

# สักทอง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

The Golden Teak : Science and Technology Journal

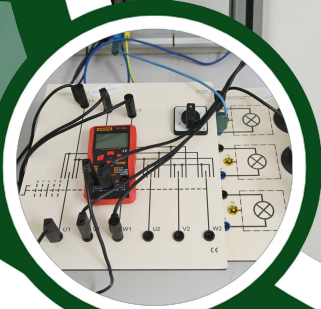
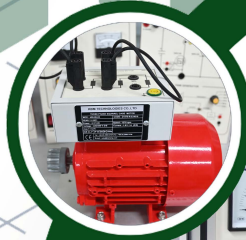
ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

Vol.10 No.1 January - June 2023

ISSN 2408 - 0837 (Print) ISSN 2651 - 1576 Online



GTSJ



สถาบัน

วิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



สังกัด : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566 Vol.10 No.1 January-June 2023

ISSN 2408-0837 (Print) ISSN 2651-1576 (Online)

---

---

<b>วัตถุประสงค์</b>	เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป	
<b>ขอบเขต</b>	จัดพิมพ์เสนอผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ	
<b>เจ้าของ</b>	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร	
<b>ที่ปรึกษา</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียานุช พรหมภาสิต รองศาสตราจารย์ ดร.ระมัด โชชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญาดา กลิ่นจันทร์	รักษาราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
<b>บรรณาธิการ</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัณภีชา ตันตีสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
<b>ผู้ช่วยบรรณาธิการ</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
<b>กองบรรณาธิการ</b>	Professor Dr.Shong Huang ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญา ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพุกษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ ป้ายเที่ยง	National Taiwan Normal University มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชिरาฎมิ เพชรเย็น	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร ไชยยะ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รองศาสตราจารย์ วชิระ สิงห์คง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญดาว แจ่มแจ่ม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุทธิ์ พิพรรณจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แคนชัย เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มนูญ บุลย์ประมุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วันวิสา รักพ่วง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วสุนธรา รตโนภาส	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ ตุ่มมี	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

#### ฝ่ายจัดการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุณี บุญพิทักษ์  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ ก๊กก้อง  
 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาริชาติ เตชะ  
 อาจารย์ประภัสสรฯ ท่อทอง  
 นายทวิช ปิ่นวิเศษ  
 นางสาวมาริสฯ การะเวก

**ผู้จัดทำและเผยแพร่** สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

**กำหนดออก** ปีละ 2 ฉบับ

ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม-มิถุนายน

ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม

**สำนักงาน** สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000

โทรศัพท์ 0-5570-6555 ต่อ 1760

[http://research.kpru.ac.th/journal\\_science/](http://research.kpru.ac.th/journal_science/)

บทความที่ตีพิมพ์ทุกบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและบทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ  
 ที่ปรากฏในวารสารเป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและ  
 บรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

---

---

สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวส.)

The Golden Teak : Science and Technology Journal (GTSJ.)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2566 Vol.10 No.1 January-June 2023

ISSN 2408-0837 (Print) ISSN 2651-1576 (Online)

---

---

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
○ บรรณาธิการแถลง.....	ก
○ บทความวิจัย	
การรอดชีวิตของ <i>Lactobacillus acidophilus</i> TISTR 2365 ที่หุ้มด้วยแคปซูลใน กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง สุดสายชล หอมทอง และพนิดา สีขาว Survival of encapsulated <i>Lactobacillus acidophilus</i> TISTR 2365 in simulated gastric and small intestinal conditions Sudsachon Homthong and Panida Srikaw.....	1
ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า กรณีศึกษา : อาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่ ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และนเรศ ใหญ่วงศ์ Estimated Greenhouse Gas Emissions and Cost-Effects from Flat Roof Mounted Solar Cell Installation Case Study : Animal Hospital Building Chiang Rai Rajabhat University Chatchai Vorapat, Surat Sedpho and Naret Yaiwong.....	15
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง กรณีการ์ อ่อนสำลี และ ศิริลดา ศรีกอก Development of Snack Product from Pumpkin Flour Gannigar Onsamlee and Sirilada Srikok.....	33

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ณัฐวุฒิ ทยานันไธสง และณัฐพล วงษ์รัมย์ Development of a Web Based GIS Application for Volcanic Rice Group in Khok Muang Village, Chorakhemak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province Nattawut Tananthaisong and Nattapon Wongram.....	51
พัฒนาระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สัตตาวลัย จำปา และจรรยาพร ประทีปวรกาญจน์ Develop an intelligent delivery cabinet system with Internet of Things Technology Laddawan Champa and Jarayut Prateepvorakan.....	63
ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคม และการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่น หลังคลอด รุ่งฤดี อูสาหะ, อิงหทัย คำจตุติ และสุรียา ยอดทอง Postpartum Depression, Social Support, and Maternal Role Attainment on Postpartum Maternal Adolescent Rungrudee Usaha, Enghtai Damjuti and Suriya Yodthong.....	79
การประเมินช่องโหว่ระบบงานทะเบียนนักศึกษา ศิลปบัณฑิต ฉวีพัฒน์ Vulnerability Assessment of Student Registration System Silnaorng Chavipat.....	99
การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิตและแนวทางการลดพลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ประกอบ ประระมะ, พุทธิดี อุบลสุข, ธนวรรกฤต โอรพารธนพร และสุรัตน์ เศษโพธิ์ Analysis of Specific Energy Consumption and Energy Reduction Approach for Limestone Production in Mae Moh Power Plant Prakob Parama, Putthadee Ubolsook, Tanaworakit Orantanaporn and Surat Sedpho.....	123

## สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง

หน้า

ประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าวและแกลบข้าวที่ถูกปรับปรุงด้วยกรด  
นภดล ศรีหิรัญ, คณิตา ตังคณานุรักษ์ และวัชรพงษ์ วาระรัมย์

Adsorption Efficiency of Cyanide by Rice Husk and Acid Modified Rice Husk

Noppadon Srihirun, Kanita Tungkananruk and Watcharapong Wararam.....

135

ประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุข

อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดิล

ยุภาพร คชพรหม, อัจฉรีย์ พิมพ์มูล และสุวัฒน์ บรรลือ

Efficiency of Public Health Implementation Support System of Muang Sam Sib

District Public Health Office Ubon Ratchathani Province with Moodle

Yupaphorn Kotchaporm, Ajcharee Pimpimool and Suwat Banlue.....

151

- คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ.....
- แบบฟอร์มการส่งบทความ.....
- แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์เผยแพร่.....
- จริยธรรมในการตีพิมพ์ในวารสาร (Publication Ethics).....
- ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.....

---

## บรรณาธิการแถลง

---

ในปีนี้ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ก่อตั้งมาครบ 50 ปี และได้ปฏิบัติพันธกิจด้านการส่งเสริมงานวิจัยอย่างต่อเนื่อง วารสารสักทอง : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้เป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาผลงานทางวิชาการ มาจนครบ 1 ทศวรรษ ในฉบับนี้วารสารได้นำเสนอบทความด้านวิทยาศาสตร์ เช่น การทดลองทางจุลชีววิทยา การดูดซับสารไซยาไนด์ การแปรรูปฟักทอง ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยจากโรงไฟฟ้า ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข การพัฒนาอุปกรณ์ด้วยหลักการอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง ความปลอดภัยของระบบเครือข่าย รวมไปถึงด้านสุขภาพในส่วนของการดำรงบทบาทของมารดาวัยรุ่น ทางกองบรรณาธิการหวังว่าบทความเหล่านี้จะเป็นส่วนหนึ่งในการส่งเสริมและพัฒนางานวิจัยและผลงานทางวิชาการต่อไป

บรรณาธิการ



การรอดชีวิตของ *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ที่หุ้มด้วยแคปซูลในกระเพาะ  
อาหารและลำไส้เล็กจำลอง

Survival of encapsulated *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 in simulated  
gastric and small intestinal conditions

สุดสายชล หอมทอง\*

Sudsaiichon Homthong

พนิดา สีขาว\*\*

Panida Srikaw

Received : July 11, 2022

Revised : November 3, 2022

Accepted : November 28, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการห่อหุ้มและการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติก *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% ในการศึกษาประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม พบว่าโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้นที่ 2% และ 3% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และเมื่อนำไปทดสอบการรอดชีวิตในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 2.0 ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 3 ชั่วโมง พบว่าการหุ้ม *L. acidophilus* TISTR 2365 ด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% 3% และเซลล์อิสระ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยการหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 3% ทำให้เชื้อรอดชีวิตได้ดีที่สุด คือ 94.37% ในขณะที่เชื้อที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% ทำให้เชื้อรอดชีวิต 90.57% และเซลล์อิสระเชื้อรอดชีวิตได้น้อยที่สุด คือ 85.61% สำหรับการทดสอบการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในสภาวะลำไส้เล็กจำลอง ซึ่งมีค่า pH เท่ากับ 8.0 และมี bile salt 0.3% ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 4 ชั่วโมง พบว่าการหุ้ม *L. acidophilus* TISTR 2365 ด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% มีเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่มีความแตกต่างจากเซลล์อิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ )

คำสำคัญ: *Lactobacillus acidophilus* / โซเดียมอัลจินเต / สภาวะกระเพาะอาหารและ  
ลำไส้เล็กจำลอง / การหุ้มด้วยแคปซูล / การรอดชีวิต

\*อาจารย์ประจำภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Lecturer in Department of Microbiology Faculty of Science Burapha University

e-mail: sudsaiich@buu.ac.th

\*\*นักศึกษาประจำสาขาวิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Student of the Department of Microbiology Faculty of Science Burapha University



### ABSTRACT

This study aimed to determine the encapsulation efficiency and survival of probiotic *Lactobacillus acidophilus* TISTR 2365 encapsulated in 2% and 3% sodium alginate. For encapsulation efficiency, no significant difference ( $p>0.05$ ) was found between 2% and 3% sodium alginate. The survival under simulated gastric condition at pH 2.0 and 37 °C for 3 hours revealed that encapsulated *L. acidophilus* TISTR 2365 in 2% 3% sodium alginate and free cell were significantly different ( $p<0.05$ ), encapsulation in 3% sodium alginate showed the highest survival of 94.37% while encapsulated in 2% sodium alginate and free cells showed 90.57% and 85.61% survival, respectively. Survival of *L. acidophilus* TISTR 2365 under simulated small intestinal condition was conducted at pH 8.0, bile salt 0.3% and 37 °C for 4 hours. Encapsulated *L. acidophilus* TISTR 2365 in 2% and 3% sodium alginate showed no significant difference ( $p>0.05$ ) but were significantly different ( $p<0.05$ ) from the free cell.

**Keywords :** *Lactobacillus Acidophilus* / Sodium Alginate / Simulated Gastric and Small Intestinal Conditions / Encapsulation / Survival

### บทนำ

โพรไบโอติก (Probiotic) เป็นจุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกาย เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วมีปริมาณการรอดชีวิตของเชื้อที่มากเพียงพอ จะก่อให้เกิดผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยช่วยควบคุมสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้และป้องกันความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยลดผลข้างเคียงจากยาปฏิชีวนะที่มีผลต่อลำไส้ โดยป้องกันการเกิดโรคลำไส้อักเสบ ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด (Coakley, et al., 2003; George, et al., 2018)

ในปัจจุบันผู้บริโภคจึงนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมหรือหมักแบคทีเรียโพรไบโอติก ลงไป เช่น โยเกิร์ต ซีส น้ำสลัด น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยแบคทีเรียโพรไบโอติกที่นิยมนำมาใช้จะจัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) เช่น สกุล *Lactobacillus* ยกตัวอย่าง เช่น *L. acidophilus*, *L. casei* เป็นต้น และสกุล *Bifidobacterium* เช่น *B. longum*, *B. bifidum* เป็นต้น เนื่องจากแบคทีเรียกรดแลคติกสามารถทนต่อกรดหรือด่างได้ดีและย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสและกลูโคสได้ผลิตกรดเป็นกรดแลคติก (lactic acid) ซึ่งกรดแลคติกมีบทบาทสำคัญในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคในระบบทางเดินทางอาหาร นอกจากนี้แบคทีเรียกรดแลคติกยังช่วยรักษาสมดุลในระบบทางเดินอาหารและสร้างสารที่ไปยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรคในระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นแบคทีเรียกรดแลคติกจึงจัดเป็นแบคทีเรียที่มีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกมากที่สุด (Murry, et al., 2004; George, et al., 2018) โดยมีรายงานว่าเมื่อมีการบริโภค *L. acidophilus* เข้าไปโดยผ่าน

กระเพาะอาหารและลำไส้จะทำให้มีประโยชน์ต่อสุขภาพในการสร้างสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ป้องกันลำไส้ อักเสบจากไรต้าไวรัส โรคมะเร็งในลำไส้และช่วยสร้างระบบภูมิคุ้มกันที่ดีขึ้น (Guarner, et al., 2011)

การรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกมีความสำคัญอย่างมากต่อผู้บริโภค เนื่องจากมีรายงานก่อนหน้านี้กล่าวว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกจะก่อให้เกิดประโยชน์แก่สุขภาพของผู้บริโภคได้นั้นควรมีจำนวนไม่น้อยกว่า  $10^6 - 10^7$  CFU/ml (Gomes & Malcata, 1999) โดยพบว่าแบคทีเรียโพรไบโอติกที่เติมหรือหมักลงในผลิตภัณฑ์อาหารจะมีชีวิตรอดอยู่ได้ แต่เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารแล้วจำนวนการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกมีจำนวนลดลง เนื่องจากโพรไบโอติกเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องเดินทางผ่านและอาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของผู้บริโภคที่บริโภคโพรไบโอติก ดังนั้นสภาวะแวดล้อมแรกที่สุดส่งผลกระทบต่อการรอดชีวิตของโพรไบโอติกคือสภาวะแวดล้อมในกระเพาะอาหารที่มีความเป็นกรดและเอนไซม์ในกระเพาะอาหาร (gastric juice) ตลอดจนเกลือน้ำดี (bile salt) ในลำไส้ (Boke, et al., 2010) ดังนั้นการห่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติกด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) โดยใช้เทคนิคเอ็กทรูชัน (Extrusion) จึงเป็นอีกหนึ่งวิธีที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนการรอดชีวิตของเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติก

