ตลาดน้อย) มาแยกเอาน้ำออกให้มากที่สุด ทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน จากนั้นนำกากไขมันที่ปนอยู่กับเศษอาหารมาร่อนในน้ำร้อน เพื่อให้กากไขมันละลายไปกับน้ำ และแยกออกจากเศษอาหาร จากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของน้ำร้อนเย็นลง จะเห็นเป็นคราบไขมันลอยอยู่เหนือผิวน้ำให้ทำการตักคราบไขมันเหล่านั้นขึ้นมาจากน้ำแล้วนำไปวางในกระเบรทราย เพื่อแยกเอาน้ำออกไป ก็จะได้กากไขมันที่ใช้เป็นตัวประสานในงานวิจัยนี้

การขึ้นรูปถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ และการศึกษาคูณสมบัติของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ

นำตัวประสานมาผสมกับถ่านเปลือกทุเรียนสำหรับการผลิตถ่านชีวภาพ และผสมกับเปลือกทุเรียนสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยถ่านเปลือกทุเรียนและ เปลือกทุเรียนที่ใช้จะผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนดใน Table 1 นำส่วนผสมที่ได้ไปเข้า เครื่องอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป สังเกตลักษณะการขึ้นรูปได้ของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ บันทึกผล จากนั้นนำถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัดได้บดเพื่อไล่ความชื้นในตู้อบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบคุณสมบัติ ทางกายภาพของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพซึ่งประกอบด้วย ค่าความหนาแน่น และค่าดัชนี การแตกร่วน นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมและนำถ่านชีวภาพและ เชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมาทำการทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วย ปริมาณความร้อน ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณความร้อน ตามวิธีการมาตรฐาน (ASTM 3173-3176 และ ASTM 3286) และประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนโดยการนำไปต้มน้ำ สังเกตลักษณะของการเผาไหม้ของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นกับน้ำตั้งแต่เริ่มมีการเผาไหม้จนกระทั่งถ่านชีวภาพที่นำมาทดสอบถูกเผาไหม้จนหมด⁶

Table 1 Treatment for Bio-coal and Green Fuel Production from Durian Peel (w:w)

Treatment	Durian Peel Coal: Oil Sludge	Durian Peel: Oil Sludge
1	1:1	1:1
2	2:1	2:1
3	3:1	3:1
4	4:1	4:1
5	-	5:1
6	-	6:1

ผลการศึกษา

การศึกษาความสามารถในการอัดขึ้นรูปของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากการศึกษาความสามารถในการขึ้นรูปของ ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพจากเปลือกทุเรียน โดยใช้กากไขมันเป็นตัวประสานด้วยวิธีการอัดเย็นโดยใช้เครื่องอัดแบบเกลียว ซึ่งจะได้ขนาดถ่าน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร และได้ทำการประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของอัตราส่วนต่างๆ ได้ผลดัง Table 2 และ

Table 2 Characteristics of Bio-coal from Durian Peel


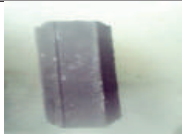


Characteristics	Durian Peel Coal: Oil Sludge (w:w)			
	1:1	2:1	3:1	4:1
Morphology				
Compressible	C	C	C	C
Formability	F	F	F	NF
Surface	S	S	S	R
Strong	St	St	St	W

Table 3 Characteristics of Green Fuel from Durian Peel



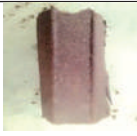



Characteristics	Durian Peel: Oil Sludge (w:w)					
	1:1	2:1	3:1	4:1	5:1	6:1
Morphology						
Compressibility	C	C	C	C	C	C
Formability	F	F	F	F	F	NF
Surface	S	S	S	S	S	R
Strong	St	St	St	St	St	W

Table 3 ซึ่งเกณฑ์การประเมินความสามารถในการขึ้นรูปของ ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพพิจารณาจาก⁷

1) ความสามารถในการอัดให้ส่วนผสมออกมาจากกระบอกอัด ถ้าส่วนผสมสามารถเคลื่อนตัวออกมาจากกระบอกอัดได้ถือว่าสามารถอัดได้ (Compressible ; C) และถ้าส่วนผสมไม่สามารถเคลื่อนตัวออกมาได้จะถือว่าไม่สามารถอัดได้ (Incompressible, NC)

2) ความสามารถในการขึ้นรูปของส่วนผสม หลังจากออกจากกระบอกอัดแล้ว หากส่วนผสมคงรูปทรงกระบอกได้ แสดงว่าขึ้นรูปได้ (Formable, F) แต่ถ้าออกจากกระบอกอัดทิ้งไว้สักครู่เกิดการแตกแยกออกจากกันจนไม่สามารถเป็นรูปทรงกระบอกได้แสดงว่าขึ้นรูปไม่ได้ (Non-formable, NF)

3) ผิวของส่วนผสมหลังจากที่อัดออกมา หากมีผิวสม่ำเสมอทั้งหมดทั้งถือว่าเป็นผิวเรียบ (Smooth, S) หากว่าผิวมีรอยขรุขระหรือมีรอยร้าวถือว่าเป็นผิวขรุขระ (Rough, R)

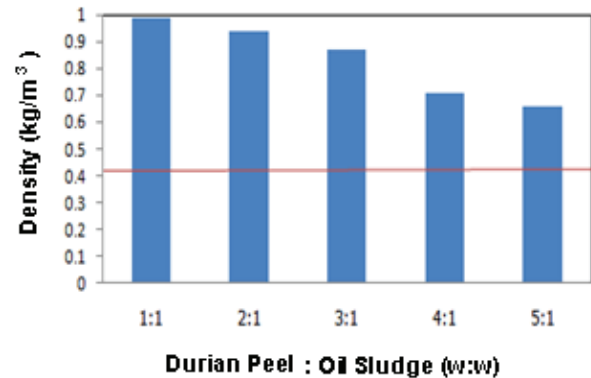
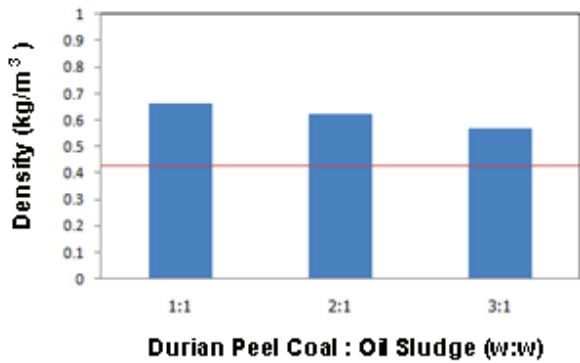
4) ความแข็งแรง หรือการแตกหักง่าย หากถ่านมีความแข็งแรงไม่เปราะแตกหัก แสดงว่าเชื้อเพลิงมีความแข็งแรง (Strong, St) ถ้ามีการแตกหักบางส่วนหรือเมื่อจับเกิดการเปราะแตกหัก แสดงว่าเชื้อเพลิง ไม่แข็งแรง (Weak, W)

จาก Table 2 และ Table 3 พบว่า ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพที่สามารถอัดขึ้นรูปได้ และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผิวเรียบและแข็งแรง คือ ถ่านชีวภาพที่อัตราส่วน 1:1-3:1 และเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วน 1:1-5:1 ซึ่งถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพที่อัตราส่วนดังกล่าวจะถูกนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ที่ประกอบด้วย ค่าความหนาแน่นและค่าดัชนีการแตกร่วนในการศึกษาต่อไป

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของ ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพจากเปลือกทุเรียน

การศึกษาค่าความหนาแน่น

จากการศึกษาค่าความหนาแน่นของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนถ่านเปลือกทุเรียน: กากไขมันเท่ากับ 1:1-3:1 และเชื้อเพลิงชีวภาพ ที่อัตราส่วนเปลือกทุเรียน: กากไขมันเท่ากับ 1:1-5:1พบว่าได้ผลดัง Figure 1



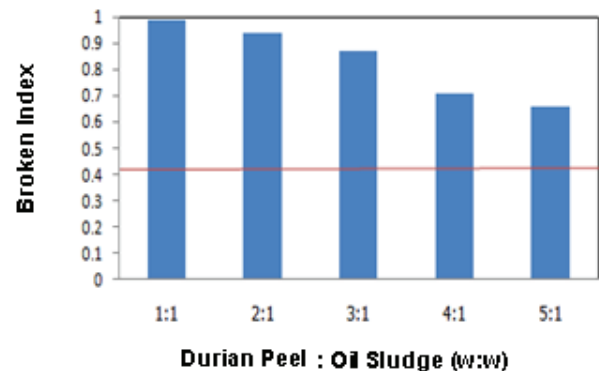
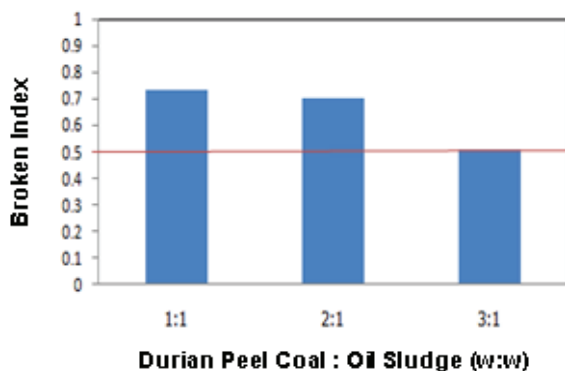
(a) (b)
Figure 1 Densities of Bio-coal and Green Fuel from Durian Peel (a) Bio-coal (b) Green Fuel