การห่อหุ้มเซลล์แบคทีเรียโพรไบโอติกด้วยวิธีเอนแคปซูเลชันเป็นวิธีการที่ใช้ในการป้องกันเซลล์โพรไบโอติกจากสภาวะที่เป็นอันตรายต่อตัวเซลล์ โดยช่วยป้องกันแบคทีเรียโพรไบโอติกจากสภาพแวดล้อมภายในเซลล์เมื่อต้องอยู่ในอาหารที่มีสภาวะไม่เหมาะสมต่อการรอดชีวิตและช่วยให้แบคทีเรียโพรไบโอติกรอดชีวิตจากระบบทางเดินอาหารที่มีสภาวะเป็นกรดสูงในกระเพาะอาหารและเกลือน้ำดีในลำไส้เล็กได้ดีขึ้น (Serna-Cock & Vallejo-Castillo, 2013) โดยใช้อัลจินต (Alginate) เป็นวัสดุในการห่อหุ้มเซลล์แบคทีเรีย เนื่องจากเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและไม่เป็นพิษกับเซลล์แบคทีเรียที่ถูกห่อหุ้ม โดยอัลจินตเป็นสารสกัดที่ได้มาจากสาหร่ายสีน้ำตาลและจัดเป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีรายงานก่อนหน้านี้กล่าวว่า การห่อหุ้มเซลล์ *L. acidophilus* CSCC 2400 ด้วยแคลเซียมอัลจินต (Calcium alginate) ที่ความเข้มข้น 2% ในสภาวะที่มีกรดและเกลือน้ำดีพบว่าเซลล์ที่ถูกห่อหุ้มด้วยแคลเซียมอัลจินตมีจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตมากกว่าเซลล์อิสระถึง 3 log CFU/ml (Chandramoulia, et al., 2004) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงต้องการศึกษาการรอดชีวิตและปริมาณการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* ที่ถูกห่อหุ้มด้วยอัลจินตที่ความเข้มข้นต่างๆ ในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภคในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมหรือหมักแบคทีเรียโพรไบโอติก

### วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเชื้อโพรไบโอติก (ดัดแปลงจาก Garcia-Ceja, et al., 2015)

นำเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโพรไบโอติกจากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่เก็บรักษาไว้ด้วยวิธี Lyophilization มาเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อ MRS broth นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง ใน Anaerobic jar ที่มี Anaerobic gas pack ทำการถ่ายเชื้อ (Subculture) อย่างน้อย 3 ครั้งลงใน MRS agar เพื่อกระตุ้นให้เชื้อเจริญและมีความแข็งแรงสม่ำเสมอ จากนั้นเลี้ยงเชื้อลงใน MRS broth อีกครั้งแล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงด้วย

เครื่อง Centrifuge ที่ 8,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 20 นาที จากนั้นล้างเซลล์ 2 ครั้งด้วย NaCl 0.85 % และแขวนลอยเซลล์ด้วย NaCl 0.85%

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเตรียมเชื้อโพรไบโอติก ในรูปแคปซูลที่เตรียมจาก

โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นต่างๆ (ดัดแปลงจาก จุฬาลักษณ์, 2553)

2.1 นำ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่เตรียมจากตอนที่ 1 มาปรับให้มีเชื้อเริ่มต้น 9-10 log CFU/ml ( $N_0$ ) โดยปรับเชื้อด้วยสารละลาย NaCl 0.85% แล้วนำไปวัดค่าความขุ่นของเชื้อด้วยเครื่อง McFarland และปรับให้เชื้อมีความขุ่นมากกว่า McFarland เบอร์ 4.0 ก่อนนำเชื้อไปห่อหุ้มให้นับจำนวนเชื้อเริ่มต้น โดยนำแบคทีเรียมาเจือจางแบบ Serial ten-fold dilution ด้วย NaCl 0.85% เจือจางให้ได้ความเข้มข้นที่  $10^8 - 10^{11}$  แล้วนำไปนับจำนวนด้วยการ Pour plate ลงใน MRS agar หลังจากนั้นนำไปบ่มใน Anaerobic jar ที่มี Anaerobic gas pack ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง รายงานผลในหน่วย log CFU/ml

2.2 หลังจากนั้นนำเชื้อจากข้อ 2.1 มาห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้เทคนิคเอ็กทราซัน โดยผสมเชื้อ 4 ml กับสารละลายโซเดียมอัลจิเนต 40 ml ที่มีความเข้มข้น 2% และ 3% ลงในบีกเกอร์ปราศจากเชื้อแล้วนำไปกวนให้เข้ากันด้วยเครื่อง Hotplate stirrer โดยใช้ Magnetic bar ในการกวนโดยปรับความร้อนให้เป็นศูนย์และปรับระดับความแรงของการหมุนตามความเหมาะสม

2.3 นำเชื้อที่ผสมกับสารละลายโซเดียมอัลจิเนตที่เข้ากันแล้วใส่ลงในเข็มฉีดยาขนาด 18 G แล้วหยดใส่ลงในสารละลาย  $CaCl_2$  ความเข้มข้น 0.1 M โดยใส่สารละลาย  $CaCl_2$  0.1 M ในบีกเกอร์ปราศจากเชื้อแล้วใช้ Magnetic bar กวนสารละลาย ขณะหยดเชื้อที่ผสมโซเดียมอัลจิเนตลงไป เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดเจลติดกัน โดยให้ความสูงของปลายเข็มฉีดยากับสารละลาย  $CaCl_2$  ห่างกัน 5 cm เมื่อหยดเสร็จให้แช่เม็ดเจลในสารละลาย  $CaCl_2$  เป็นเวลา 30 นาที ทำการแยกเม็ดเจลด้วยการกรองโดยการเทเม็ดเจลในสารละลายลงในกรวยกรองสแตนเลสที่ปราศจากเชื้อ จากนั้นนำเม็ดเจลที่ได้มาล้างด้วยสารละลาย NaCl 0.85% 2 ครั้ง

2.4 ก่อนนำไปศึกษาต่อในตอนที่ 3 ให้นับจำนวนการรอดชีวิตของเซลล์โพรไบโอติกที่อยู่ในเม็ดเจล (N) โดยนำเม็ดเจล 1 g ใส่ลงใน PBS 0.05 M 9 ml (pH 7.5) แช่เม็ดเจลใน PBS อย่างน้อย 30 นาที หลังจากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 10000 g ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 10 นาที เพื่อให้เม็ดเจลแตกตัว

2.5 นำเซลล์แขวนลอยไปเจือจางแบบ Serial ten-fold dilution ด้วย NaCl 0.85 % ให้ได้ความเข้มข้นที่  $10^6 - 10^9$  นับจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตด้วยการ Pour plate ลงใน MRS agar บ่มใน Anaerobic jar ที่มี Anaerobic gas pack ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง รายงานผลในหน่วย log CFU/ml

2.6 ทุกการทดลองทำซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ และคำนวณหาประสิทธิภาพของการห่อหุ้มเซลล์โพรไบโอติก โดยคำนวณจากสมการด้านล่าง

$$\text{ประสิทธิภาพของการห่อหุ้มเซลล์} = \frac{\text{จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตหลังกระบวนการห่อหุ้มเซลล์ (N)}}{\text{จำนวนเซลล์ที่มีชีวิตก่อนกระบวนการห่อหุ้มเซลล์ (N<sub>0</sub>)}} \times 100$$

(log CFU/ml) (log CFU/ml)

3. เปรียบเทียบการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกแบคทีเรียที่หุ้มด้วยแคปซูลและไม่หุ้มแคปซูล เมื่ออยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง (ดัดแปลงจาก สิริสา, 2556)

3.1 นำ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในรูปเซลล์อิสระและเซลล์ที่หุ้มด้วยแคปซูลที่เตรียมจาก สารละลายโซเดียมอัลจินตที่มีความเข้มข้น 2% และ 3% ใส่ลงในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองที่เตรียมจาก PBS 0.05 M แล้วปรับ pH ด้วย HCl 0.1 M ให้ได้ pH 2.0 แช่ไว้นาน 3 ชั่วโมงที่ 37 °C และนำมาใส่ลงใน สภาวะลำไส้เล็กจำลองที่เตรียมจาก PBS 0.05 M ที่ผสม Bile salt 0.3% แล้วปรับ pH ด้วย NaOH 0.1 M ให้ ได้ pH 8.0 แช่ไว้นาน 4 ชั่วโมง ที่ 37 °C

3.2 หลังจากครบตามเวลาที่ศึกษาแล้วนำเม็ดเจลในขั้นตอนที่ 3.1 มานับจำนวนการรอดชีวิต โดย นำเม็ดเจล 1 g ใส่ลงใน PBS 0.05 M 9 ml (pH 7.5) ) แช่เม็ดเจลใน PBS อย่างน้อย 30 นาที หลังจากนั้น นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 10000 g ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 10 นาที เพื่อให้เม็ดเจลแตกตัว แล้ว นำมาเจือจางแบบ Serial ten-fold dilution ด้วย NaCl 0.85% จนได้ความเข้มข้นที่ 10<sup>-5</sup> - 10<sup>-8</sup> นับจำนวน เซลล์ที่รอดชีวิตด้วยการ Pour plate ลงใน MRS agar บ่มใน Anaerobic jar ที่มี Anaerobic gas pack ที่ อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง รายงานผลในหน่วย log CFU/ml

3.3 สำหรับเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ไม่ผ่านการห่อหุ้มนำมานับจำนวนการรอดชีวิต โดยนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge ที่ 8,500 rpm ที่อุณหภูมิ 4 °C นาน 20 นาที จากนั้นล้างเซลล์ 2 ครั้งแล้วแขวนลอยเซลล์โดยใช้ NaCl 0.85% หลังจากนั้นนำไปเจือจางแบบ Serial ten-fold dilution ด้วย NaCl 0.85% จนได้ความเข้มข้น 10<sup>-4</sup> - 10<sup>-7</sup> นับจำนวนเซลล์ที่รอดชีวิตด้วยการ Pour plate ลงใน MRS agar บ่มใน Anaerobic jar ที่มี Anaerobic gas pack ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 48 ชั่วโมง รายงานผลในหน่วย log CFU/ml

3.4 ทุกการทดลองทำซ้ำ 3 ซ้ำ และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การรอดชีวิตดังสมการด้านล่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์การรอดชีวิต} = \frac{\text{จำนวนเซลล์หลังแช่ในสภาวะต่างๆ (log CFU/ml)}}{\text{จำนวนเซลล์ก่อนนำไปแช่สภาวะต่างๆ (log CFU/ml)}} \times 100$$

#### 4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ประมวลผลทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab 18 และนำผลการทดลองที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของข้อมูลโดยใช้วิธี Tukey Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### ผลการวิจัย

##### 1. ประสิทธิภาพของการห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติก

จากการห่อหุ้มเชื้อ *L.acidophilus* TISTR 2365 ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติกที่ได้จากภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม พบว่า การใช้โซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% ในการห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเท่ากับ  $90.42 \pm 0.38\%$  และการใช้โซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 3% ในการห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติกมีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มเท่ากับ  $87.46 \pm 2.05\%$  แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งประสิทธิภาพของการห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติกนั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการห่อหุ้มเชื้อ *L.acidophilus* TISTR 2365 ด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3%

ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเต	ประสิทธิภาพการห่อหุ้ม (%±SD)
2%	$90.42 \pm 0.38$
3%	$87.46 \pm 2.05$

หมายเหตุ SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

##### 2. การรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกเมื่ออยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง

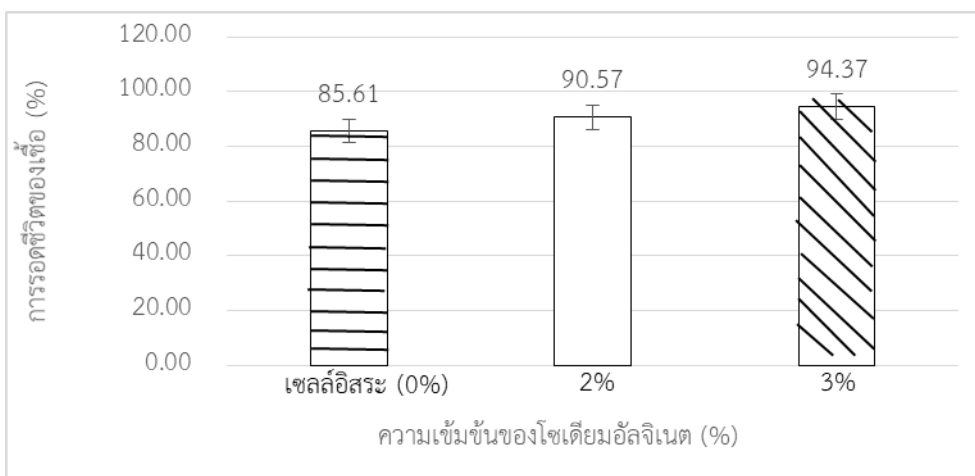
เมื่อศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 2% 3% และไม่ผ่านการห่อหุ้ม (เซลล์อิสระ) ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง 3 ชั่วโมง และสภาวะลำไส้เล็กจำลอง 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 °C พบว่า การรอดชีวิตในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองของเซลล์อิสระมีค่าเท่ากับ  $85.61 \pm 3.65\%$  และเชื้อที่ถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 2% และ 3% มีค่าเท่ากับ  $90.57 \pm 2.62\%$  และ  $94.37 \pm 3.40\%$  ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 1 ซึ่งค่าการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ไม่ถูกห่อหุ้มและถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยเชื้อที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 3% มีค่าการรอดชีวิตได้ดีที่สุดในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 3 ชั่วโมง สำหรับการรอดชีวิตในสภาวะลำไส้เล็กจำลองของเซลล์อิสระ เซลล์ที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 2% และ 3% ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 4 ชั่วโมง พบว่า มีค่าการรอดชีวิตเท่ากับ  $79.44 \pm 0.26\%$   $90.75 \pm 2.12\%$  และ  $91.84 \pm 1.87\%$  ตามลำดับ โดยค่าการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 2% และ 3% ในสภาวะ

ลำไส้เล็กจำลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่แตกต่างกับเซลล์อิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่ 2

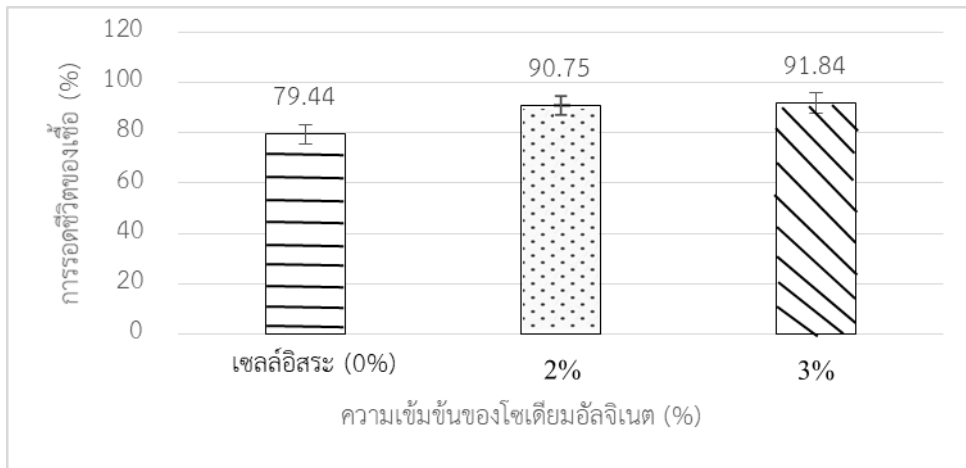
**ตารางที่ 2** การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่หุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนต 2% 3% และที่ไม่ผ่านการห่อหุ้ม (เซลล์อิสระ) เมื่ออยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง

สภาวะจำลอง	การรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกที่ถูกหุ้มด้วยอัลจิเนต (%±SD)		
	เซลล์อิสระ	2%	3%
กระเพาะอาหาร	85.61±3.65 <sup>C</sup>	90.57±2.62 <sup>AB</sup>	94.37±3.40 <sup>A</sup>
ลำไส้เล็ก	79.44±0.26 <sup>B</sup>	90.75±2.12 <sup>A</sup>	91.84±1.87 <sup>A</sup>

**หมายเหตุ** ตัวอักษร A B และ C ที่แตกต่างกันภายในแถว หมายถึง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน



**ภาพที่ 1** การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่หุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนต 2% 3% และที่ไม่ผ่านการห่อหุ้ม (เซลล์อิสระ) เมื่ออยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง ที่ pH 2.0 นาน 3 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 การรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่หุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเต 2% 3% และที่ไม่ผ่านการหุ้ม (เซลล์อิสระ) เมื่ออยู่ในสภาวะลำไส้เล็กจำลองที่ pH 8.0 นาน 4 ชั่วโมง ที่ 37 °C

### อภิปรายผล

โพรไบโอติก (Probiotic) หมายถึง จุลินทรีย์ที่มีชีวิต อาจมีเพียงสายพันธุ์เดียวหรือหลายสายพันธุ์ จุลินทรีย์เหล่านี้อาจอยู่ในรูปของเซลล์แห้งจากกระบวนการระเหิดแห้ง (Freeze-dried cells) หรืออยู่ในรูปผลิตภัณฑ์หมัก เมื่อร่างกายได้รับในปริมาณที่เพียงพอจะทำให้เกิดผลที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของจุลินทรีย์ดั้งเดิมที่อาศัยอยู่ในลำไส้ให้สมดุลและส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์เจ้าถิ่นที่มีประโยชน์ (กระทรวงสาธารณสุข, 2554) และในปัจจุบันผู้บริโภคได้หันมาดูแลสุขภาพกันมากขึ้น การนำเชื้อโพรไบโอติกมาใช้ในอาหารจึงเป็นที่สนใจมากขึ้น เนื่องจากเชื้อโพรไบโอติกมีความปลอดภัย สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารและส่งเสริมให้ผู้บริโภคมีสุขภาพที่ดี แต่เชื้อโพรไบโอติกเมื่อถูกบริโภคแล้วเชื้อเดินทางไปถึงระบบทางเดินอาหารจะมีอัตราในการรอดชีวิตน้อย เนื่องจากในกระเพาะอาหารมีความเป็นกรดและในลำไส้เล็กมีการหลั่งน้ำดี ซึ่งจะไปทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นจึงมีการนำวิธีการหุ้มเชื้อโพรไบโอติกด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) โดยใช้เทคนิคเอ็กทรูชัน (Extrusion) มาใช้ในการเพิ่มจำนวนการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติก โดยใช้อัลจินเตเป็นวัสดุในการหุ้มเซลล์แบคทีเรีย เนื่องจากเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัวใช้งานได้ง่าย มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภค ไม่เป็นพิษกับเซลล์แบคทีเรียที่ถูกหุ้มและมีต้นทุนต่ำ (Krasaekoopt, et al., 2003)

ในการศึกษาครั้งนี้จึงศึกษาเกี่ยวกับการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่อยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง เมื่อถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% และศึกษาประสิทธิภาพในการหุ้มเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% พบว่า เชื้อที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเตความเข้มข้น 2% และ 3% มีประสิทธิภาพการหุ้มที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) โดยมีประสิทธิภาพในการหุ้มเท่ากับ  $90.42 \pm 0.38\%$  และ  $87.46 \pm 2.05\%$  ตามลำดับ ดังนั้นความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตทั้งสองความเข้มข้นจึงไม่มีผลต่อการรอดชีวิตของเชื้อ

*L. acidophilus* TISTR 2365 ที่อยู่ในแคปซูลอัลจินเนต ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Hasiah, Punnanee & Suphitchaya (2014) กล่าวว่า ในการห่อหุ้มเชื้อ *L. plantarum* CM53 ด้วยโซเดียมอัลจินเนต ความเข้มข้น 1% 2% และ 3% ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ )

ศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง ซึ่งมีความเป็นกรด โดยมีค่า pH เท่ากับ 2.0 ที่อุณหภูมิ 37 °C เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง พบว่า เซลล์อิสระ เซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 2% และ 3% มีอัตราการรอดชีวิตเท่ากับ 85.61+3.65% 90.57+2.62% และ 94.37+3.40% ตามลำดับ ซึ่งอัตราการรอดชีวิตของเซลล์อิสระ และเซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 2% และ 3% มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) โดยเซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 3% มีอัตราการรอดชีวิตสูงที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง ดังนั้นการห่อหุ้มเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 3% มีผลทำให้เชื้อรอดชีวิตได้ดีที่สุดในสภาวะกระเพาะอาหารจำลอง สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ อภิชาติ และคนอื่นๆ (2558) กล่าวว่า การห่อหุ้มเชื้อ *L. plantarum* SKI19 ด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 1.5% 2.0% 2.5% และ 3.0% ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองที่มี pH เท่ากับ 2.5 ที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 2 ชั่วโมง พบว่า การห่อหุ้มเชื้อด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 3% ทำให้อัตราการรอดชีวิตที่สูงที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) คือ 79.46% และสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Mandal, Puniya & Singh (2006) กล่าวว่า การห่อหุ้มเซลล์ *Lactobacillus casei* NCDC-298 ด้วยอัลจินเนตความเข้มข้น 2.0% 3.0% และ 4.0% พบว่า เซลล์อิสระมีการรอดชีวิตน้อยกว่าเซลล์ที่ถูกห่อหุ้มในสภาวะกรดในทางเดินอาหารที่มี pH เท่ากับ 1.5 เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง และการห่อหุ้มเซลล์ด้วยโซเดียมอัลจินเนตที่ความเข้มข้นสูงสุดจะทำให้มีเชื้อรอดชีวิตมากที่สุด โดยเซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนต 4.0% สามารถรอดชีวิตสูงที่สุด คือ 7.54 log CFU/g

ศึกษาการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในสภาวะลำไส้เล็กจำลอง ซึ่งมีความเป็นเบส โดยมีค่า pH เท่ากับ 8.0 ที่อุณหภูมิ 37 °C เมื่อเวลาผ่านไป 4 ชั่วโมง พบว่า อัตราการรอดชีวิตของเซลล์ที่ถูกหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 2% และ 3% ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) แต่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อิสระ ซึ่งเซลล์อิสระมีอัตราการรอดชีวิตน้อยที่สุด คือ 79.44+0.26% ดังนั้นการห่อหุ้มเซลล์ด้วยโซเดียมอัลจินเนตจึงมีผลต่อการรอดชีวิตของ *L. acidophilus* TISTR 2365 ในสภาวะลำไส้เล็กจำลอง สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของรายงานของ Mandal, Puniya & Singh (2006) กล่าวว่า *L. casei* NCDC-298 ที่ถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนตความเข้มข้น 2.0% 3.0% และ 4.0% เมื่ออยู่ในสภาวะที่มี bile salt 1.0% นาน 3 ชั่วโมง พบว่า มีจำนวนการรอดชีวิตของเชื้อไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และสอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Afzaal, et al. (2019) กล่าวว่า *L. acidophilus* ที่ถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนต 2.0% มีการรอดชีวิตมากกว่าเซลล์อิสระ 4 log CFU/ml เมื่ออยู่ในสภาวะลำไส้จำลองที่มี pH เท่ากับ 7.5 และมี bile salt 0.3% นาน 120 นาที นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับรายงานของ Srisuk & Jirasatid (2020) ที่รายงานว่า *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจินเนต



มีการรอดชีวิตมากกว่าเซลล์อิสระ 3.4 และ 3.3 log CFU/g ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองและลำไส้จำลองตามลำดับ

จากการศึกษาทั้งหมดจะเห็นได้การใช้โซเดียมอัลจิเนตในการห่อหุ้มเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 จะมีการรอดชีวิตที่สูงกว่าเซลล์อิสระ เนื่องจากโซเดียมอัลจิเนตเป็น supporting material ที่มีความแข็งแรงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและลำดับของ  $\beta$ -D-mannuronic acid (M) และ  $\alpha$ -L-guluronic acid (G) ที่ต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -1,4 โดยความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนตที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มจำนวนแขน (binding site) ที่ใช้จับกับ  $Ca^{2+}$  ทำให้ M และ G เกิดการจับกันแบบเชื่อมโยงไว้กับสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ได้มากขึ้น ทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับเม็ดเจลซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้เซลล์รอดชีวิตได้มากขึ้น (Lee & Heo, 2000) ซึ่งโซเดียมแอลจิเนตที่มีโครงสร้างแบบ G จับกับ G จะมีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาห่อหุ้ม เนื่องจากมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับโครงสร้างแบบอื่นๆ ซึ่งอัตราส่วนของ M และ G จะแตกต่างกันไปตามแหล่งชนิดของสาหร่ายสีน้ำตาล ซึ่งส่งผลให้อัลจิเนตมีคุณสมบัติแตกต่างกันด้วย (เอื้องกาญจน์ และวีรัตน์, 2554) นอกจากนี้แอลจิเนตยังเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติประเภทพอลิแซคคาไรด์ ทำให้ไม่มีคุณสมบัติความเป็นพิษ ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติและสามารถรับประทานได้ มีโครงสร้างที่เรียบง่าย ไม่เป็นพิษ มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ และมีต้นทุนต่ำ (Korbekandi, Mortazavian & Iravani, 2011) ดังนั้นโซเดียมอัลจิเนตจึงเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการห่อหุ้มเชื้อโพรไบโอติก เพราะไม่มีความเป็นพิษต่อเชื้อโพรไบโอติกและต่อมนุษย์ และการห่อหุ้มเชื้อด้วยโซเดียมอัลจิเนตจะช่วยปกป้องเชื้อโพรไบโอติกจากระบบทางเดินอาหาร ทำให้เชื้อโพรไบโอติกสามารถรอดชีวิตในระบบทางเดินอาหารได้และส่งผลดีต่อสุขภาพร่างกาย (Chávarri, et al., 2010)

การศึกษาในครั้งนี้ทำให้ทราบว่าเชื้อโพรไบโอติก *L. acidophilus* TISTR 2365 ที่ถูกห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนตสามารถรอดชีวิตได้ดีกว่าเซลล์อิสระในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง เนื่องจากอัลจิเนตสามารถกักเก็บเซลล์และช่วยปกป้องเชื้อโพรไบโอติกจากการถูกทำลายในสภาวะความเป็นกรด-ด่างในระบบทางเดินอาหารและเพิ่มความคงตัวให้กับผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งจะสามารถเพิ่มอัตราการรอดชีวิตของเชื้อโพรไบโอติกให้มีปริมาณที่อยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการส่งเสริมสุขภาพ นอกจากนี้การห่อหุ้มเซลล์ยังสามารถช่วยกลบรสชาติ สี และกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้อีกด้วย (Zuidam & Shimoni, 2009) ดังนั้นโซเดียมอัลจิเนตจึงถือเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกในการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่มีการเติมเชื้อโพรไบโอติกลงในผลิตภัณฑ์ เช่น น้ำผลไม้ ไอศกรีม โยเกิร์ต เป็นต้น

จากการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการห่อหุ้มและการรอดชีวิตของเชื้อ *L. acidophilus* TISTR 2365 ซึ่งเป็นเชื้อโพรไบโอติก พบว่า ประสิทธิภาพการห่อหุ้มของโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 2% และ 3% มีประสิทธิภาพไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และ พบว่า เซลล์ที่ถูกห่อหุ้มมีอัตราการรอดชีวิตที่สูงกว่าเซลล์อิสระในสภาวะกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กจำลอง โดยเซลล์ที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 3% สามารถรอดชีวิตได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในสภาวะกระเพาะอาหารจำลองและเซลล์ที่ห่อหุ้มด้วยโซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้น 2% และ 3% สามารถรอดชีวิตได้ดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ในสภาวะลำไส้เล็กจำลอง