จาก Figure 1 พบว่า ค่าความหนาแน่นของ ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพจากเปลือกทุเรียนมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากถ่านเปลือกทุเรียนและเปลือกทุเรียนมีจำนวนมากขึ้นในขณะที่ปริมาณตัวประสานมีปริมาณเท่าเดิม ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะของตัวประสานน้อยลง เกิดช่องว่างภายในโครงสร้างของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้นจึงเป็นผลให้ค่าความหนาแน่นมีค่าลดลง และจากงานวิจัยของอัจฉรา (2554)⁷ ได้กล่าวไว้ว่าถ่านชีวภาพจะมีประสิทธิภาพดี นั้น ค่าความหนาแน่นของ ถ่านชีวภาพนั้น ควรที่จะอยู่ระหว่าง 0.42-0.74 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยถ้ามีน้อยกว่า 0.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ถ่านชีวภาพจะมีช่องว่างภายในที่มากเกินไป ส่งผลต่อความแข็งแรงของถ่านชีวภาพ ดังนั้น จะเห็นว่า ถ่านชีวภาพและ เชื้อเพลิงชีวภาพทุกอัตราส่วนใน

Figure 1 มีค่าความหนาแน่นมากกว่า 0.42 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่กล่าวไว้ในงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านชีวภาพ

การศึกษาดัชนีการแตกร่วนของถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนถ่านเปลือกทุเรียน: กากไขมันเท่ากับ 1:1-3:1 และเชื้อเพลิงชีวภาพ จากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนเปลือกทุเรียน: กากไขมันเท่ากับ 1:1-5:1 ได้ผลการศึกษาดัง Figure 2 ซึ่งการที่ดัชนีการแตกร่วนของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพมีแนวโน้มที่ลดลง อาจเป็นผลมาจากการที่อัตราส่วนของถ่านเปลือกทุเรียนและเปลือกทุเรียนที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ตัวประสานคงที่ ทำให้แรงยึดเหนี่ยวของตัวประสานน้อยลง ทำให้ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตได้ มีความเปราะมากขึ้น ไม่แข็งแรง แตกหักง่าย



(a) (b)
Figure 2 Broken Indexes of Bio-coal and Green Fuel from Durian Peel (a) Bio-coal (b) Green Fuel

จากการศึกษางานวิจัยของประทีป (2538)⁹ พบว่า เชื้อเพลิงที่มีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งานควรมีค่าดัชนีการแตก่วนอยู่ระหว่าง 0.5-1.0 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาพบว่า ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวที่ทำการศึกษาทุกอัตราส่วนมีค่าดัชนีการแตก่วนอยู่ระหว่าง 0.5 -1.0 จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน จากผลการศึกษาข้างต้น เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวพบว่า ถ่านชีวภาพที่อัตราส่วน 3:1 และเชื้อเพลิงเขียวที่อัตราส่วน 5:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงประเภทเดียวกัน อัตราส่วนที่เลือกนั้นมีคุณสมบัติสอดคล้องกับคุณสมบัติเชื้อเพลิงที่เหมาะสม อีกทั้ง

มีองค์ประกอบหลัก คือ ถ่านเปลือกทุเรียน และเปลือกทุเรียนที่เป็นแหล่งที่ให้ความร้อนและเป็นวัตถุดิบที่ต้องการจัดการเป็นปริมาณมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น สำหรับการศึกษาขั้นต่อไปถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวที่ผลิตได้จากอัตราส่วนที่เหมาะสมจะ ถูกนำไปทำการทดสอบคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิง

การศึกษาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน

ในการศึกษาคุณสมบัติด้านการเป็นเชื้อเพลิงถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียนในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้ผลดัง Table 4

Table 4 Fuel Characteristics of Bio-coal and Green Fuel from Durian Peel

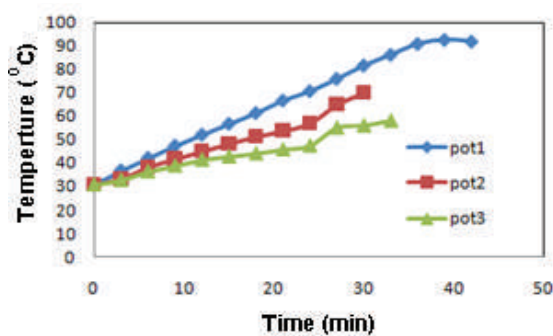
Fuel / Characteristics	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)	Fixed Carbon (%)	Heating Energy (kJ/kg)
Bio-coal (3:1)	4.31	14.95	11.69	69.05	25,996
Green Fuel (5:1)	5.98	16.61	21.36	56.05	21,655
Community Standard of Fuel Briquet ¹⁰	≤ 8	≤ 10	≤ 25	≥ 70	≥ 21,000

จากผลการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านการเป็นเชื้อเพลิงของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียนพบว่า มีความชื้น ปริมาณสารระเหย และค่าความร้อนผ่านเกณฑ์มาตรฐานชุมชนถ่านอัดแท่ง แสดงให้เห็นว่า ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวสามารถให้ความร้อนได้ดี คงรูปได้นาน และก่อให้เกิดผลกระทบต่อมลพิษทางอากาศไม่มากนัก อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวมีปริมาณเถ้าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ทำให้อาจเกิดปัญหาในแง่ของเถ้าที่มีเป็นจำนวนมากจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดที่ถูกวิธี เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ การที่ถ่านชีวภาพมีค่าคาร์บอนคงตัวสูงกว่า

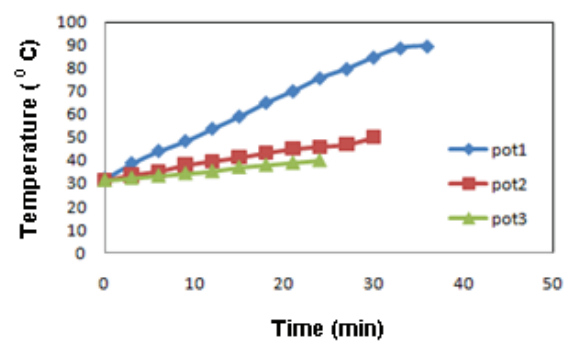
และค่าความชื้น ปริมาณเถ้า และสารระเหยต่ำกว่าเชื้อเพลิงเขียวนั้นเป็นผลมาจากวัตถุดิบที่ใช้ เนื่องจากถ่านชีวภาพเป็นการนำถ่านเปลือกทุเรียนซึ่งเป็นวัสดุ ที่ผ่านการเผาให้เป็นถ่านมาใช้เป็นวัตถุดิบ ในขณะที่เชื้อเพลิงเขียวเป็นการใช้เปลือกทุเรียนทำให้มีความชื้นมากกว่า และเมื่อนำไปเผาจึงยังคงมีส่วนของสารที่จะเปลี่ยนรูปเป็นเถ้าและสารระเหยมากกว่า ถ่านชีวภาพ

ผลการศึกษาการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของความร้อนของถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน

จากผลการทดสอบการต้มน้ำโดยใช้ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน พบว่าได้ผลแสดงดัง Figure 3 and Table 5



(a)



(b)

Figure 3 Heat efficiencies of Bio-coal and Green Fuel from Durian Peel (a) Bio-coal (b) Green Fuel

Table 5 Heat efficiencies of Bio-coal and Green Fuel from Durian Peel

Fuel	Average heat efficiency (%)
Bio-coal (3:1)	20.14
Green Fuel (5:1)	16.94

จากผลการศึกษา Figure 3 จะพบว่า เมื่อนำ ถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียนไปเผาไหม้ให้ความร้อนกับน้ำ ถ่านชีวภาพจะให้ความร้อนกับน้ำได้มากกว่าเชื้อเพลิงเขียว สังเกตจากอุณหภูมิของน้ำทุกหม้อ (pot) ที่มีแนวโน้มที่สูงกว่า เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเขียว อีกทั้งยังระยะเวลาการให้ความร้อนที่ยาวนานกว่า สอดคล้องกับค่าประสิทธิภาพการใช้งานความร้อนซึ่งเป็นร้อยละของความร้อนที่ถูกปลดปล่อยออกเมื่อถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวถูกเผาไหม้ที่ถ่านชีวภาพมีค่าสูงกว่าเชื้อเพลิงเขียว ดังแสดงใน Table 5 นอกจากนี้ จากการสังเกตการเผาไหม้พบว่า การเผาไหม้ถ่านชีวภาพจะทำให้เกิดควันได้น้อยกว่าเชื้อเพลิงเขียว สอดคล้องกับปริมาณของสารระเหยที่ได้กล่าวถึงใน Table 4 ดังนั้น หากพิจารณาในส่วนของคุณภาพการนำมาใช้งานและมลพิษทางอากาศที่จะเกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานพบว่า ถ่านชีวภาพมีความเหมาะสมมากกว่า อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ได้ข้อมูลในการเปรียบเทียบที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาราคาพลังงานของเชื้อเพลิงทั้ง 2 รูปแบบ โดยผู้วิจัยได้มีการพิจารณาค่าต้นทุนในการผลิตถ่านชีวภาพและเชื้อเพลิงเขียวจากเปลือกทุเรียน เฉพาะในส่วนของการตัดกิ่ง รางงาน และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต⁶ พบว่า ถ่านชีวภาพมีราคาพลังงานเท่ากับ 0.31 บาทต่อเมกะจูล ในขณะที่เชื้อเพลิงเขียวมีราคาพลังงานเท่ากับ 1.13 บาทต่อเมกะจูล ซึ่งหากนำมาเปรียบเทียบกับถ่านไม้ที่ขายอยู่ตามท้องตลาดที่มีราคาประมาณกิโลกรัมละ 20 บาท และมีค่าความร้อน (ถ่านไม้ยางพารา) อยู่ที่ 7,650 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม¹¹ คิดเป็นราคาพลังงานได้เท่ากับ 0.62 บาทต่อเมกะจูล พบว่า มีราคาพลังงานที่ต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน และราคาพลังงาน พบว่า ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียน ที่อัตราส่วนถ่านเปลือกทุเรียนต่อกากไขมันเท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนักจัดว่าเป็น เชื้อเพลิงที่มีศักยภาพ สามารถนำมาใช้ทดแทนถ่านไม้ได้