**กิตติกรรมประกาศ**

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และงบประมาณจากเงินรายได้ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- สาธารณสุข, กระทรวง. (2554). การใช้จุลินทรีย์โพรไบโอติกในอาหาร. **พระราชบัญญัติอาหาร พ.ศ.2522**, 128(86ง). 21-25.
- จุฬาลักษณ์ ชูพรหม. (2553). การห่อหุ้มเซลล์โพรไบโอติกพร้อมกับโพรไบโอติกและศึกษาการรอดชีวิตในสภาวะที่เป็นกรดและเกลือในน้ำดื่มในหลอดทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สิริสา สุขมงคล. (2556). การเพิ่มการรอดชีวิตของแบคทีเรียโพรไบโอติกโดยวิธีการห่อหุ้มร่วมกับเส้นใยจากพืชหัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อภิชาติ อุโฬจิตร, สุธาศิน นิลเพชร และอ้อมใจ ช่อกุลลาบ. (2558). การห่อหุ้มเซลล์ของโพรไบโอติก *Lactobacillus plantarum* SK19 และการประเมินความสามารถในการทนต่อสภาวะของกรดในกระเพาะอาหาร. ใน **การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54 วันที่ 2-5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559**(หน้า 797-806). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เอื้องกาญจน์ ทาทอง และวิรัตน์ วาณิชศรีรัตนนา. (2554). การเกษตรและอุตสาหกรรมการเกษตร. **สรรสาระเทคโนโลยีชีวภาพ**, 1(2), 13.
- Afzaal, M., Khan, A.U., Saeed, F., Ahme, A., Ahmad, M.H., Maan, A.A., Tufail, T., Anjum, F.M. & Hussain, S. (2019). Functional exploration of free and encapsulated probiotic. **Food Science & Nutrition**, 7, 3931-3940
- Boke, H., Aslim, B. & Alp. G. (2010). The role of resistance to bile salts and acid tolerance of exopolysaccharides (EPSS) produced by yogurt starter bacteria. **Archives of Biological Sciences**, 62, 323-328.
- Chandramoulia, V., Kailasapathya, K., Peirisb, P. & Jones, M. (2004). An improved method of microencapsulation and its evaluation to protect *Lactobacillus* spp. in simulated gastric conditions. **Journal of Microbiological Methods**, 56(1), 27-35.
- Chávarri, M., Marañón, I., Ares, R., Ibáñez, F. C., Marzo, F. & Villarán Mdel, C. (2010). Microencapsulation of a probiotic and prebiotic in alginate– chitosan capsules improves survival in simulated gastro-intestinal conditions. **International Journal of Food Microbiology**, 142(1-2), 185-189.
- Coakley, M., Ross, R. P., Nordgren, M., Fitzgerald, G., Devery, R. & Stanton, C. (2003). Conjugated linoleic acid biosynthesis by human-derived *Bifidobacterium* species. **Journal of Applied Microbiology**, 94(1), 45-138.

- García-Ceja A., Mani-López E., Palou E. & López-Malo A. (2015) Viability during refrigerated storage in selected food products and during simulated gastrointestinal conditions of individual and combined lactobacilli encapsulated in alginate or alginate-chitosan. **Food Science and Technology**, **63**(1), 482-489.
- George Kerry, R.; Patra, J.K.; Gouda, S.; Park, Y.; Shin, H.S. & Das, G. (2018) Benefaction of probiotics for human health: A review. **Journal of Food and Drug Analysis**, **26**, 927-939.
- Gomes, A.M.P. & Malcata, F.X. (1999). *Bifidobacterium* spp. and *Lactobacillus acidophilus*: biological, biochemical, technological and therapeutical properties relevant for use as probiotics. **Trends in Food Science and Technology**, **10**(4-5), 139-157.
- Guarner, F., Khan, G.A., Garisch, J., Eliakim, R., Gangl, A., Thomson, A., Krabshuis, J. & Lemair, T. (2011). **Probiotics and Prebiotics**. USA: World Gastroenterology Organisation.
- Hasihah, A., Punnanee, S. & Suphitchaya, C. (2014). Effect of encapsulation of selected probiotic cell on survival in simulated gastrointestinal tract condition. **Journal of Science and Technology**, **36**(3), 291-299.
- Korbekandi, H., Mortazavian, A.M. & Iravani, S. (2011). Technology and stability of probiotic in fermented milks. **Journal Food Reviews International**, **27**(2), 192-212.
- Krasaekoopt, W., Bhandari, B. & Deeth, H. (2003). Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. **International Dairy Journal**, **13**(1), 3-13.
- Lee, K.Y. & Heo, T.R. (2000). Survival of *Bifidobacterium longum* immobilized in calcium alginate beads in simulate gastric juices and bile salt solution. **Applied and Environmental Microbiology**, **66**(2), 869-873.
- Mandal, S., Puniya, A.K. & Singh K. (2006). Effect of alginate concentrations on survival of microencapsulated *Lactobacillus casei* NCDC-298. **International Dairy Journal**, **16**, 1190-1195.
- Murry, A.C., Hinton, A. & Morrison, H. (2004). Inhibition of Growth of *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium and *Clostridium perfringens* on Chicken Feed Media by *Lactobacillus salivarius* and *Lactobacillus plantarum*. **International Journal of Poultry Science**, **3**, 603-607.

- Serna-Cock, L. & Vallejo-Castillo, V. (2013). Probiotic encapsulation. **African Journal of Microbiology Research**, 7(40), 4743-4753.
- Srisuk, N. & Jirasatid, S. (2020). Characteristics co-encapsulation of *Lactobacillus acidophilus* with *Dictyophora Indusiata*. **Current Research in Nutrition and Food Science**, 8(3), 1013-1024.
- Zuidam, N.J. & Shimoni, E. (2009). Overview of microencapsulates for use in food products or processes and methods to take them. In N.J. Zuidam & V. Nedovic (Eds.), **Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing**(pp. 3-29). New York : Springer-Verlag.



ประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า กรณีศึกษา : อาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Estimated Greenhouse Gas Emissions and Cost-Effects from Flat Roof Mounted Solar Cell Installation Case Study : Animal Hospital Building Chiang

Rai Rajabhat University

ชัชชัย วรพัฒน์\*

Chatchai Vorapat

สุรัตน์ เศษโพธิ์\*

Surat Sedpho

นเรศ ไหญ่วงศ์\*\*

Naret Yaiwong

Received : September 6, 2022

Revised : April 5, 2023

Accepted : June 16, 2023

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อจำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน และวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้าของอาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย จากผลการศึกษาพบว่าสามารถติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า ขนาด 60 kWp ตลอดระยะเวลา 25 ปี สามารถผลิตไฟฟ้าได้ เท่ากับ 2,324,972 kWh และผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) พบว่าประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในการก่อสร้าง (Construction) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.19 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และจากกิจกรรมซ่อมบำรุงรักษา (Operation & Maintenance) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.01 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมรวมทั้งสิ้น เท่ากับ 0.20 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และจากการจำลองติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า (Flat Roof Mounted) ขนาด 60 kWp ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนตลอดระยะเวลาของโครงการ เท่ากับ 2,403,750 บาท พบว่ามีผลตอบแทนจากการลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง เท่ากับ

\*อาจารย์ประจำสาขาพลังงานทดแทน คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Lecturer in Alternative Energy Faculty of Energy and Environment Phayao University

\*\*อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Lecturer in Department of Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

8,459,949 บาท ตลอดระยะเวลา 25 ปี และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เท่ากับ 265,215.71 บาท มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 5.43 ปี จากผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าโครงการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าในการลงทุน

**คำสำคัญ :** ก๊าซเรือนกระจก / ระยะเวลาคืนทุน / โปรแกรมออกแบบวิเคราะห์โซล่าเซลล์/เซลล์แสงอาทิตย์

#### ABSTRACT

This research study was conducted to simulate the installation of solar cells, cost-effectiveness analysis, and greenhouse gas (GHG) emissions from solar rooftop installations of animal hospital buildings, Chiang Rai Rajabhat University (CRRU). The results of the study showed that a 60 kWp solar rooftop system can be installed over a 25-year period, capable of generating electricity equal to 2,324,972 kWh. The results of the evaluation of greenhouse gas emissions based on the product life cycle assessment (LCA) principle found that construction activities have the highest amount of greenhouse gas emissions equal to 0.19 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh. The operation and maintenance activities have greenhouse gas emissions equal to 0.01 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh and total greenhouse gas emissions from all activities equal to 0.20 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh. The simulation of installing a 60 kWp solar rooftop system (Flat Roof Mounted) resulted in an investment cost over the project period of 2,403,750 baht. The return on reduction of electricity consumption from transmission lines is 8,459,949 baht over 25 years. There is a net present value (NPV) equal to 265,215.71 baht and a payback period (PB) about 5.43 years. The positive NPV valuation results show that the solar rooftop system is worth the investment.

**Keywords :** Greenhouse Gases / Payback Period / PVsyst / Solar Cell

#### บทนำ

ปัจจุบันการดำเนินกิจกรรมในชีวิตของประชากรโลกมีความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากไฟฟ้าเข้ามามีบทบาทในการอำนวยความสะดวกสำหรับทุกกิจกรรมในชีวิตประจำวัน และการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ การพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐาน ของประชากรโลกมีแนวโน้มที่ต้องพึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสิ้น และประเทศไทยก็เป็นประเทศที่กำลังพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมเมืองอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลทำให้ประเทศไทยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง พบว่าในปี พ.ศ. 2563 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสุทธิ 191,934.55 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง และในปี พ.ศ. 2564 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสุทธิ 194,868.69 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง เพิ่มขึ้น 2,934.14 ล้านกิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 1.53 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2565) และจากข้อมูลวันที่ 30 มิถุนายน 2565 รายงานกำลังการผลิต

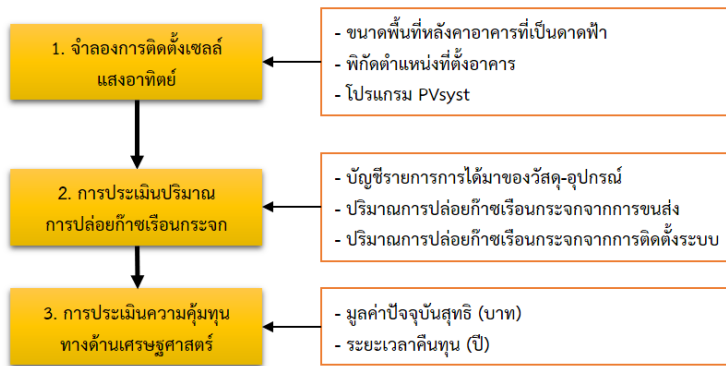
พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่ส่งเข้าระบบของการไฟฟ้ามี 2 แหล่ง คือ กำลังผลิตจากแหล่งอื่น คิดเป็นร้อยละ 65.86 และกำลังผลิตของ กฟผ. คิดเป็นร้อยละ 34.14 และสัดส่วนของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. จากแหล่งเชื้อเพลิง จากพลังความร้อน ร้อยละ 7.76 พลังความร้อนร่วม ร้อยละ 17.67 พลังงานหมุนเวียน ร้อยละ 6.54 ดีเซล ร้อยละ 0.06 และพลังงานอื่นๆ ร้อยละ 2.11 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2565) จากสัดส่วนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่ได้มาจากเชื้อเพลิงที่เป็นกลุ่มฟอสซิล ซึ่งทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกเป็นสภาวะโลกร้อน กระทรวงพลังงานได้มีการจัดทำแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2561-2580 ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ 15,464 เมกะวัตต์ โดยการเพิ่มสัดส่วนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เพื่อลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (กระทรวงพลังงาน, 2563) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเป็นหน่วยงานหนึ่งที่ได้รับงบประมาณในโครงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนในหน่วยงานภาครัฐ จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปีงบประมาณ 2560 สำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังอาคาร (Solar Rooftop) จำนวน 10 อาคาร ขนาดกำลังติดตั้ง 500 kWp ตามนโยบายของรัฐ เพื่อให้เกิดการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนให้แก่หน่วยงานภาครัฐและลดการใช้พลังงานในหน่วยงานภาครัฐ (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย, 2563) การประเมินผลประโยชน์ทางพลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารเรียนที่เป็นดาดฟ้า โดยการใช้โปรแกรม Google map ประเมินขนาดพื้นที่ และวิเคราะห์ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม RETScreen (ธนาพล และ อัครินทร์, 2560) และการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการใช้โปรแกรม Google Earth ในการคำนวณพื้นที่หลังคาอาคารที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อทำการประเมินศักยภาพเชิงเทคนิค (ณัฐพงศ์ และโสภิตสุดา, 2558) ส่วน การเลือกอาคารที่เหมาะสมจากลักษณะทางกายภาพปัจจุบันของอาคาร เช่น ร่มเงาจากสภาพแวดล้อม ทิศทางของหลังคาอาคาร เพื่อศึกษาแนวทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับลักษณะทางกายภาพของหลังคาอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พรสวรรค์, 2559) การใช้โปรแกรม PVsyst ทำการประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (ฉัตร และคนอื่นๆ 2560) และการใช้โปรแกรม PVsyst วิเคราะห์การจำลองสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กมากที่ติดตั้งใช้งานบนพื้นที่สูง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน (ธนากร และอัครินทร์, 2560) ส่วนการศึกษาจำลองสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของเทศบาลตำบลแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ด้วยโปรแกรม PVsyst (ชญัญพัทธ์ และคนอื่นๆ 2565) การประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงาน เศรษฐกิจของติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบนชั้นดาดฟ้าในอินเดีย พบว่ามีประสิทธิภาพ 75.70-84.81% และมีระยะเวลาคืนทุน 5.31-6.14 ปี (Satish & Usha, 2019)

ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงอาคารภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายยังมีศักยภาพหรือความเหมาะสมในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเลือกอาคารโรงพยาบาลสัตว์



มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่รายที่มีหลังคาที่เป็นดาดฟ้า เพื่อศึกษาศักยภาพพื้นที่ กำลังการติดตั้ง ความคุ้มค่าในการลงทุน รวมถึงปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่หรือผู้ที่สนใจต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

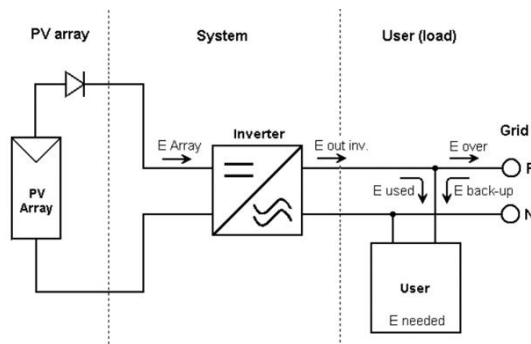


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

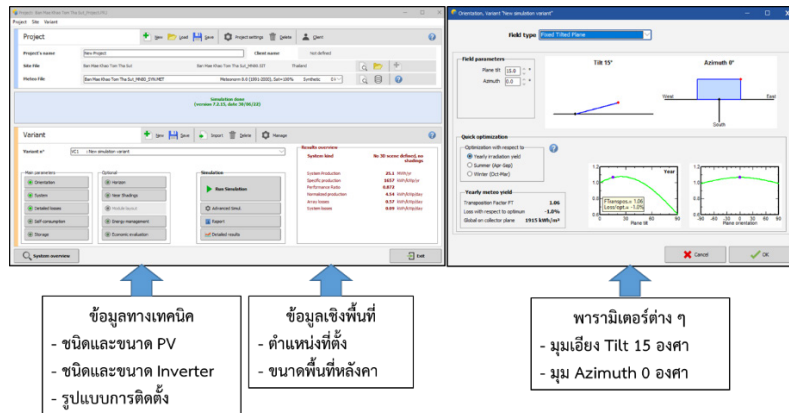
1. จำลองการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 สํารวจลักษณะทางกายภาพของอาคาร เกี่ยวกับมีสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้บังเงาพื้นที่หลังคาหรือไม่ และวัดขนาดพื้นดาดฟ้าของอาคาร โดยการวัดระยะห่างจากขอบผนัง 1 เมตร

1.2 ทำการจำลองติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม PVsyst Version 7.1 ในการวิเคราะห์การจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า แบบเชื่อมต่อการส่ง (On-Grid) ดังภาพที่ 2 และกำหนดตำแหน่งการติดตั้งที่ Latitude 19.98o N, Longitude 99.85o E, ระดับความสูง 406 m กำหนดให้มุม Azimuth 0° และมุมเอียงของแผง (Tilt) 15 องศา (มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2563) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 โดอะแกรมจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (On Grid System)



ภาพที่ 3 แผนภาพแสดงข้อมูลและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำเข้าสู่โปรแกรม PVsyst

2. การประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas: GHG)

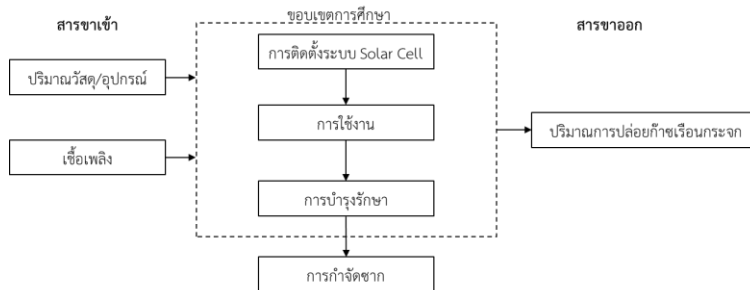
การประเมินก๊าซเรือนกระจก ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งเป็นการคำนวณจากการใช้ทรัพยากรทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากร คำนวณหาได้จากสมการ (1) และกำหนดขอบเขตการประเมินก๊าซเรือนกระจก ดังภาพที่ 4

$$GHG_i = A_i \times EF_i \tag{1}$$

โดยที่  $GHG_i$  คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจก (kg CO<sub>2eq</sub>)

$A_i$  คือ จำนวนทรัพยากรที่ i (Unit)

$EF_i$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของทรัพยากร i (kg CO<sub>2eq</sub>/Unit)



ภาพที่ 4 ขอบเขตการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า

กำหนดสมมติฐาน และขอบเขตการพิจารณารูปแบบการขนส่งโดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 16 ตัน และคิดระยะทางจากจุดจำหน่ายวัสดุ-อุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มายังมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

### 3. การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เป็นการประเมินต้นทุนต่อผลตอบแทนจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง โดยได้กำหนดข้อสมมติฐาน ดังตารางที่ 1 เพื่อใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ และระยะเวลาคืนทุน ดังต่อไปนี้

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เป็นการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB) และมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย ดังนั้น กรณีที่ผลการวิเคราะห์ NPV มีค่ามากกว่า 0 แสดงว่าโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้ามีความคุ้มค่าในการลงทุน แต่ถ้า NPV มีค่าน้อยกว่า 0 หรือมีค่าติดลบ แสดงว่าโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนดาดฟ้าไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) (พรสวรรค์, 2559)

$$NPV = PVB - PVC = \sum_{n=0}^N \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} - TIC \quad (2)$$

โดยที่  $NPV$  คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

$B_n$  คือ ผลตอบแทนในปีที่  $n$  หาได้จากค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้  $\times$  ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท)

$C_n$  คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่  $n$  เป็นค่าเปลี่ยนอุปกรณ์ และค่าบำรุงรักษา (บาท)

$i$  คือ อัตราดอกเบี้ยคิดลด (%)

$n$  คือ ระยะเวลาของโครงการ ปีที่ 0, 1, 2, ...,  $n$  (ปี)

$N$  คือ อายุของโครงการ (ปี)

$TIC$  คือ เงินลงทุนทั้งหมดตอนเริ่มต้นโครงการ (Total Investment Cost) (บาท)

- ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาที่กระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับเงินที่ลงทุน โดยระยะเวลาคืนทุนเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกสภาพความเสี่ยงของโครง ซึ่งโครงการที่มีระยะคืนทุนที่สั้นจะมีสภาพคล่องสูงและมีค่าความเสี่ยงต่ำ ระยะเวลาคืนทุนสามารถคำนวณค่า PB จากสมการที่ (3) (ณัฐพงศ์ และโสภิตสุตา, 2558)

$$PB = Y_n + \frac{CF_c}{CF_y} \quad (3)$$

โดยที่  $PB$  คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

$Y_n$  คือ จำนวนปีก่อนคืนทุน (ปี)

$CF_c$  คือ กระแสเงินสดที่เหลือ (บาท)

$CF_y$  คือ กระแสเงินสดทั้งปี จากค่าไฟฟ้า (Energy Cost Saving) ของปีที่มีการคืนทุน (บาท/ปี)

### ผลการวิจัย

ผลการศึกษาและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาออกแบบและจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า (Flat Roof Mounted Solar Cell) รวมถึงการประเมินการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

#### 1. ผลการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 ผลจากการสำรวจลักษณะทางกายภาพและขนาดพื้นที่หลังคาที่เป็นดาดฟ้า พบว่าหลังคาอาคารไม่มีต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างบังเงาและมีพื้นที่ทั้งหมด 312 ตารางเมตร ดังภาพที่ 5

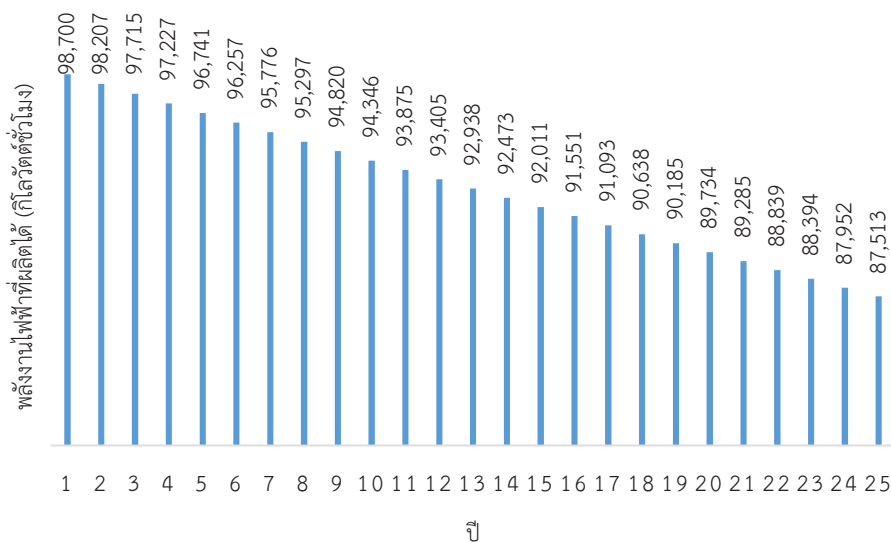


ภาพที่ 5 ลักษณะทางกายภาพและพื้นที่หลังคาที่เป็นดาดฟ้าของอาคารโรงพยาบาลสัตว์

1.2 ผลการจำลองติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามศักยภาพของพื้นที่ 312 ตารางเมตร โดยใช้โปรแกรม PV system Version 7.1 ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีกำลังการผลิตต่อแผงมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Monocrystalline กำลังผลิต 400 W รุ่น TSM-DEG15H-20-(II)-400 ที่มีใน Database ของโปรแกรม PV system Version 7.1 และเลือกใช้ Inverter รุ่น SUN2000-30KTL-A ขนาด 30 kWac ที่ผ่านมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2565 (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2565) มาใช้ในการออกแบบติดตั้ง ผลการวิเคราะห์พบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 98.70 MWh/ปี หรือ 98,700 kWh/ปี ดังตารางที่ 1 เมื่อทำการพิจารณาการลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5% ต่อปี ทำให้ในปีที่สองระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 98,207 kWh/ปี จนถึงในปีที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 87,513 kWh/ปี ทำให้ตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 2,324,972 kWh ดังภาพที่ 6

ตารางที่ 1 ผลการจำลองติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารโรงพยาบาลสัตว์ ด้วยโปรแกรม PV system

PV Array Characteristics			
PV module / Total PV Power		Inverter	
Model	TSM-DEG15H-20-(II)-400	Model	SUN2000-30KTL-A
Unit Nom. Power	400 Wp	Unit Nom. Power	30.0 kWac
Number of PV Modules	150 Units	Number of Inverter	2 Units
Nominal (STS)	60.0 kWp	Total Power	60.0 kWac
Modules	10 Strings x 15 In Series	Total Weight	112 kg
Module Area	308 m <sup>2</sup>		
Total Weight	3,420 kg		
Results Summary			
Produced Energy	98.70 MWh/year	Perf. Ratio PR	86.60 %



ภาพที่ 6 ผลการประเมินปริมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดระยะเวลา 25 ปี

2. ผลการประเมินปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

เป็นการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมต่างๆ ของขั้นตอนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า (Flat Roof Mounted) ของอาคารโรงพยาบาลสัตว์ แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (On Grid) ขนาดกำลังติดตั้ง 60 kWp ตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) แบบ Gate to Gate โดยการวิเคราะห์ปริมาณการได้มาของวัสดุ-อุปกรณ์ของสารขาเข้า และสารขาออกจากขั้นตอนการติดตั้ง การซ่อมบำรุง และการขนส่ง โดยกำหนดหน่วยทำงาน 1 kWh ดังตารางที่ 2 ส่วนขั้นตอนการใช้งานการผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงไม่มีการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากนั้นตอนการใช้งาน และระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานเกินว่าระยะเวลาของโครงการ 25 ปี ดังนั้นจึงไม่ทำการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการกำจัดซาก

ตารางที่ 2 บัญชีรายการสารขาเข้าและสารขาออกของการติดตั้งโครงสร้างระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้าสุทธิ 1 kWh

ที่	รายการ	ค่า LCI		แหล่งอ้างอิง
		ปริมาณ	หน่วย	
1	Solar Cell	1.47E-03	kg	Property TSM-DEG15H-20-(II)-400
2	Inverter	4.82E-05	kg	Property SUN2000-30KTL-A
3	Aluminium Alloy	3.30E-04	kg	Vasilis, F. (2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems (2011)
4	Stainless Steel	3.50E-05	kg	Vasilis, F. (2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems (2011)
5	Copper	1.31E-05	kg	Vasilis, F. (2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems (2011)
6	TPE Thermoplastic	7.86E-06	kg	Vasilis, F. (2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems (2011)
7	Concrete Slab	1.91E-02	kg	คู่มือการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

- ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์หาค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากปริมาณอุปกรณ์ติดตั้งโครงสร้าง (Construction) และการซ่อมบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์คูณกับค่า Emission Factor ของอุปกรณ์แต่ละชนิด ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ของการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ที่	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย			
1	Solar Cell	1.47E-03	kg	94.5	1.39E-01	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
2	Inverter	4.82E-05	kg	4.03	1.94E-04	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
3	Aluminium Alloy	3.30E-04	kg	5.14	1.70E-03	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
4	Stainless Steel	3.50E-05	kg	2.73	9.56E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
5	Copper	1.31E-05	kg	2.13	2.79E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
6	TPE Thermoplastic	7.86E-06	kg	7.56	5.95E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
7	Concrete Slab	1.91E-02	kg	2.34	3.68E-02	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
<b>รวม</b>					<b>1.86E-01</b>	

ตารางที่ 4 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการซ่อมบำรุง (Operation and Maintenance) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ที่	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย			
1	Solar Cell	1.47E-04	kg	94.5	1.39E-02	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
2	Inverter	4.82E-06	kg	4.03	1.94E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
3	Aluminium Alloy	3.30E-05	kg	5.14	1.70E-04	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013

ตารางที่ 4 (ต่อ)

ที่	รายการ	ค่า LCI		ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/หน่วย)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย			
4	Stainless Steel	3.50E-06	kg	2.73	9.56E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
5	Copper	1.31E-06	kg	2.13	2.79E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
6	TPE Thermoplastic	7.86E-07	kg	7.56	5.95E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
รวม					1.41E-02	

- ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัสดุ-อุปกรณ์ติดตั้งโครงสร้าง (Construction) และการซ่อมบำรุงรักษา (Operation and Maintenance) โดยการนำปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์คูณกับระยะทางและคูณกับค่า Emission Factor (EF) ของรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 16 ตัน ดังตารางที่ 5-6 ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้อุปกรณ์ Solar Cell และ Inverter ขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าจากกรุงเทพมหานครหรือเขตปริมณฑล มายังมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย เป็นระยะทาง 916 กิโลเมตร และส่วนที่เป็นวัสดุในการติดตั้งสามารถหาซื้อได้ตามร้านค้าภายในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ในระยะทาง 20 กิโลเมตร