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า รูปแบบเชื้อเพลิงจากเปลือกทุเรียนที่เหมาะสม คือ ถ่านชีวภาพจากเปลือกทุเรียนที่อัตราส่วนเท่ากับ 3:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งถ่านชีวภาพที่ผลิตได้

อัตราส่วนดังกล่าว มีความแข็งแรง สามารถให้ความร้อนสูงและยาวนาน โดยมีความร้อนสูงถึง 25,996 กิโลจูลต่อกิโลกรัม และประสิทธิภาพการใช้งานความร้อน ร้อยละ 20.14 และเมื่อคำนวณราคาพลังงานพบว่า มีราคาพลังงานเท่ากับ 0.31 บาทต่อเมกะจูล จัดว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีศักยภาพ นอกจากนี้ การใช้เปลือกทุเรียนมาผลิตถ่านชีวภาพนี้ นอกจากจะทำให้เกิดใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้ง (Waste Utilization) แล้ว ยังเป็นการจัดการวัสดุ เหลือทิ้ง (Waste Management) จัดเป็นแนวทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่น่าสนใจอีกแนวทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย 2561. 364 หน้า.
2. มณฑาสินี หอมหวาน. พลังงานทดแทน พลังงานทางเลือกใหม่สำหรับอนาคต. ได้จาก: URL:http://www.bu.ac.th/knowledgecenter/execute_journal/jan_mar_12/pdf/aw014.pdf [31 สิงหาคม 2562]
3. เทคโนโลยีชาวบ้านออนไลน์. เปลือกทุเรียนมีค่า อย่าทิ้ง เปลี่ยนโฉมใหม่เป็น “พลาสติกชีวภาพ” สร้างรายได้มหาศาล. ได้จาก: URL: https://www.technologychoban.com/agricultural-technology/article_60898 [31 สิงหาคม 2562]
4. ชิตชนนตรี บุญเฉลียว และ สุรชาติพิทย์ จันศิริ. การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนจากเปลือกทุเรียน โดยใช้วัสดุเหลือใช้เป็นตัวประสาน. [ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต]. มหาสารคาม: สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ; 2559.
5. นภัทร ตั้งมันคงวรกุล. การผลิตแท่งเชื้อเพลิงจากวัสดุเหลือใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษและครีวรีออน. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) 2557 ; 6(11): 66-77.
6. สายบัว วงษ์แสง และกิตติชัย มีทอง. การผลิต ถ่านชีวภาพจากเหง้ามันสำปะหลัง. [ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต]. มหาสารคาม: สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ; 2554.
7. อัจฉรา อัครจุฑกุลชัย. การนำเปลือกทุเรียนและ ใช้ในรูปแบบเชื้อเพลิง [ปริญาการศึกษามหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ; 2554.

8. ญัฐ เจียมเรืองจรัส และธิดารัตน์ พิลาภ. การผลิตถ่านชีวภาพจากต้นฝ้าย. [ปัญหาพิเศษสาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม]. มหาสารคาม: คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ; 2546. 98 น.
9. ประทีป ปิ่นท้วม. การศึกษาการนำซีลีเยอที่เหลือหลังจากการเพาะเห็ดมาใช้ในการแปรรูปเชื้อเพลิงอัดแท่ง. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล ; 2538. 75 น.
10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547). ได้จาก: URL: http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps238_47.pdf [31 สิงหาคม 2562].
11. THAI SUMI CO., LTD. การวิเคราะห์ค่าความร้อนค่าคงตัวของถ่าน ค่าของสารระเหย ค่ากำมะถันของวัสดุต่างๆ . ได้จาก: URL: <https://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/hot.php> [10 May, 2020].

การพัฒนาตำรับเอสเซนส์ที่มีสารต้านออกซิเดชันจากสารสกัดเห็ดนางรมดำ

Development of antioxidant essence formulation from Kummer (*Pleurotus ostreatus* (Fr.)) extract

ลภัสรดา มุ่งหมาย¹, มธุกร สายนาคำ¹, ชรรมนุญ รุ่งสังข์¹, วีรยา ปรีดาลิขิต^{1*}
Lapatrada Mungmai¹, Mathukorn Sainakham¹, Tammanoon Rungsang¹, Weeraya Preedalikit^{1*}

Received: 18 October 2019 ; Revised: 29 February 2020 ; Accepted: 7 May 2020

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตำรับเอสเซนส์โดยใช้สารสกัดจากเห็ด โดยคัดเลือกสารสกัดจากเห็ด 3 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ ที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี ซึ่งเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ ถูกนำมาสกัดและวิเคราะห์ปริมาณสารพอลิแซ็กคาไรด์รวม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีฟีนอล-กรดซัลฟูริก, Folin-Ciocalteu และ ดีพีพีเอช ตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าสารสกัดเห็ดนางรมดำมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมเท่ากับ 90.01 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และสารประกอบฟีนอลิกรวม เท่ากับ 1.107 ± 0.05 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดเห็ด ในขณะที่เห็ดหูหนูดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดีที่สุด ($p < 0.05$) โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 159.55 ± 0.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาคือสารสกัดเห็ดนางรมดำและเห็ดนางฟ้า เท่ากับ 224.85 ± 1.45 และ 528.44 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งมีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังนั้นสารสกัดเห็ดนางรมดำซึ่งมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม และมีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีได้ถูกคัดเลือกมาพัฒนาเป็นตำรับเอสเซนส์ หลังผ่านการทดสอบความคงตัวเป็นเวลา 1 เดือน พบว่าตำรับที่มีสารสกัดเห็ดนางรมดำปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) มีความคงตัวที่ดี ดังนั้นเอสเซนส์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากเห็ดนางรมดำจึงมีศักยภาพสำหรับการพัฒนาเพื่อใช้เป็นเครื่องสำอางสำหรับบำรุงผิวได้ต่อไป

คำสำคัญ: เห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมดำ พอลิแซ็กคาไรด์ ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เอสเซนส์

Abstract

In this study, extracts of *Auricularia auricular-judae* (Bull.), *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing. and *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer were thoroughly screened for further development of natural essences. Extracts were assayed for total polysaccharide content, total phenolic content, and antioxidant activity by the phenol-sulfuric acid method, Folin-Ciocalteu method, and DPPH assay, respectively. *P. ostreatus* extract had total polysaccharide and total phenolic content of $90.01 \pm 0.26\%$ and 1.107 ± 0.05 mg GAE/g, respectively, while *A. auricular-judae* extract demonstrated the highest free radical scavenging activity with an IC_{50} value of 159.55 ± 0.47 μ g/ml. The antioxidant capacities of *P. ostreatus*, and *P. sajor-caju* extract were also determined as 224.85 ± 1.45 , and 528.44 ± 0.10 μ g/ml ($p < 0.05$), respectively. Consequently, *P. ostreatus* extract showing appropriate total polysaccharide content and bioactivities, was selected to formulate the essence. After a 1-month period of stability test, it was found that the essence containing 3% (w/w) *P. ostreatus* extract was highly stable. Therefore, this formulation has a potential for further development as a cosmetic skin care product.

Keywords: *Auricularia auricular-judae* (Bull.), *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) Sing., *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kummer, Polysaccharide, Anti-oxidation, Essence

¹ อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เครื่องสำอาง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา 56000

¹ Lecturer, Division of Cosmetic Science, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand

* Corresponding author at: Weeraya Preedalikit, Division of Cosmetic Science, School of Pharmaceutical Sciences, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand, E-mail: weeraya.pr@up.ac.th

บทนำ

ในชีวิตประจำวันผิวหนังต้องเผชิญกับมลภาวะในอากาศ อาทิ เช่น แสงแดด ความร้อน ฝุ่นละออง และสารเคมี ซึ่งเป็นปัจจัยกระตุ้นการเกิดอนุมูลอิสระส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของชั้นผิวหนัง ทำให้ผิวหนังเกิดการแก่และขาดความยืดหยุ่น¹ นอกจากนี้ผิวหนังที่ขาดความชุ่มชื้นยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแก่ของผิวหนังได้เช่นกัน² ดังนั้นการใช้สารต้านอนุมูลอิสระเพื่อชะลอการเกิดริ้วรอยและการใช้พอลิเมอร์ที่ชอบน้ำและมีมวลโมเลกุลสูงจะกระจายตัวเป็นฟิล์มอยู่บนผิวหนัง ช่วยเก็บกักน้ำ ลดการสูญเสียน้ำจากผิว จึงมีส่วนช่วยในการชะลอการเกิดริ้วรอย ซึ่งปัจจุบันการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพในการต้านอนุมูลอิสระและมีประสิทธิภาพในการบำรุงผิว จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากมีความปลอดภัยมากกว่าการใช้สารเคมีสังเคราะห์และไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง