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัสดุอุปกรณ์ของการติดตั้งโครงสร้าง (Construction) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ที่	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง (km)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/ ตัน-กม.)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย				
1	Solar Cell	1.47E-06	ตัน	916	0.0451	6.08E-05	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
2	Inverter	4.82E-08	ตัน	916	0.0451	1.99E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
3	Aluminium Alloy	3.30E-07	ตัน	20	0.0451	2.98E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
4	Stainless Steel	3.50E-08	ตัน	20	0.0451	3.16E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013



ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ที่	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง (km)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/ ตัน-กม.)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย				
5	Copper	1.31E-08	ตัน	20	0.0451	1.18E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
6	TPE Thermoplastic	7.86E-09	ตัน	20	0.0451	7.10E-09	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
<b>รวม</b>						<b>6.31E-05</b>	

ตารางที่ 6 ผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัสดุอุปกรณ์ของการซ่อมบำรุง  
(Operation and Maintenance) ต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

ที่	รายการ	ค่า LCI		ระยะทาง (km)	ค่า EF (kgCO <sub>2</sub> eq/ ตัน-กม.)	ผลคูณ (kgCO <sub>2</sub> eq)	แหล่งที่มาของ ข้อมูล EF
		ปริมาณ	หน่วย				
1	Solar Cell	1.47E-07	ตัน	916	0.0451	6.08E-06	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
2	Inverter	4.82E-09	ตัน	916	0.0451	1.99E-07	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
3	Aluminium Alloy	3.30E-08	ตัน	20	0.0451	2.98E-08	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
4	Stainless Steel	3.50E-09	ตัน	20	0.0451	3.16E-09	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
5	Copper	1.31E-09	ตัน	20	0.0451	1.18E-09	Ecoinvent 2.0, IPCC 2013
6	TPE Thermoplastic	7.86E-10	ตัน	20	0.0451	7.10E-10	Ecoinvent 2.0, IPCC 2007
<b>รวม</b>						<b>6.31E-06</b>	

สรุปผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็น  
ดาดฟ้า (Flat Roof Mounted) ต่อขนาดกำลังการผลิต 1 kWh และการบำรุงรักษา โดยทำการวิเคราะห์จาก  
ปริมาณการใช้วัสดุ-อุปกรณ์และการขนส่งที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction) และการซ่อมบำรุงรักษา  
(Operation & Maintenance) ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สรุปผลการประเมิน GHG จากปริมาณของวัสดุอุปกรณ์ และจากการขนส่งต่อการผลิตไฟฟ้า 1 kWh

กิจกรรม	การปล่อย GHG จากปริมาณวัสดุ-อุปกรณ์ kgCO <sub>2</sub> eq	การปล่อย GHG จากการขนส่ง kgCO <sub>2</sub> eq	ผลรวม kgCO <sub>2</sub> eq
Construction	0.19	6.31E-05	0.19
Operation & Maintenance	0.01	6.31E-06	0.01
รวม			0.20

จากตารางที่ 7 สรุปผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมในการก่อสร้าง (Construction) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.19 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และจากกิจกรรมซ่อมบำรุงรักษา (Operation & Maintenance) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.01 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมรวมทั้งหมด เท่ากับ 0.20 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.22 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh จากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) ขนาด 0.5 MW (การุณย์, 2562) และมีปริมาณต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.5986 KgCO<sub>2</sub>e/kWh ของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2564) ซึ่งหมายความว่า การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้าของ อาคารโรงพยาบาลสัตว์ ขนาด 60 kWp มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการผลิตไฟฟ้าของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย เมื่อเทียบกับการผลิตไฟฟ้าต่อ 1 kWh

### 3. ผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

เป็นการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในรูปของมูลค่าปัจจุบันสุทธิและระยะเวลาคืนทุนของโครงการตลอดระยะเวลา 25 ปี จากสมการที่ (3) และ (4) โดยใช้ข้อมูลจากการจำลองติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า ขนาดกำลังติดตั้ง 60 kWp จากการศึกษาค่าใช้จ่ายการติดตั้ง Solar Rooftop ของ ธนาพล ตันติสัตยกุล พ.ศ. 2562 พบว่ามีค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30-50 บาทต่อวัตต์ (ธนาพล, 2562) ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่ลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 30 บาทต่อวัตต์ มีค่าการเปลี่ยน Inverter ตามระยะเวลารับประกันทุก ๆ 10 ปี และค่าบำรุงรักษา 1% ของต้นทุนต่อปี ทำให้ตลอดระยะเวลา 25 ปี ทำให้มีต้นทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 2,403,750 บาท ส่วนการคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟจากสายส่ง จึงทำการคิดตามช่วงเวลาของการใช้ไฟแบบ TOU โดยวิเคราะห์อัตราค่าไฟฟ้าในช่วง On-Peak และ Off-Peak จากวันเวลาทำการและวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ของปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมหาวิทยาลัยเป็นผู้ลงทุนในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงใช้อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประเภทลูกค้ายาวใหญ่ขั้นดีเฉลี่ย 0.5% (MLR) ข้อมูลจากธนาคารแห่งประเทศไทย ณ ประจำวันที่ 4 มิถุนายน

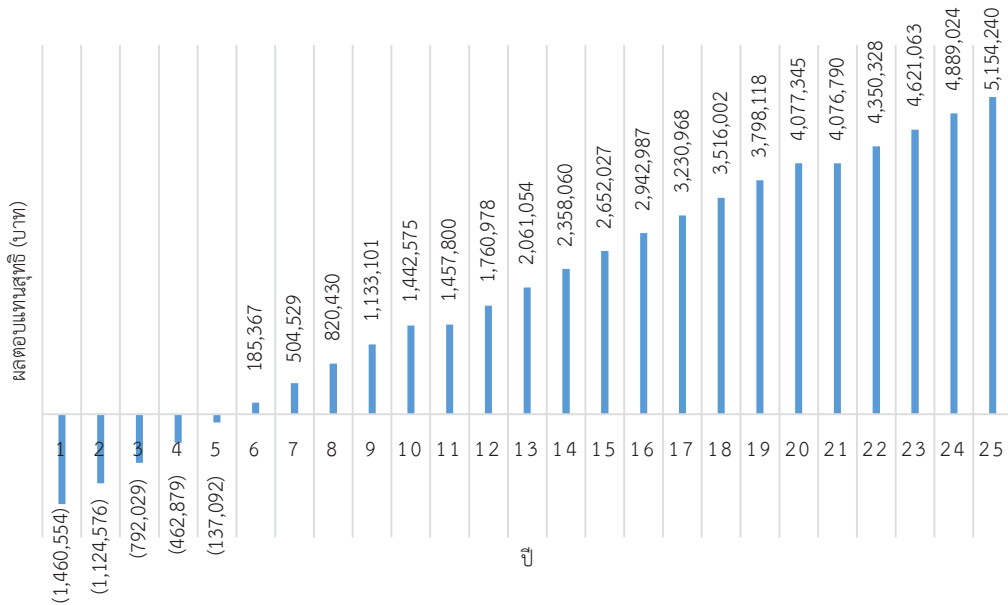
## สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

2564 และได้กำหนดข้อสมมติฐานในรายละเอียดการศึกษาความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ดังตารางที่ 8 จากผลการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าเมื่อสิ้นสุดโครงการ 25 ปี มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 265,215.71 บาท และมีระยะเวลาคืนทุน 5.43 ปี ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 8 สมมติฐานในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ (ซัชชัย และคนอื่นๆ 2564)

ข้อมูล	สมมติฐาน
ต้นทุนทั้งระบบ	30 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง
ค่าบำรุงรักษา	1% ของต้นทุนต่อปี
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	
- อายุการใช้งาน	25 ปี
- การลดทอนประสิทธิภาพ	0.5% ต่อปี (เริ่มจากปีที่ 2)
อินเวอร์เตอร์	
- อายุการใช้งาน	10 ปี ตามระยะเวลาประกันอุปกรณ์
- ต้นทุน (กรณีเปลี่ยน Inverter ใหม่ในปีที่ 11 และ 21)	5.125 บาทต่อวัตต์รวมค่าติดตั้ง (จากใบเสนอราคา เดือน พ.ย. 2560)
อัตราค่าไฟฟ้าในระบบ TOU ประเภท 4.2.2 ขนาด 22-33 กิโลวัตต์	
- On-Peak + Ft	4.1839 บาทต่อหน่วย
- Off-Peak + Ft	2.6037 บาทต่อหน่วย
สัดส่วนจำนวนวัน	
- On-Peak : Off-Peak	65.5% : 34.5% (คำนวณสัดส่วนจากจำนวนวันในปี 2561)
อัตราส่วนลด หรืออัตราดอกเบี้ยต่อปี	0.5% (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2565)



ภาพที่ 7 ผลการประเมินจุดความคุ้มค่าจากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (flat roof mounted)

### อภิปรายผล

จากการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบ On-Gird บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้าของอาคารโรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย โดยการจำลองการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามศักยภาพพื้นที่หลังคาที่เป็นดาดฟ้า 312 ตารางเมตร ด้วยโปรแกรม PVsyst 7.1 พบว่าสามารถติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ขนาด 60 kWp ใช้พื้นที่ในการติดตั้ง 302 ตารางเมตร และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 98,700 kWh/ปี ในปีแรก เมื่อทำการพิจารณาการลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ 0.5% ต่อปี ทำให้ในปีที่สองระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 98,207 kWh/ปี จนถึงในปีที่ 25 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 87,513 kWh/ปี และตลอดระยะเวลา 25 ปี ระบบเซลล์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทั้งหมด 2,324,972 kWh ส่วนผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ Life Cycle Assessment (LCA) โดยการวิเคราะห์ตามปริมาณการได้มาของวัสดุ-อุปกรณ์ของสารขาเข้าและสารขาออกจากขั้นตอนการติดตั้ง การซ่อมบำรุง และการขนส่ง ในรูปของปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 1 kWh พบว่าจากผลการประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุ-อุปกรณ์ในการก่อสร้าง (Construction) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.19 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และจากกิจกรรมซ่อมบำรุงรักษา (Operation & Maintenance) มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.01 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh และมีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมรวมทั้งสิ้น เท่ากับ 0.20 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop) ขนาด 0.5 MW มหาวิทยาลัยพะเยา ที่มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เท่ากับ 0.22 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh (การุณย์, 2562) และระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่

เป็นดาดฟ้าของอาคารโรงพยาบาลสัตว์ ขนาด 60 kWp มีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าต่อ 1 kWh ของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย เท่ากับ 0.5986 KgCO<sub>2</sub>e/kWh (องค์การบริการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2564) เมื่อพิจารณาปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกิจกรรมของโครงการทั้งหมด เท่ากับ 476,091.57 kgCO<sub>2</sub>e จากการจัดติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่เป็นดาดฟ้า (Flat Roof Mounted) ขนาด 60 kWp ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนจากค่าวัสดุ-อุปกรณ์ ค่าติดตั้ง ค่าเปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ และค่าบำรุงรักษาตลอดระยะเวลา 25 ปี รวมเป็นเงิน 2,403,750 บาท และมีผลตอบแทนจากการคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทดแทนการใช้ไฟจากสายส่ง แบบ TOU โดยวิเคราะห์หัตถราคาไฟฟ้าในช่วง On-Peak และ Off-Peak จากวันเวลาทำการและวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ของปี พ.ศ. 2561 เป็นปีฐาน พบว่าตลอดระยะเวลา 25 ปี มีผลตอบแทนจากการลดการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง 8,459,949 บาท และมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) ค่าเท่ากับ 265,215.71 บาท มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) 5.43 ปี ในทำนองเดียวกันของการศึกษาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (พรสวัสดิ์, 2559) ที่ได้สมมติฐานอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ 8.20 % ต่อปี มีค่าอุปกรณ์และค่าติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 57 บาทต่อวัตต์ มีระยะเวลาคืนทุน 11.76 ปี และมีค่า NPV ติดลบ จึงทำให้โครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดสมมติฐานให้มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายลงทุนเองจากงบประมาณรายได้ของมหาวิทยาลัย จึงคิดค่าการเสียโอกาสจากการได้รับดอกเบี้ยเงินฝากที่อัตราดอกเบี้ย 0.5% ต่อปี และคิดอัตราค่าวัสดุ-อุปกรณ์ ค่าติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 30 บาทต่อวัตต์ ทำให้โครงการมีระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น และผลการประเมินมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าโครงการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้นในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสิ่งสำคัญอันดับแรกในการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ควรมีการพิจารณาต้นทุนในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (บาท/วัตต์) และอัตราดอกเบี้ยจากแหล่งเงินทุนประกอบการพิจารณาการดำเนินโครงการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และผลจากการศึกษาของงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางพิจารณาอาคารที่มีศักยภาพในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายเพิ่มเติม เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ไฟฟ้าจากสายส่ง หรือเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนอาจารย์และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลสัตว์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ที่ให้การสนับสนุนและให้การช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2565). รายงานประจำปี 2564. [Online]. Available : <https://www.egat.co.th/home/annual-report/> [2565, มิถุนายน 15].
- กระทรวงพลังงาน. (2563). แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561-2580. [Online]. Available : [http://www.eppo.go.th/images/Infomation\\_service/public\\_relations/PDP2018/PDP2018Rev1.pdf](http://www.eppo.go.th/images/Infomation_service/public_relations/PDP2018/PDP2018Rev1.pdf) [2565, มิถุนายน 15].
- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2565). **รายชื่อผลิตภัณฑ์อินเวอร์เตอร์ที่ผ่านหลักเกณฑ์การขึ้นทะเบียนของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค.** [Online]. Available : [https://www.pea.co.th/Portals/0/PEAContent/eee/aee\\_div/reg equip/PEA-InverterList-4-2565.pdf](https://www.pea.co.th/Portals/0/PEAContent/eee/aee_div/reg equip/PEA-InverterList-4-2565.pdf) [2565, พฤษภาคม 2].
- การุณย์ ชัยวัฒน์ชัย. (2562). การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกด้วยการจัดการไฟฟ้าบนเครือข่ายสมาร์ตกริด. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยา.
- ฉัตร ผลนาค, จอมภพ แวค์ศักดิ์, สมพล ชีวมงคลกานต์ และปราณี หนูทองแก้ว. (2560). การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, 20(ฉบับพิเศษ), 261-268.
- ชัชชัย วรพัฒน์, สุรัตน์ เศษโพธิ์ และปรเมษฐ์ สิทธิสันต์. (2564). ประเมินศักยภาพและความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษา: อาคารสำนักงานคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. **วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี**, 16(2). 117-126.
- ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ และโสภิตสุดา ทองโสภิต. (2558). การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. **วารสารวิจัยพลังงาน**, 12(2), 59-74.
- ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2565). อัตราดอกเบี้ย. [Online]. Available : [https://app.bot.or.th/BTWS\\_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=223&language=TH](https://app.bot.or.th/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=223&language=TH) [2565, มิถุนายน 10].
- ธนาคาร ปัญญาสิทธิ์ และอัครินทร์ อินทนิเวศน์. (2560). การจำลองสมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กมากที่ติดตั้งใช้งานบนพื้นที่สูง อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน. ใน **การประชุมวิชาการเรื่อง การถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ (ครั้งที่ 16). ระหว่างวันที่ 23-24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560**(หน้า 277-287). เชียงใหม่ : ศูนย์ฝึกอบรมธนาคารไทยพาณิชย์ เชียงใหม่.