เห็ดเป็นหนึ่งในพืชที่มีประโยชน์ ได้รับความนิยมนในการบริโภค มีหลากหลายสายพันธุ์ สามารถเพาะพันธุ์ได้ง่ายและออกฤทธิ์ทางชีวภาพหลากหลาย จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า สารสกัดจากเห็ดมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เป็นประโยชน์กับผิวหนังที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ เลซิทีน พอลิแซ็กคาไรด์ สารประกอบฟีนอลิก เทอร์ปีโนอยด์ เป็นต้น³ และจากการศึกษาคุณสมบัติของการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระในเห็ดชนิดต่างๆ พบว่าเห็ดมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์และสารประกอบฟีนอลิก⁴

เห็ดหูหนูดำ (*A. auricular-judae*) เห็ดนางฟ้า (*P. sajor-caju*) และเห็ดนางรมดำ (*P. ostreatus*) เป็นเห็ดพื้นบ้านของไทยที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้บริโภค มีประโยชน์พร้อมทั้งมีสรรพคุณทางยาอันหลากหลาย โดยเห็ดนางฟ้ามีฤทธิ์ฆ่าพยาธิ⁵ ลดระดับน้ำตาลในเลือด⁶ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ⁷ เห็ดนางรมดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ และกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน⁸ ส่วนเห็ดหูหนูดำสามารถลดการสะสมไขมันที่ตับ มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ⁹ และมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้¹⁰ นอกจากนี้เห็ดสามารถผลิตพอลิแซ็กคาไรด์ธรรมชาติออกมาภายนอกเซลล์เพื่อเป็นกลไกในการป้องกันตนเอง และเพื่อให้สามารถยึดติดกับพื้นผิวใดๆ ได้ดี ดังนั้นโครงสร้างของเห็ดโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ชั้นนอกสุดหรือผนังเซลล์ประกอบด้วยสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่อยู่ในรูปของกอลลูแคน นอกจากนี้กอลลูแคนเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นเมือก และพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ เช่น ไกลโคเจน ไฮแลน และเฮลลูโลส ที่มีคุณสมบัติในการดูดน้ำเข้าหาตัวสามารถคงความชุ่มชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลาานาน¹¹ ซึ่งปัจจุบันยังไม่นิยมนำเห็ดพื้นบ้านของไทยหรือ

พอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ดมาใช้ประโยชน์ทางเครื่องสำอางมากนัก

การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พอลิเมอร์สังเคราะห์ พอลิเมอร์กึ่งสังเคราะห์ และ พอลิเมอร์จากธรรมชาติ ปัจจุบันมีพอลิเมอร์สังเคราะห์และกึ่งสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นมาเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับพอลิเมอร์จากธรรมชาติ จะมีกำลังการผลิตที่น้อยกว่าและมูลค่าสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิเมอร์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีด้วยนั้นจะมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น โดยพอลิเมอร์จากธรรมชาติกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์เป็นกลุ่มที่มีการใช้มากทางเครื่องสำอาง เนื่องจากหาง่ายและมีคุณสมบัติหลากหลาย มีความเข้ากันได้กับสารอื่นในตำรับ มีความปลอดภัย สารกลุ่มนี้มีหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด และใช้เป็นสารก่อเจล มีประสิทธิภาพเป็นสารเพิ่มความชุ่มชื้นประเภท humectant ให้กับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางได้¹²

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์เอสเซนส์บำรุงผิวหน้าที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากเห็ดเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังและสามารถต้านอนุมูลอิสระที่เป็นสาเหตุของริ้วรอย ซึ่งเป็นการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติทดแทนวัตถุดิบสังเคราะห์ที่มีราคาสูง โดยศึกษาเปรียบเทียบปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ด 3 ชนิด คือ เห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ จากนั้นคัดเลือกเห็ดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดีเพื่อตั้งตำรับผลิตภัณฑ์เอสเซนส์บำรุงผิวหน้าที่มีส่วนผสมของสารสกัดเห็ดและทดสอบความคงตัวของตำรับเครื่องสำอาง

วิธีการวิจัย

พืชที่นำมาทำการวิจัยนี้ได้แก่ ส่วนของดอก (fruiting bodies) เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมดำ และเห็ดหูหนูดำ ที่ได้จากโรงเพาะเห็ดในจังหวัดพะเยา เก็บเกี่ยวผลผลิตในเดือนมกราคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเห็ดที่ใช้ในการทดลองเก็บเกี่ยวในช่วงสัปดาห์ที่ 3 หลังจากถ่ายเชื้อเห็ดลงในก้อนเชื้อและทำการวินิจฉัยสปอร์สีของเห็ดทั้ง 3 ชนิดโดยการเทียบเคียงข้อมูลทางสัณฐานวิทยาจากรายงานการวิจัยในประเทศไทย

1. วิธีการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์

เตรียมเห็ด (เห็ดหูหนูดำ, เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ) ล้างทำความสะอาดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และสกัดด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนเห็ดต่อน้ำกลั่น คือ 1:25 1:30 และ 1:35 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยต้มน้ำกลั่นให้มีอุณหภูมิ 80 ± 5 องศาเซลเซียส ใส่เห็ดลงไปต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกกากออก นำมาตกตะกอนด้วย 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล และปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เก็บสารละลายส่วนใส

ไประเหยเอทานอลด้วย rotary evaporator (รุ่น Rotavapor 215 บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) จากนั้นทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (รุ่น Eyla-Freeze Dryer FDU-2110 บริษัท Buchi ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) จะได้สารสกัดหยาบ จากนั้นคำนวณร้อยละผลผลิตที่ได้และคัดเลือกเห็ดชนิดที่มีร้อยละผลผลิตมากที่สุดไปทำการทดสอบหาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระต่อไป

2. การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมด้วยวิธีมาตรฐาน ฟีนอล-กรดซัลฟูริก (Phenolic-sulfuric acid)¹³

สารละลายตัวอย่างความเข้มข้นต่างๆ ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลายกรดซัลฟูริก เข้มข้น ปริมาตร 150 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลายฟีนอลที่ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 30 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 5 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (รุ่น Synergy H1 บริษัท Biotek ประเทศสหรัฐอเมริกา) หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์โดยเปรียบเทียบกับกราฟสารละลายมาตรฐานกลูโคสในช่วงความเข้มข้น 50 - 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content)

ปีเปตสาร Folin-Ciocalteu ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงในสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 20 ไมโครลิตร และเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้น 75 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 80 ไมโครลิตร ตามลำดับ เขย่าให้เข้ากัน ตั้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 30 นาที ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (รุ่น Synergy H1 บริษัท Biotek ประเทศสหรัฐอเมริกา) คำนวณหาปริมาณฟีนอลิกรวม โดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก และแสดงผลเป็นปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่พบในสารสกัดหยาบ (mg gallic acid equivalents (GAE)/g)

4. วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีดีพีพีเอช (DPPH)

เตรียมสารละลายตัวอย่าง ความเข้มข้น 0.1 - 10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย ปริมาตร 100

ไมโครลิตร มาผสมกับสารละลาย ดีพีพีเอชในเอทานอล ที่ความเข้มข้น 0.06 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง microplate reader (รุ่น Synergy H1 บริษัท Biotek ประเทศสหรัฐอเมริกา) และใช้ Trolox เป็นสารละลายมาตรฐาน จากนั้นคำนวณ % radical scavenging และคำนวณหาค่า IC₅₀ จากผลการทดลองที่ได้ โดยคำนวณหา % radical scavenging จากสมการ % radical scavenging = $[1 - ((A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / A_{\text{control}})] \times 100 \%$

เมื่อ

A_{sample} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่างที่ใส่

A_{blank} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารตัวอย่าง และ

A_{control} คือ ค่าการดูดกลืนแสงของกลุ่มควบคุมที่ใส่เพียงดีพีพีเอช

5. การตั้งตำรับเอสเซนส์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดเห็ด

เลือกสารสกัดเห็ดที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่เหมาะสมมาตั้งตำรับเอสเซนส์ ส่วนประกอบในตำรับ ดังแสดงใน Table 1 เตรียมตำรับโดยค่อยๆ โพรย acrylamide ลงในปีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่น ปั่นผสมจนกระทั่ง acrylamide ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นเติม PEG - 12 dimethicone, butylene glycol, glycerin และสารกันเสีย (caprylhydroxamic acid (and) 1,2-hexanediol (and) butylene glycol) ตามลำดับ และเตรียมสารสกัดเห็ดที่ละลายด้วยน้ำกลั่นไปปั่นผสมด้วย homogenizer (รุ่น T 25 digital ULTRA-TURRAX บริษัท IKA ประเทศ เยอรมนี) จนกระทั่งตำรับเป็นเนื้อเดียวกัน

6. การทดสอบสมบัติทางเคมีกายภาพของตำรับเอสเซนส์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดเห็ดนางรมดำ

ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของตำรับเอสเซนส์ ทั้งก่อนและหลังการทดสอบความคงตัว โดยแบ่งตัวอย่างผลิตภัณฑ์บรรจุในขวดแก้วขนาด 10 มิลลิลิตร ที่ปิดด้วยฝาโลหะ แล้วจึงนำไปทดสอบความคงตัวแบบเร่งอุณหภูมิร้อน สลับกับเย็น (heating-cooling) จำนวน 6 รอบ โดยเก็บที่อุณหภูมิ 45 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง สลับกับ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับเป็น 1 รอบ และที่อุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส, 45 ± 2 องศาเซลเซียส และ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน และประเมินลักษณะทางเคมีกายภาพของตำรับ เอสเซนส์ โดยสังเกตสีของเนื้อผลิตภัณฑ์ วัดความหนืดของผลิตภัณฑ์โดยใช้เครื่องวัดความหนืดชนิด cone และ plate (รุ่น RDVD2+Pro

บริษัท Brookfield ประเทศสหรัฐอเมริกา) และวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ pH meter (รุ่น pH-S20K บริษัท Mettler Toledo ประเทศสหรัฐอเมริกา)

7. การแสดงผลและสถิติที่ใช้

นำข้อมูลร้อยละผลผลิต ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม สารประกอบฟีนอลิกรวม และฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำมาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (One-way ANOVA) และทดสอบหลังการวิเคราะห์ (Post hoc test) โดยใช้วิธี Tukey's HSD post hoc test และทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ด้วยโปรแกรม SPSS Statistics V26 การวิเคราะห์ทำซ้ำ 3 ครั้ง แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

1. ผลการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์จากเห็ด

จากการทดลองสกัดเห็ดสดทั้ง 3 ชนิด คือเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ อัตราส่วนของเห็ดต่อน้ำกลั่น เท่ากับ 1:35 พบว่ามีร้อยละผลผลิตมากกว่าที่อัตราส่วน 1:25 และ 1:30 ตามลำดับ โดยที่อัตราส่วน 1:35 สารสกัดเห็ดนางฟ้า มีร้อยละผลผลิตมากที่สุดเท่ากับ 28.20 ± 0.36 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) รองลงมาคือเห็ดนางรมดำเท่ากับ 22.20 ± 0.47 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และเห็ดหูหนูดำ เท่ากับ 9.28 ± 0.52 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่ง

มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังแสดงใน Table 2

2. การวิเคราะห์หาปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวม

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมในสารสกัดเห็ดจากเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ ด้วยวิธีมาตรฐานฟีนอล-กรดซัลฟิวริก โดยใช้กลูโคสเป็นสารมาตรฐาน เป็นวิธีการที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตได้ทั้งน้ำตาลรีดิวซ์หรือน้ำตาลในธรรมชาติทั้งมอนอแซ็กคาไรด์ ไดแซ็กคาไรด์ โอลิโกแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์ สารประกอบคาร์โบไฮเดรตจำพวกโอลิโกแซ็กคาไรด์และพอลิแซ็กคาไรด์ จะทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก โดยถูกสลายพันธะไกลโคซิดิกด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิสูงและแตกออกมาเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งทำปฏิกิริยาต่อเป็นอนุพันธ์รวมตัวกับสารฟีนอล ได้เป็นอนุพันธ์ของเอสเทอร์ หรือ ไตรเออร์ลมีเทนซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนสีส้มอมน้ำตาล^{14, 15}

จากการทดลองพบว่าสารสกัดเห็ดนางรมดำที่อัตราส่วนเห็ด 1 กรัม ต่อน้ำกลั่น 35 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 90.01 ± 0.26 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) มีค่าสูงใกล้เคียงกับเห็ดนางฟ้าเท่ากับ 89.66 ± 0.95 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) และเห็ดหูหนูดำมีค่าน้อยที่สุด (p<0.05) มีค่าเท่ากับ 35.06 ± 0.21 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายมาตรฐานกลูโคสดังแสดงใน Table 2

Table 1 Ingredients of Essence recipes that contain form Kummer (*Pleurotus osttreatus* (Fr.)) extract.

Ingredient	Recipe 1 %w/w	Recipe 2 %w/w
mushroom extract	3	5
acrylamide	2	2
PEG-12 dimethicone	2	2
butylene glycol	2.5	2.5
glycerin	2.5	2.5
caprylhydroxamic acid (and) 1,2-hexanediol (and) butylene glycol	1	1
distilled water	q.s. to 100	q.s. to 100

3. การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิก ด้วยวิธี Folin-Cioaltea เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก จากการทดลองพบว่า ที่ความเข้มข้นของสารตัวอย่างเท่ากับ 250 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร สารสกัดจากเห็ดนางรมดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม เท่ากับ 1.107 ± 0.05 มิลลิกรัมของกรดแกลลิก

ต่อกรัมของสารสกัดเห็ด โดยสารสกัดจากเห็ดหูหนูดำ และเห็ดนางฟ้า มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมใกล้เคียงกัน คือ 0.636 ± 0.10 และ 0.502 ± 0.02 มิลลิกรัมของกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัดเห็ด ตามลำดับ พบว่าปริมาณฟีนอลิกรวมของเห็ดทั้ง 3 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ดังแสดงใน Table 2

4. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ดีพีพีเอช (DPPH)

จากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในหลอดทดลอง พบว่า สารมาตรฐาน Trolox มีค่าความเข้มข้นของสารที่

สามารถทำให้ความเข้มข้นของดีพีพีเอช ลดลงร้อยละ 50 (IC₅₀) เท่ากับ 7.256 ± 0.548 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และจากการทดลองพบว่าค่า IC₅₀ ของสารสกัดจากเห็ดทั้ง 3 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

Table 2 ร้อยละผลผลิตของสารสกัดหยาบจากเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ และผลการทดสอบปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวม ปริมาณฟีนอลิกรวม และค่า IC₅₀ ในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า เห็ดนางรมดำ ในอัตราส่วนของเห็ดต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:35 และสารมาตรฐาน Trolox

Sample Substance	Product Percentage (%w/w)			Total Polysaccharide (%w/w)	Total phenolic compounds (mgGAE/g)	DPPH assay IC ₅₀ (µg/ml)
	ratio 1:25	ratio 1:30	ratio 1:35			
Auricularia auricular-judae (Bull.)	0.95 ± 0.11*	1.12 ± 0.91*	9.28 ± 0.52*	35.06 ± 0.21*	0.636 ± 0.10	159.55 ± 0.47*
Pleurotus sajor-caju (Fr.) Sing.	3.28 ± 0.85*	13.71 ± 1.23*	28.20 ± 0.36*	89.66 ± 0.95	0.502 ± 0.02	528.44 ± 0.10*
Kummer (<i>Pleurotus osttreatus</i> (Fr.))	2.1 ± 0.53*	11.95 ± 0.72*	22.20 ± 0.47*	90.01 ± 0.26	1.107 ± 0.05	224.85 ± 1.45*
Trolox	-	-	-	-	-	7.256 ± 0.548*

โดยเห็ดหูหนูดำมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด มีค่า IC₅₀ เท่ากับ 159.55 ± 0.47 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เห็ดนางรมดำและเห็ดนางฟ้าเท่ากับ 224.85 ± 1.45 และ 528.44 ± 0.10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2

5. การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของ ตำรับเอสเซนส์ผสมสารสกัดเห็ดนางรมดำ

จากการคัดเลือกสารสกัดโดยพิจารณาจากปริมาณสารสำคัญและฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าสารสกัดเห็ดนางรมดำ ถูกคัดเลือกเพื่อนำมาตั้งตำรับเอสเซนส์ในปริมาณเท่ากับ 3

และ 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) (ตำรับ 1 และ ตำรับ 2 ตามลำดับ) จากการเตรียมตำรับพบว่า ตำรับ 1 ลักษณะเนื้อเอสเซนส์เป็นสีเหลืองใส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.24 ± 0.01 มีค่าความหนืด เท่ากับ 16.50 ± 0.17 cP หลังจากผ่านการทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 25, 45, และ 4 องศาเซลเซียส สีของผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นสีเหลืองใส มีความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) เท่ากับ 17.56 ± 0.64, 15.03 ± 6.41 และ 17.71 ± 0.17 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p>0.05) ในระยะเวลา 1 เดือน และตำรับ 2 ลักษณะเนื้อเอสเซนส์เป็นสีเหลืองใส มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.27 ± 0.01 มีค่าความหนืด เท่ากับ 17.90 ± 0.35 cP

Table 3 ผลการทดสอบความคงตัวของเคมีกายภาพของเอสเซนส์ที่มีส่วนผสมของสารสกัดเห็ดโดยเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ ($4 \pm 2^\circ\text{C}$) อุณหภูมิห้อง ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) อุณหภูมิสูง ($45 \pm 2^\circ\text{C}$) และ อุณหภูมิร้อนสลับเย็น (heating-cooling cycling: H/C)

Recipe	State	Physical chemistry	Time period		
			start	1 month	6 tests
1	4±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	16.50± 0.17	17.71±0.17	-
		pH	5.24±0.01	5.88±0.06	-
	25±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	16.50±0.17	17.56±0.64	-
		pH	5.24±0.01	5.82±0.04	-
	45±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	16.50±0.17	15.03±6.41	-
		pH	5.24±0.01	5.82±0.02	-
	H/C	Color	Transparent yellow	-	Transparent yellow
		Viscosity (cP)	16.50±0.17	-	25.23±7.94*
		pH	5.24±0.01	-	6.22±0.14*
2	4±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	17.90±0.35	28.23±8.03*	-
		pH	5.27±0.01	5.14±0.02	-
	25±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	17.90±0.35	38.07±2.32*	-
		pH	5.27±0.01	5.65±0.02	-
	45±2 °C	Color	Transparent yellow	Transparent yellow	-
		Viscosity (cP)	17.90±0.35	41.13±24.48*	-
		pH	5.27±0.01	6.95±0.04	-
	H/C	Color	Transparent yellow	-	Transparent yellow
		Viscosity (cP)	17.90±0.35	-	36.83±15.80*
		pH	5.27±0.01	-	7.15±0.02*

หลังจากผ่านการทดสอบความคงตัวของอุณหภูมิ 25, 45, และ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แต่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) และผลการทดสอบทดสอบความคงตัวของแบบเร่งอุณหภูมิร้อนสลับกับเย็น พบว่า หลังการทดสอบจำนวน 6 รอบ ตำรับ 1 และ 2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสีผลิตภัณฑ์ แต่ค่าความหนืดและความเป็นกรด-ด่างที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ทั้งสองตำรับ ดังแสดงใน Table 3