- ธนาพล ตันดีสัตยกุล. (2562). การวิเคราะห์เปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ระหว่างการเป็นเจ้าของกับการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าจากเอกชน กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 28(8), 501-515.
- ธัญญพัทธ์ ทิพย์สุภวงศ์, วัชรระ วงศ์ปัญญา, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, เกศนีย์ อินอ้าย และวราคม วงศ์ชัย. (2565). การจำลองสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา แบบเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง ของเทศบาลตำบลแม่เมาะ จังหวัดลำปาง. **วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)**, 17(1), 81-97.
- พรสวรรค์ พิริยะศรัทธา. (2559). การใช้เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เพื่อการประหยัดพลังงาน. **วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 15(1), 183-200.
- มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. (2563). รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนใน หน่วยงานภาครัฐ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย งบประมาณปี 2560. เชียงราย : มหาวิทยาลัย ราชภัฏเชียงราย
- องค์การบริการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน. (2564). **Emission Factor**. [Online]. Available : [http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts\\_af09c20f4f.pdf](http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_af09c20f4f.pdf) [2565, มิถุนายน 15].
- Satish Kumar Yadav and Usha Bajpai. (2019). Energy, economic and environmental performance of a solar rooftop photovoltaic system in India. [Online]. Available : <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786451.2019.1641499?journalCode=gsol20> [2565, มิถุนายน 15].
- Vasilis Fthenakis, Hyung Chul Kim, Rolf Frischknecht, Marco Raugei, Parikhit Sinha & Matthias Stucki, (2011). Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems. [Online]. Available : [http://www.clca.columbia.edu/Task12\\_LCI\\_LCA\\_10\\_21\\_Final\\_Report.pdf](http://www.clca.columbia.edu/Task12_LCI_LCA_10_21_Final_Report.pdf) [2565, พฤษภาคม 20].



## การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง

## Development of Snack Product from Pumpkin Flour

กรรณิการ์ อ่อนสำลี\*

Gannigar Onsamlee

ศิริลดา ศรีกอก\*

Sirilada Srikok

Received : December 23, 2022

Revised : February 24, 2023

Accepted : June 15, 2023

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาคุณภาพแป้งฟักทอง 2) ศึกษาคุณภาพขนมขบเคี้ยว 3) ศึกษาปริมาณแป้งฟักทองที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง 4) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง ผลการศึกษาพบว่าการผลิตแป้งฟักทองพันธุ์ศรีเมือง มีปริมาณน้ำอิสระ ( $a_w$ ) เท่ากับ 0.31 ค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) เท่ากับ 57.12, 5.04, 29.44 จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง พบว่าปริมาณแป้งฟักทองที่เหมาะสมเท่ากับ ร้อยละ 15 ของส่วนผสมแป้งทั้งหมด โดยส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากแป้งฟักทอง ประกอบด้วย แป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 23.16 แป้งข้าวเหนียว ร้อยละ 23.16 แป้งฟักทอง ร้อยละ 8.18 ผงมอลต์ ร้อยละ 1.73 นมผงเลซิทิน ร้อยละ 1.71 เกลือ ร้อยละ 0.06 น้ำตาล ร้อยละ 10.00 น้ำ ร้อยละ 30.00 ผงฟู ร้อยละ 1.00 ตามลำดับ มีปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ 0.37 ค่าสี เท่ากับ 57.12, 5.04 และ 29.44 ตามลำดับ ค่าความแข็ง และความกรอบ เท่ากับ 3.21 และ 5.34 นิวตัน ตามลำดับ คุณภาพองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย ไขมัน และ ความชื้น มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 58.56, 4.62, 31.10, 1.49, 2.77 และ 2.94 ตามลำดับ พลังงานทั้งหมดเท่ากับ 532.64 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณจุลินทรีย์และยีสต์ราอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในระดับชอบมาก (8.16 คะแนน) ผลิตภัณฑ์เก็บรักษาอุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) ในถุงโพลีโพรพิลีน เป็นเวลาอย่างน้อย 28 วัน

คำสำคัญ : ขนมขบเคี้ยว / ฟักทอง / แป้งฟักทอง/ อายุการเก็บรักษา

\*อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Lecturer of Food Science and Technology Faculty of Science and Technology Thepsatri Rajabhat

University e-mail: gannigar.w@lawasri.tru.ac.th



#### ABSTRACT

This research aims to (i) study the quality of pumpkin flour (ii) study the quality of snack (iii) study the optimum content of the pumpkin flour in the formulas of snack product (iv) study the shelf life of snack from pumpkin flour. The result revealed that the processing of pumpkin flour (Sri Mueang Cultivar) The water activity ( $a_w$ ) was 0.31, Color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) were 57.12, 5.04, 29.44. The development of snacks from pumpkin flour showed that the optimum of the pumpkin flour was 15% of total flour and snacks from pumpkin flour this formula contained 23.16% of rice flour, 23.16% of glutinous rice flour, 8.18% of pumpkin flour, 1.73% of malt powder, 1.71% of milk powder, 0.06% of lecithin, 1.00% of salt, 10.00% of sugar, 1.00% of baking powder, 30% of water. The water activity ( $a_w$ ) and color values ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) were 0.37 and 57.12, 5.04, 29.44 respectively. The hardness and crispness of product were 3.21 and 5.34 N respectively. The nutrition analysis showed that the developed product consisted of carbohydrates; protein, fat, crude fiber, ash and moisture were 58.56, 4.62, 31.10, 1.49, 2.77 and 2.94% with 532.64 kcal/100 grams of the total energy respectively. The final product were acceptable according to the Thai community product standard. The consumer acceptance of the product was in the level of 'like very much' (8.16 scores). The shelf life of the product packed in polypropylene plastic container at room temperature (25-28 °C) at least 28 days

**Keywords :** Snack / Pumpkin / Pumpkin Flour / Shelf Life

#### บทนำ

จังหวัดลพบุรี อำเภอพัฒนานิคม มีพื้นที่ทั้งหมด 848 ตารางกิโลเมตร หรือ 530,000 ไร่ พื้นที่ทางการเกษตร 314,459 ไร่ ประกอบด้วยอาชีพด้านกสิกรรม ด้านปศุสัตว์ และพืชไร่เป็นบางส่วน พืชไร่ที่ได้ผลผลิตมากในอำเภอพัฒนานิคม ได้แก่ อ้อย ข้าวโพด มันสำปะหลัง พืชสวน ได้แก่ ฟักทอง เป็นพืชที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรและยังเป็นพืชที่ให้คุณค่าทางอาหารสูง (สำนักงานเกษตรอำเภอพัฒนานิคม จังหวัดลพบุรี, 2565) มีอายุเก็บเกี่ยว 120 วัน ผลผลิต 1,250 กิโลกรัม ราคาขาย 15 บาท ต่อกิโลกรัม ซึ่งมีราคาไม่สูง (เทคโนโลยีชาวบ้าน, 2566) และมีการนำฟักทองมาขายในรูปผลสด และมีกลุ่มวิสาหกิจที่เคยทำการแปรรูปเป็นขนมไทยจากฟักทอง ขนมถ้วยฟูฟักทอง ทองม้วนสดฟักทองแต่ยังไม่เกิดความยั่งยืนเนื่องจาก หลายปัจจัย เช่น อายุการเก็บรักษาสั้น บรรจุภัณฑ์ไม่เหมาะสม จึงมีแนวทางพัฒนาเป็นขนมขบเคี้ยวที่เก็บไว้ได้นาน เป็นของฝากได้ สามารถทานได้ทุกเพศทุกวัยเป็นอาหารที่ทำง่ายทั้งส่วนประกอบ และกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน มีอุปกรณ์และเครื่องมืออย่างง่ายสามารถผลิตได้เอง ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ เป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่สามารถทำให้ชุมชนได้นำไปสร้างรายได้ เพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรอีกทางเลือกหนึ่ง

ฟักทอง (Pumpkin) มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Cucurbita moschata* เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างกลมแบน ผิวขรุขระเล็กน้อย น้ำหนักประมาณ 2-15 กิโลกรัม ฟักทองไทยมีหลายสายพันธุ์ มีทั้งพันธุ์แท้และพันธุ์ผสม สำหรับอำเภอพัฒนานิคมมีการปลูกฟักทองพันธุ์ศรีเมืองจำนวนมาก นำมาปรุงอาหารได้หลากหลายชนิดทั้งคาวหวาน และอาหารว่าง ฟักทองเป็นพืชที่มีปริมาณแป้ง น้ำและเส้นใยในอาหารสูงแต่แคลอรีต่ำ จึงเหมาะเป็นอาหารสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก และเนื้อฟักทองประกอบไปด้วยวิตามินเอ วิตามินซี คาร์โบไฮเดรต ฟอสฟอรัส แคลเซียม เพคติน ปริมาณน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ (Ping, Jiecai, Qingyan & Lizhen, 2002; Elinge, et al, 2012) สารเบต้าแคโรทีนในเนื้อฟักทองอยู่ในช่วง 0.18-1.98 mg/100 g FW (รัชชานนท์, วรลักษณ์ และอัญมณี, 2562) และมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งหลอดเลือด หัวใจตีบ และโรคหัวใจ ทำให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งสดใส ชะลอความแก่ และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกหลายอย่าง (เมตตา, 2554)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว (Snack food) เป็นอาหารว่างที่รับประทานได้ง่าย มีหลากหลายรูปแบบ และหลากหลายรสชาติให้เลือก เด็กและทุกช่วงวัยนิยมรับประทานขนมขบเคี้ยว ซึ่งส่วนใหญ่ ประกอบด้วยไขมัน แป้ง และน้ำตาลปริมาณมาก (เนตรนภิส, เพลินใจ และวรรณดี, 2550) จัดเป็นรูปแบบอาหารที่มีพลังงานสูง เมื่อรับประทานเป็นประจำทำให้น้ำหนักร่างกายเกินกว่ามาตรฐานและมีโอกาสเป็นโรคอ้วน ไขมัน ความดันโลหิตสูง ไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคไต การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวที่มีคุณค่าทางอาหาร จึงเป็นแนวทางหนึ่ง เพื่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้บริโภคมากที่สุด การนำฟักทองมาเป็นส่วนผสมในการผลิตจึงเป็นการเพิ่มคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากฟักทองมีใยอาหารสูงสีเหลืองส้ม มีสารต้านอนุมูลอิสระ และสามารถป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัวและโรคจอประสาทตาเสื่อม ฟักทองเป็นพืชผักที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูงเป็นสารตั้งต้นของวิตามินเอ อยู่ในกลุ่มแคโรทีนอยด์ (Murkovic, Mülleder & Neunteufl, 2002) ประโยชน์นี้ทำให้ฟักทองช่วยลดโอกาสการเกิดโรคต่างๆ ซึ่งการใช้ฟักทองในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว เป็นการพัฒนาให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ และเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

ดังนั้นจุดมุ่งหมายของการทำวิจัยนี้จะนำเอาฟักทองที่เป็นของดีของอำเภอพัฒนานิคม เนื่องจากฟักทองมีคุณค่าโภชนาการที่ดี โดยมาทำเป็นแป้งและศึกษาคุณภาพของแป้งฟักทอง นำมาแปรรูปเป็นขนมขบเคี้ยวโดยศึกษาอัตราส่วนการทดแทนของแป้งฟักทองที่เหมาะสม รวมถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง ผลิตภัณฑ์นี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับฟักทองและส่งเสริมให้เป็นสินค้าและของฝากของอำเภอพัฒนานิคมให้สามารถสร้างรายได้ให้แก่ชุมชนต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การผลิตแป้งฟักทองและการศึกษาคุณภาพแป้งฟักทอง