วิจารณ์และสรุปผล

จากการสกัดพอลิแซ็กคาไรด์ของสารสกัดเห็ดหูหนูดำ เห็ดนางฟ้า และเห็ดนางรมดำ ความเข้มข้น 250 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตร ด้วยน้ำร้อนที่อัตราส่วนของเห็ดต่อน้ำกลั่นเท่ากับ

1:35 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนของน้ำที่ใช้สกัดส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของร้อยละผลผลิตสารสกัดเห็ดทั้ง 3 ชนิด

ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมของสารสกัดเห็ดนางรมดำและเห็ดนางฟ้าสูงกว่าเห็ดหูหนูดำตามลำดับ โดยปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่ได้มีความแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของเห็ดแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งวิธีการสกัดสารพอลิแซ็กคาไรด์ด้วยน้ำร้อนทำให้ได้พอลิแซ็กคาไรด์ที่มีคุณสมบัติละลายน้ำ เนื่องจากพอลิแซ็กคาไรด์มีองค์ประกอบของหมู่ไฮดรอกซิล การใช้น้ำร้อนสกัดจะทำให้เส้นใย (mycelia) ของเห็ดพองตัวและอ่อนนุ่มขึ้นทำให้สกัดพอลิแซ็กคาไรด์ออกมาได้ง่าย¹⁶ นอกจากนี้การเติม 95 เปอร์เซ็นต์ เอทานอล จะช่วยตกตะกอนโปรตีนออกมาช่วยให้พอลิแซ็กคาไรด์มีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น¹⁷

องค์ประกอบหลักทางเคมีที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระในเห็ดคือ สารประกอบฟีนอลิก และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ถูกพบน้อยมาก เช่น วิตามินซี เบต้าแคโรทีน ไลโคพีน วิตามินอี เป็นต้น¹⁸ ซึ่งสารประกอบฟีนอลิกมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก เช่น สารฟีนอล กรดฟีนอล และโพลีฟีนอล เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระประสิทธิภาพสูง โดยสารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างทั่วไปที่ประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติกที่มีหมู่แทนที่เป็นไฮดรอกซิล อย่างน้อย 1 หมู่ ต่อเป็นหลัก และอาจมีหมู่แทนที่ต่างๆ แทนในตำแหน่งออร์โธ (ortho) หรือพารา (para) ได้อีก เช่น กลุ่มเมธอกซิล กลุ่มเมทิล เป็นต้น โดยสารเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และทำหน้าที่ในการบริจาคไฮโดรเจนให้ออนของหมู่ไฮดรอกซิลให้กับอะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยว หรือที่เรียกว่าอนุมูลอิสระ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน^{19,20} งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเห็ดทั้ง 3 ชนิดในอัตราส่วนของเห็ดต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:35 ด้วยวิธี ดีพีพีเอช โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่าไม่มีสารสกัดเห็ดชนิดใดในการทดลองมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้แรงเท่ากับ Trolox เมื่อเปรียบเทียบกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมของสารสกัดเห็ด พบว่าสารสกัดเห็ดนางรมดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมที่สูงกว่าเห็ดหูหนูดำและเห็ดนางฟ้า ตามลำดับ สารสกัดจากเห็ดนางฟ้ามีปริมาณฟีนอลิกรวมน้อยกว่าชนิดอื่น ส่งผลให้มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันน้อยที่สุด ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเห็ดนางรมดำมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระน้อยกว่าเห็ดหูหนูดำ ($p < 0.05$) โดยผลของค่า IC_{50} เป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระของสาร แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกของเห็ดนางรมดำที่มีปริมาณสูงกว่าเห็ดชนิดอื่นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการต้านอนุมูลอิสระ ทั้งนี้จากวิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมด้วยสาร Folin-Ciocalteu มีข้อจำกัดคือ ปริมาณค่าการดูดแสงที่วัดได้มีผลจากทั้งปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิก และตัวรีดิวซ์อื่น เช่น วิตามินซี (L-ascorbic acid) จึงอาจส่งผลให้ค่าดังกล่าวที่วัดได้นั้นสูงกว่าความเป็นจริง นอกจากนี้ชนิดและตำแหน่งของหมู่แทนที่ในสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกัน สามารถส่งผลให้รูปแบบการเกิดปฏิกิริยากับตัวทำปฏิกิริยาได้แตกต่างกัน ซึ่งอาจเป็นอีกสาเหตุของข้อผิดพลาดในการตรวจวัดปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม²¹ ดังนั้นการคัดเลือกสารสกัดเห็ดเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เอสเซนส์บำรุงผิวหน้านั้น สารสกัดเห็ดจะต้องมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี และมีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมสูงเพื่อประสิทธิภาพในการคงความชุ่มชื้นของผิวด้วยนั้น จากข้อมูลเบื้องต้นสารสกัดเห็ดนางรมดำมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก

ที่สูง มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี ประกอบกับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมที่สูง ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปตั้งตัวรับต่อไป ในขณะที่สารสกัดเห็ดหูหนูดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ดี แต่มีปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์รวมต่ำที่สุด ($p < 0.05$) จึงไม่ถูกคัดเลือก โดยปริมาณสารสกัดเห็ดนางรมดำที่ใช้ในตำรับเปรียบเทียบกับระหว่าง 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เนื่องจากต้องการให้ตำรับเอสเซนส์จากสารสกัดเห็ดนางรมดำมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระเทียบเคียงกับสารมาตรฐาน Trolox และเป็นปริมาณที่สามารถเพิ่มความหนืดให้กับตำรับเอสเซนส์ได้อย่างเหมาะสม

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของตำรับเอสเซนส์ผสมสารสกัดเห็ดนางรมดำ พบว่าตำรับ 1 ซึ่งใช้ปริมาณสารสกัดเห็ดนางรมดำ 3 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เหมาะสมในการพัฒนาตำรับเอสเซนส์บำรุงผิวหน้ามากกว่าตำรับ 2 เนื่องจากมีความคงตัวที่ดีโดยมีความเป็นกรด-ด่างเหมาะสมสำหรับใช้กับผิวหน้า มีความหนืดที่เหมาะสม และความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงหลังจากผ่านการทดสอบความคงตัวที่อุณหภูมิ 25, 45, และ 4 องศาเซลเซียส และจากการเพิ่มปริมาณของสารสกัดเห็ดนางรมดำเป็น 5 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในตำรับ 2 มีผลต่อความหนืดของเนื้อผลิตภัณฑ์ เมื่อเวลาผ่านไป 1 เดือน เพราะโมเลกุลของพอลิเมอร์สามารถเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำ (hydration) ซึ่งสามารถกักโมเลกุลของน้ำไว้ เมื่อปริมาณสารสกัดเห็ดที่เพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้ใช้เวลานานถึง 1-2 สัปดาห์เพื่อให้ hydration เกิดโดยสมบูรณ์ ความหนืดของตำรับจะเพิ่มขึ้นหลังการผลิตระยะหนึ่ง ดังนั้นการเก็บผลิตภัณฑ์เอสเซนส์บำรุงผิวหน้าที่มีส่วนผสมของเห็ดนางรมดำควรหลีกเลี่ยงการเก็บที่อุณหภูมิสูงจะช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงตัวนานขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิในการเก็บรักษา เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสลายตัวของพอลิเมอร์ทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลง

ดังนั้น วิธีการสกัดสารสกัดเห็ดนางรมดำโดยใช้น้ำร้อนเป็นวิธีที่ง่าย และได้สารสกัดเห็ดนางรมดำที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงและมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระนั้น เป็นข้อมูลพื้นฐานนำไปสู่การต่อยอดเพื่อทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพด้านอื่นๆ และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางระดับอุตสาหกรรมได้ อันจะเป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเห็ดพื้นบ้าน เนื่องจากพอลิเมอร์ธรรมชาติเป็นกลุ่มของ พอลิเมอร์ที่มีมูลค่าและมีความต้องการในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางสูง งานวิจัยนี้สามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สารสกัดจากธรรมชาติในระดับอุตสาหกรรมให้กว้างขวางมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา และอุทยานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับสถานที่และทุนในการทดลองวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kosmadaki MG, Gilcrest BA. The role of telomeres in skin aging/photoaging. *Micron*. 2004 ; 35(3): 155-9.
2. Papakonstantinou E, Roth M, Karakioulakis G. Hyaluronic acid: A key molecule in skin aging. *Dermatoendocrinol*. 2012 Jun 21 ; 4(3).
3. Wu Y, Choi M-H, Li J, Yang H, Shin H-J. Mushroom Cosmetics: The Present and Future. *Cosmetics*. 2016 Jul 8 ; 3(3):22.
4. Cheung LM, Cheung PCK, Ooi VEC. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. *Food Chem*. 2003 May 1 ; 81(2): 249-55.
5. Ademola IO, Odeniran PO. Novel trypanocide from an extract of *Pleurotus sajor-caju* against *Trypanosoma congolense*. *Pharm Biol*. 2017 Jan 21 ; 55(1): 132-8.
6. Kanagasabapathy G, Malek SNA, Kuppusamy UR, Vikineswary S. Chemical composition and antioxidant properties of extracts of fresh fruiting bodies of *Pleurotus sajor-caju* (Fr.) singer. *J Agric Food Chem*. 2011 Mar 23 ; 59(6): 2618-26.
7. Finimundy TC, Gambato G, Fontana R, Camassola M, Salvador M, Moura S, et al. Aqueous extracts of *Lentinula edodes* and *Pleurotus sajor-caju* exhibit high antioxidant capability and promising in vitro antitumor activity. *Nutr Res*. 2013 Jan ; 33(1): 76-84.
8. Piska K, Sułkowska-Ziaja K, Muszyńska B. Edible mushroom *pleurotus ostreatus* (Oyster mushroom)- Its dietary significance and biological activity. *Acta Sci Pol Hortorum Cultus*. 2017 ; 16(1): 151-61.
9. Chiu WC, Yang HH, Chiang SC, Chou YX, Yang HT. *Auricularia polytricha* aqueous extract supplementation decreases hepatic lipid accumulation and improves antioxidative status in animal model of nonalcoholic fatty liver. *Biomed*. 2014 Jun 1 ; 4(2): 29-38.
10. Kesari M, Collge J. Studies on Phytochemical Compounds and Antioxidant Potential of *Auricularia Auricula-Judae*. *Int J Pharm Sci Res*. 2017 ; 8(8): 3508-15.
11. He X, Wang X, Fang J, Chang Y, Ning N, Guo H, et al. Polysaccharides in *Grifola frondosa* mushroom and their health promoting properties: A review. *Int J Biol Macromol*. 2017 Aug 1 ; 101: 910-21.
12. Kanlayavattanukul M, Lourith N. Biopolysaccharides for Skin Hydrating Cosmetics. *Polysaccharides*. 2015 ; 1867-92.
13. Masuko T, Minami A, Iwasaki N, Majima T, Nishimura S-I, Lee YC. Carbohydrate analysis by a phenol-sulfuric acid method in microplate format. *Anal Biochem*. 2005 Apr ; 339(1): 69-72.
14. Bhatti M, Kamboj A, Saluja AK. Spectrophotometric estimation of total polysaccharides in *Kalanchoe pinnatum* and *Kalanchoe crenata*. *Int J Pharm Pharm Sci*. 2013 ; 5(2): 40-1.
15. Xi X, Wei X, Wang Y, Chu Q, Xiao J. Determination of tea polysaccharides in *Camellia sinensis* by a modified phenol-sulfuric acid method. Vol. 62, *Archives of Biological Sciences*. 2010. p. 669-76.
16. Khaskheli SG, Zheng W, Sheikh SA, Khaskheli AA, Liu Y, Soomro AH, et al. Characterization of *Auricularia auricula* polysaccharides and its antioxidant properties in fresh and pickled product. *Int J Biol Macromol*. 2015 Nov ; 81: 387-95.
17. Livingston DP. Fructan Precipitation from a Water/Ethanol Extract of Oats and Barley. *Plant Physiol*. 1990 Mar ; 92(3): 767-9.
18. Barros L, Falcão S, Baptista P, Freire C, Vilas-Boas M, Ferreira ICFR. Antioxidant activity of *Agaricus sp.* mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays. *Food Chem*. 2008 Nov 1 ; 111(1): 61-6.
19. İlkay Koca AKİ, Gençlelep H. Antioxidant Properties of Wild Edible Mushrooms. *J Food Process Technol*. 2011 ; 02(06).
20. Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, Kondo K. Antioxidant ability of various flavonoids against DPPH radicals and LDL oxidation. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 2001 Jun 21 ; 47(5): 357-62.
21. Djordjevic TM, Šiler-Marinkovic SS, Dimitrijevic-Brankovic SI. Antioxidant Activity and Total Phenolic Content in Some Cereals and Legumes. *Int J Food Prop*. 2011 Jun 2 ; 14(1): 175-84.

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) ผู้พิมพ์ทุกท่านสามารถส่งบทความวิจัยเพื่อรับการพิจารณาลงตีพิมพ์ได้ โดยไม่ต้องเป็นสมาชิกและไม่จำเป็นต้องสังกัดมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ผลงานที่ได้รับการพิจารณาในวารสารจะต้องมีสาระที่น่าสนใจ เป็นงานที่ทบทวนความรู้เดิมหรือองค์ความรู้ใหม่ ที่ทันสมัย รวมทั้งข้อคิดเห็นทางวิชาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้อ่าน และจะต้องเป็นงานที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน รวมถึงไม่อยู่ระหว่างพิจารณาลงพิมพ์ในวารสารใด บทความอาจถูกดัดแปลงแก้ไข เนื้อหา รูปแบบ และสำนวน ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร ทั้งนี้ เพื่อให้วารสารมีคุณภาพในระดับมาตรฐานสากล และนำไปอ้างอิงได้

การเตรียมต้นฉบับ

1. ต้นฉบับพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ แต่จะเรื่องจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การใช้ภาษาไทยให้ยึดหลักการใช้คำศัพท์การเขียนทับศัพท์ภาษาอังกฤษตามหลักของราชบัณฑิตยสถาน ให้หลีกเลี่ยงการเขียนภาษาอังกฤษร่วมกับภาษาไทยในข้อความ ยกเว้นกรณีจำเป็น เช่น ศัพท์ทางวิชาการที่ไม่มีทางแปล หรือคำที่ใช้แล้วทำให้เข้าใจง่ายขึ้น คำศัพท์ภาษาอังกฤษที่เขียนเป็นภาษาไทยให้ใช้ตัวเล็กทั้งหมด ยกเว้นชื่อเฉพาะ สำหรับต้นฉบับภาษาอังกฤษ ควรได้รับการตรวจสอบความถูกต้องของภาษาจากผู้เชี่ยวชาญด้านภาษาอังกฤษก่อน

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. ผู้พิมพ์จะต้องจัดเตรียมต้นฉบับในรูปแบบของไฟล์ “.doc” (MS Word) และ “.pdf” (Portable Document Format)

5. จำนวนหน้า ความยาวของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้า รวมตาราง รูป ภาพ และเอกสารอ้างอิง

6. รูปแบบการเขียนต้นฉบับ แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทบทความรายงานผลวิจัยหรือบทความวิจัย (research article) และบทความจากการทบทวนเอกสารวิจัยที่ผู้อื่นทำเอาไว้ หรือบทความทางวิชาการ หรือบทความทั่วไป หรือบทความปริทัศน์ (review article)

7. การส่งบทความ ส่ง online ผ่านระบบ ThaiJo โดยสามารถเข้าไปดูรายละเอียดที่ www.journal.msu.ac.th

8. หากจัดรูปแบบไม่ถูกต้องทางวารสารจะจัดส่งคืนผู้พิมพ์เพื่อปรับแก้ไข ก่อนเสนอผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณา ซึ่งอาจทำให้กระบวนการตีพิมพ์ล่าช้า

บทความวิจัย/บทความวิชาการ ให้เรียงลำดับหัวข้อดังนี้

ชื่อเรื่อง (Title) ชื่อเรื่องให้มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กะชับ และสื่อเป้าหมายหลักของงานวิจัย ไม่ใช่คำย่อ ความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

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

บทคัดย่อ (Abstract) เป็นการย่อเนื้อความงานวิจัยทั้งเรื่องให้สั้น และมีเนื้อหา ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ ผลการค้นพบที่สำคัญ และสรุป มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยบทคัดย่อภาษาอังกฤษมีความยาวไม่เกิน 300 คำ สำหรับบทคัดย่อภาษาไทยให้สอดคล้องกับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keywords) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 5 คำ ให้ระบุไว้ท้ายบทคัดย่อของแต่ละภาษา

บทนำ (Introduction) เป็นส่วนเริ่มต้นของเนื้อหา ที่บอกความเป็นมา เหตุผล และวัตถุประสงค์ ที่นำไปสู่งานวิจัยนี้ ให้ข้อมูลทางวิชาการที่เกี่ยวข้องจากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานการศึกษาท่อนหน้า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา (Materials and Methods) ให้ระบุรายละเอียด วัสดุอุปกรณ์ สิ่งทีนำมาศึกษา จำนวน ลักษณะเฉพาะของตัวอย่างที่ศึกษา อธิบายวิธีการศึกษา แผนการทดลองทางสถิติ วิธีการเก็บข้อมูลการวิเคราะห์และการแปลผล

ผลการศึกษา (Results) รายงานผลที่ค้นพบ ตามลำดับขั้นตอนของการวิจัย อย่างชัดเจนได้ใจความ ถ้าผลไม่ซับซ้อน และมีตัวเลขไม่มากควรใช้คำบรรยาย แต่ถ้ามีตัวเลข หรือ ตัวแปรมาก ควรใช้ตารางหรือแผนภูมิประกอบการรายงานผลการศึกษา

วิจารณ์และสรุปผล (Discussion and Conclusion) การอภิปรายผลการศึกษาว่าตรงกับวัตถุประสงค์และเปรียบเทียบกับสมมติฐานของการวิจัยที่ตั้งไว้ หรือแตกต่างไปจากผลงานที่มีผู้รายงานไว้ก่อนหรือไม่ อย่างไร เหตุผลใดจึงเป็นเช่นนั้น และมีพื้นฐานอ้างอิงที่เชื่อถือได้ ผู้พิมพ์อาจมีข้อเสนอแนะที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ หรือตั้งประเด็นคำถามการวิจัย ซึ่งเป็นแนวทางสำหรับการวิจัยต่อไป

ตาราง รูป ภาพ แผนภูมิ (Table, Figures, and Diagrams) ควรคัดเลือกเฉพาะที่จำเป็น แทรกไว้ในเนื้อเรื่อง โดย เรียงลำดับให้สอดคล้องกับคำอธิบายในเนื้อเรื่อง และมีคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ ที่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วน กรณีที่เป็นตาราง คำอธิบายอยู่ด้านบน ถ้าเป็นรูป ภาพ แผนภูมิ คำอธิบายอยู่ด้านล่าง

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) ระบุงานวิจัยได้รับการสนับสนุนงบประมาณ หรือสนับสนุนด้านอื่นๆ รวมถึงความช่วยเหลือจากองค์กรใดหรือผู้ใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ระบุงานการเอกสารที่นำมาใช้อ้างอิงให้ครบถ้วนไว้ท้ายเรื่อง โดยใช้ APA Style ดังตัวอย่าง สามารถดูรายละเอียดและตัวอย่างเพิ่มเติมได้ที่ www.journal.msu.ac.th

การเขียนเอกสารอ้างอิง

ก. กรณีที่เป็นรายงานวิจัย มีรูปแบบและการเรียงลำดับดังนี้ : ชื่อผู้เขียน (ในกรณีภาษาไทย ใช้ชื่อและนามสกุล และในกรณีภาษาอังกฤษ ใช้นามสกุลและชื่อ). ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. เล่มที่พิมพ์ ฉบับที่พิมพ์. เลขหน้าแรกถึงหน้าสุดท้ายของเรื่อง. ในกรณีที่ผู้เขียนมากกว่า 6 คน ให้ใส่รายชื่อผู้เขียนทั้ง 6 คนแรก แล้วตามด้วยคำว่า “ และคณะ” หรือ “et al”

ตัวอย่าง

อมรรัตน์ จงสวัสดิ์ตั้งสกุล, ลัดดา เหมาะสุวรรณ. (2002). Evidenced based maillard reeaction : focusing on parenteral nutrition. *วารสารโภชนบำบัด*. 13(1): 3-11.

Vega KJ, Pina I, Krevaky B. (1996). Heart transplantation is associated is with an increase risk for pancreatobiliary diseases. *Ann Intern Med*. 124(11): 980-3.

ข. กรณีที่เป็นหนังสือ มีรูปแบบและการเรียงลำดับ เหมือนเอกสารอ้างอิงที่เป็นรายงานวิจัย (ในข้อ ก.) ยกเว้น ใช้ชื่อหนังสือ เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์ แทน ชื่อวารสาร.

ตัวอย่าง

วิญญู มิตรานันท์. (2538). *พยาธิกายวิภาค*. กรุงเทพฯ: โอเอสพริ้นติ้งเฮาส์. 629-78.

Ringsven MK, Bond D. (1996). *Gerontology and leadership skills for nureses*. 2nd ed. Albany (NY): Delmar Publishers. 100-25.

ค. กรณีที่เป็นรายงานการประชุมและสัมมนา มีรูปแบบการเรียงลำดับ คือ ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเอกสารรวมเรื่องที่ได้จากรายงานการประชุม. วัน เดือน ปีที่จัด: สถานที่จัด : สำนักพิมพ์ หรือผู้จัดพิมพ์. เลขหน้า.

ตัวอย่าง

ณัฐนันท์ สิ้นชัยพานิช, วราภรณ์ จรรยาประเสริฐ, ยุพิน รุ่งเวชวุฒิวินยา, มนต์ชูลี นิติน, สาธิต พุทธิพิพัฒน์ขจร. (2542). เกสัชกรพัฒนาเพื่อการพึ่งพาตนเอง. *รายงานการประชุมวิชาการเภสัชกรรม ประจำปี 2542 ของเภสัชกรรมสมาคมแห่งประเทศไทย*; 24-26 มีนาคม 2542. กรุงเทพมหานคร : เกสัชกรรมสมาคมแห่งประเทศไทย. 89-105.

Kimmura J. Shibasaki H, editors. (1996). *Proceeding of 10yh International Congress of EMG and/Clinical Neurophysiology*; 15-16 Oct 1995 ; Kyoto Japan. Amsterdam: Elsevier. 80-90.

ง. กรณีเป็นวิทยานิพนธ์ มีรูปแบบการเรียงลำดับ คือ ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อวิทยานิพนธ์. สถาบันที่พิมพ์: ชื่อสถาบันการศึกษา

ตัวอย่าง

อัมพร ณรงค์สันติ. (2541). *การใช้ยาเจนด้ามยจีนวันละครั้งเปรียบเทียบกับวันละสองครั้งในทารกแรกเกิดไทย*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาเภสัชศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Kaplan SJ. (1995). *Post-hospital home health care: the elderly,s access and utilization [dissertayion]*. St. Louis (MO):Washington Univ.

จ. กรณีที่เป็นบทความในหนังสือพิมพ์ มีรูปแบบและการเรียงลำดับเหมือนเอกสารอ้างอิงที่เป็นรายงานวิจัย (ในข้อ 11.1.1. ก)

ตัวอย่าง

Lee G. (1996). *Hospitalization tied to ozone pollution: study estimtes 50,000 admissions annually*. The Washington Post Jun 21.5.

ฉ. กรณีที่เป็นหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ มีรูปแบบและการเรียงลำดับ คือ ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์ ชื่อเรื่อง. ชื่อวารสาร (ปี เดือน วันที่อ้างอิงถึง) เล่มที่ (ฉบับที่): ได้มาจาก ชื่อ website.

ตัวอย่าง

Morse SS. (1995). *Factors in the emergence of infactious disease*. Emerg Infect Dis [cited 1996 Jun 5] ; 1(1): Available from: URL// www. Cdc.gov/ncidod/Eid.htm.

Intruccion 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. The manuscript must be interesting topic, review knowledge, modern knowledge, and academic comments that are beneficial to readers. The journal publishes 6 issues a year. 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. The use of Thai language adheres to the principles of vocabulary, transliteration in English according to the principles of the Royal Society of Thailand. Manuscript should be specific, clear, concise, accurate, and consistent. Mixing Thai and English should be avoided except for the case of necessity, such as academic vocabulary with no translation or mixing words for easier understanding. English vocabulary written in Thai must use all lowercase except for unique names. English language manuscripts should be checked by an English language editor prior to submission.

2. Manuscript should be on A4 standard size paper. Each side must have 1" margins with 2 columns.

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

3.1 Title of the article: **18 pt. Bold**

3.2 Name(s) of the authors: **16 pt. Unbold**

3.3 Main Heading: **16 pt. Bold**

3.4 Sub-heading: **14 pt. Bold**

3.5 Body of the text: **14 pt. Unbold**

3.6 Footnotes for authors and their affiliations: **12 pt. Unbold**, must be cited at the bottom of the first page. Academic position and corresponding author must be added at footnotes.

4. Manuscripts should be typed in MS word ".doc" and ".pdf" (Portable Document Format)

5. The number of pages are limited to 12 pages, including references, tables, graphs, or pictures.

6. Types of manuscripts: research articles and review articles.

7. Manuscript submission : online submission via www.journal.msu.ac.th

8. Manuscript with uncorrected format will be sent back to the author before review process which can delay the publication process.

Research article / review article must be in sequence as follows:

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) : denoted with affiliation must be in Thai and English, academic position must be specified, and email address for contact the author.

Abstract: This section of the paper should follow an informative style, concisely covering all the important of findings . The abstract must include objectives, findings, and conclusion. Thai and English abstract is required. The English abstract is restricted to **300 words**. Thai abstract should be relevant to English version.

Keywords: Give 4-5 concise words to specify your article

Introduction: This section is the initial part of the article, contain information about background, reasons, purposes, and review section.

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. Li the information in complicated, add tables, graphs, diagrams etc., as necessary.

Discussion and Conclusion: Discuss how the results are relevant/oppose to the objective and hypothesis. How the result is different/relevant when comparing to the former findings. Give us your reason why result is like that base on reliable researches. This part should end with suggestions for research utilization or providing questions for future studies.

Tables, figures, diagrams: Selected only necessary objects to insert in the body of manuscript in accordance with the description in the text. The short description is required in English with completely meaningful. For figures and diagrams, the description is below the picture. But, for table, the description is on top of the table.

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

References: listed and referred in Vancouver style. (www.journal.msu.ac.th)

Vancouver style references:

When work of another person whole or in part to refer in your work, it should be in sequence 1,2,3 using numeric with superscript. Then, author must have reference list or bibliography at the final parts of your manuscript.

1. Book

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).

2. Journal

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

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

3. Conference proceedings

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

4. Dictionary

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

5. Newspaper

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

6. E-book

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.

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 Facilitation and Dissemination,
Khamriang Sub-distict, 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
Professor Dr.Sirithon Siriamornpun
Maharakham University
Associate Professor Dr.Worapol Aengwanich
Maharakham University
Associate Professor Dr.Vallaya Sutthikhum
Maharakham University

Editorial Board

Professor Dr.Thaweesakdi Boonkerd
Chulalongkorn University
Professor Dr.La-orsri Sanoamuang
Khon Kaen University
Professor Dr.Supannee Promthet
Khon Kaen University
Professor Dr.Pranee Anprung
Chulalongkorn University
Professor Dr.Niwat Sonoamuang
Khon Kaen University
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.Porntep Tanonkeo
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Narumon Sangpradub
Khon Kaen University
Associate Professor Dr.Terdsak Khammeng
Khon Kaen University
Associate Professor Yuen Poovarawan
Kasetsart University
Associate Professor Dr.Orawich Goompol
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
Assistant Professor Dr.Somnuk Puangpronpitag
Maharakham University
Dr.Rakjinda Wattanalai
Siam University
Dr.Adrian R. Plant
Maharakham University

Secretary

Chaweewan Akkasesthang

Assistant secretary

Phakwilai Rungwisai
Jirarat Puseerit

Six issues per year

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