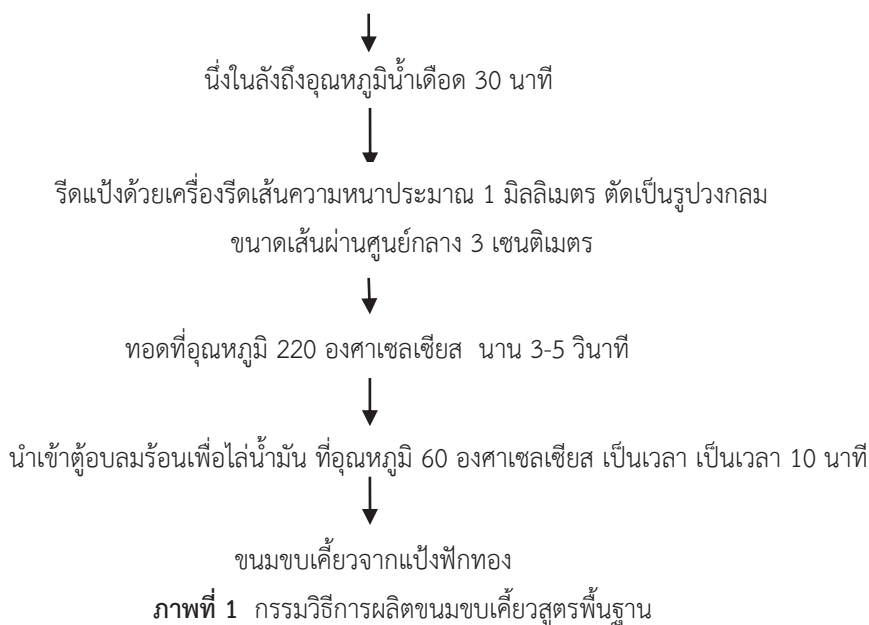
นำฟักทอง พันธุ์ศรีเมืองลูกขนาดกลางผลแก่ อายุ 120-180 วัน นำมาปอกเปลือก เอาเมล็ดออก หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ หนาประมาณ 1 มิลลิเมตร เรียงใส่ถาดและนำไปอบในตู้อบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง หรือ ปริมาณน้ำอิสระ  $\leq 0.6$  หรือ ความชื้น (ร้อยละ)  $\leq 14$  นำมาบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบดบรรจุใส่ถุงโพลีโพรพิลีนขนาด 500 กรัม จากนั้นนำแป้งฟักทองที่ได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพ

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

## 2. ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

นำส่วนผสมผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยส่วนผสมได้แก่ แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 27.25 แป้งข้าวเหนียวร้อยละ 27.25 ผงมอลต์สกัด ร้อยละ 1.73 นมผงขาดมันเนย ร้อยละ 1.71 เลซิทีน ร้อยละ 0.06 เกลือ ร้อยละ 1.00 น้ำตาลทราย ร้อยละ 10.00 ผงฟู ร้อยละ 1.00 และน้ำ ร้อยละ 30.00 (ศิริรัตน์, 2553) ทำการแปรรูปผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยกรรมวิธีการแปรรูป (วิลาสินี, 2554) ดังภาพที่ 1

นำแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว ผงมอลต์สกัด นมผงขาดมันเนย เลซิทีน น้ำตาลทราย เกลือ ผงฟูและน้ำ มาผสมให้เข้ากัน



ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analysis) วัดค่าสี วิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี ได้แก่ ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า ความชื้น และพลังงานทั้งหมดโดยการคำนวณ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

## 3. ศึกษาปริมาณแป้งสักทองที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยว

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งสักทอง ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยศึกษาปริมาณแป้งสักทอง 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, ร้อยละ 5, ร้อยละ 10, ร้อยละ 15, ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งทั้งหมด (ร้อยละ 54.50) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวในการทดแทนปริมาณแป้งฟักทอง 6 ระดับ

ส่วนผสม	ปริมาณ (ร้อยละ)					
	สูตรควบคุม	5	10	15	20	25
แป้งฟักทอง	0	2.73	5.45	8.18	10.90	13.62
แป้งข้าวเจ้า	27.25	25.89	24.53	23.17	21.8	20.44
แป้งข้าวเหนียว	27.25	25.89	24.53	23.17	21.8	20.44
ผงมอลต์สกัด	1.73					
นมผงขาดมันเนย	1.71					
เลซีทีน	0.06					
เกลือ	1.00					
น้ำตาลทราย	10.00					
ผงฟู	1.00					
น้ำ	30.00					

ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ร้อยละความชื้น และการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส จากนั้น นำสูตรที่ได้รับความนิยมมากที่สุดมาวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

4. ศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง

นำขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทองเก็บรักษาอาหารในอุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) โดยบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ถุงละ 25 กรัม เนื่องจากสามารถป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและอากาศได้ บรรจุปิดสนิทเป็นเวลา 28 วัน สุ่มตัวอย่างและทำการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกๆ สัปดาห์ การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ วิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และ รา การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส

5. การวิเคราะห์คุณภาพและสถิติวิเคราะห์

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ปริมาณน้ำอิสระ การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส โดยวัดความแข็ง (Hardness) และความกรอบ (Crispness) ใช้หัวใบมีด knife edge blade (HDP/BS) และฐาน heavy duty platform (HDP/90) (Bastos-Cardoso, Zazueta-Morales, Martinez-Bustos & Kil-Chang, 2007) วัดค่าสี ระบบ CIE โดยใช้ระบบ Hunter ด้วยเครื่องวัดสี Color measure quality

คุณภาพทางเคมี ได้แก่ วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย ไขมัน ความชื้น ตามวิธี AOAC (2000) ค่าความหืน (Thiobarbituric acid: TBA) (Pearson, 1999)

คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2000) ปริมาณยีสต์ และ รา (AOAC, 2000) การวิเคราะห์คุณภาพเคมีกายภาพโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ แล้ว

นำผลทดสอบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย Analysis of variance (ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ 9-point hedonic scale (ไพโรจน์, 2561) กับผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 50 คน วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) แล้วนำผลทดสอบมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วย Analysis of variance (ANOVA) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### ผลการวิจัย

#### 1. ผลการศึกษาคุณภาพแป้งฟักทอง

คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าปริมาณน้ำอิสระ มีค่าเท่ากับ  $0.31 \pm 0.09$  ค่าสี ( $L^* a^* b^*$ ) โดยค่าสี ( $L^*$ ) มีค่าเท่ากับ  $72.41 \pm 0.08$  ค่าสี ( $a^*$ ) มีค่าเท่ากับ  $6.25 \pm 0.36$  และ ค่าสี ( $b^*$ ) มีค่าเท่ากับ  $39.80 \pm 1.90$  คุณภาพทางเคมี ความชื้นของแป้งฟักทอง มีค่าเท่ากับ ร้อยละ  $3.16 \pm 0.23$  อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งกล้วย มพช.1375/2550 ที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า กากใย และพลังงานทั้งหมด มีค่าเท่ากับ  $75.82 \pm 0.53$ ,  $10.68 \pm 2.6$ ,  $3.50 \pm 0.14$ ,  $6.80 \pm 0.05$ ,  $3.52 \pm 1.40$  และ  $376.93 \pm 2.93$  ตามลำดับ

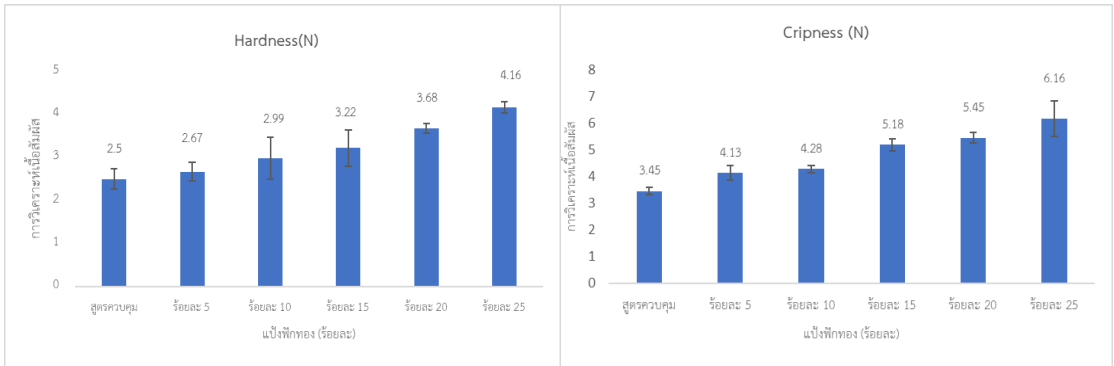
#### 2. ผลการศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพ มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ของขนมขบเคี้ยวเท่ากับ  $0.37 \pm 0.09$  ค่าความแข็ง เท่ากับ 2.49 นิวตัน และค่าความกรอบ เท่ากับ 3.44 นิวตัน ค่าสี  $L^*$  มีค่าเท่ากับ  $61.99 \pm 0.29$   $a^*$  คือ มีค่า เท่ากับ  $3.17 \pm 0.23$  และ  $b^*$  มีค่า เท่ากับ  $10.88 \pm 0.97$  องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ร้อยละความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และพลังงานทั้งหมด มีค่าเท่ากับร้อยละ  $3.17 \pm 0.23$ ,  $55.36 \pm 0.76$ ,  $1.48 \pm 0.17$ ,  $36.83 \pm 0.70$ ,  $1.71 \pm 0.08$ ,  $1.45 \pm 0.16$  และ  $558.83 \pm 3.65$  กิโลแคลอรี/100 กรัม ตามลำดับ การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 – point hedonic scale ผู้ทดสอบให้คะแนนในด้านสี กลิ่น ความกรอบ เนื้อสัมผัส รสชาติ ความชอบโดยรวม อยู่ในระดับ ชอบปานกลาง (7.23-7.97 คะแนน)

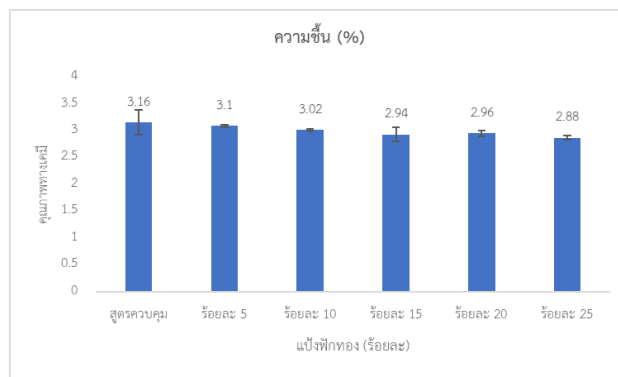
#### 3. ผลศึกษาปริมาณแป้งฟักทองที่เหมาะสมในการผลิตขนมขบเคี้ยว

การใช้ปริมาณแป้งฟักทอง 6 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0, ร้อยละ 10, ร้อยละ 15, ร้อยละ 20 และ ร้อยละ 25 ของปริมาณแป้งทั้งหมด (ร้อยละ 54.50) ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีค่าปริมาณน้ำอิสระ ระหว่าง 0.37-0.40 ปริมาณแป้งฟักทองไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ค่าสี ( $L^* a^* b^*$ ) มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีค่าระหว่าง 37.31-61.99 ค่าสีแดง ( $a^*$ ) มีค่าระหว่าง 3.17-10.37 และ ค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) มีค่าระหว่าง 10.88-33.63 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส พบว่า ปริมาณแป้งฟักทอง ส่งผลต่อความแข็งและความกรอบของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังภาพที่ 2 เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้โปรตีนในแป้งเกิดการสูญเสียสภาพธรรมชาติ สัมพันธ์กับร้อยละความชื้นที่ลดลง

จะทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารที่ผ่านการทอดมีความแข็งและความกรอบสูงขึ้น (นิธิยา, 2548) ขนมขบเคี้ยวทั้ง 6 ระดับ มีค่าความชื้นอยู่ระหว่าง ร้อยละ 2.88-3.16 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์หาลักษณะเนื้อสัมผัสผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ที่มีปริมาณแบ่งฟักทองระดับต่างๆ



ภาพที่ 3 ร้อยละความชื้นของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยว ที่มีปริมาณแบ่งฟักทองระดับต่างๆ

ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ทางด้านสี กลิ่น ความกรอบ เนื้อสัมผัส รสชาติ และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแบ่งฟักทอง 6 ระดับ พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณแบ่งฟักทอง ส่งผลต่อคะแนนความชอบในด้านสีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ด้านความกรอบ เนื้อสัมผัส รสชาติ และ ความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณแบ่งฟักทองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในขณะที่ปริมาณฟักทองที่ระดับร้อยละ 20-25 ส่งผลต่อคะแนนรสชาติต่ำ สัมพันธ์กับคะแนนความชอบด้านกลิ่น และด้านสีที่ผู้บริโภคไม่ชื่นชอบ ซึ่งปริมาณแบ่งฟักทอง ร้อยละ 15 ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุด อยู่ในระดับคะแนนชอบมาก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากแป้งฟักทอง 6 ระดับ

แป้ง ฟักทอง ร้อยละ	คุณภาพทางประสาทสัมผัส (คะแนน)					
	สี	กลิ่น	ความกรอบ	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบ โดยรวม
0	6.82 <sup>b</sup> ± 0.71	6.93 <sup>bc</sup> ± 0.63	6.86 <sup>c</sup> ± 1.68	6.86 <sup>c</sup> ± 1.62	6.16 <sup>d</sup> ± 1.74	7.06 <sup>d</sup> ± 1.67
5	6.51 <sup>c</sup> ± 1.22	6.56 <sup>c</sup> ± 1.16	6.96 <sup>bc</sup> ± 2.02	6.98 <sup>c</sup> ± 1.93	6.76 <sup>dc</sup> ± 1.83	6.73 <sup>d</sup> ± 2.03
10	6.94 <sup>b</sup> ± 1.35	6.68 <sup>c</sup> ± 1.58	6.96 <sup>bc</sup> ± 2.19	7.17 <sup>b</sup> ± 1.73	6.40 <sup>d</sup> ± 2.34	7.22 <sup>b</sup> ± 2.06
15	7.36 <sup>a</sup> ± 1.42	7.36 <sup>a</sup> ± 1.56	7.56 <sup>a</sup> ± 1.70	7.46 <sup>a</sup> ± 1.73	7.83 <sup>a</sup> ± 2.05	8.14 <sup>a</sup> ± 1.78
20	6.83 <sup>b</sup> ± 2.01	7.13 <sup>b</sup> ± 1.71	7.46 <sup>b</sup> ± 2.01	7.16 <sup>b</sup> ± 1.98	7.19 <sup>b</sup> ± 2.25	7.11 <sup>cd</sup> ± 2.23
25	6.49 <sup>c</sup> ± 1.88	7.11 <sup>b</sup> ± 1.33	7.26 <sup>b</sup> ± 2.82	7.16 <sup>b</sup> ± 1.69	7.03 <sup>c</sup> ± 1.83	7.06 <sup>d</sup> ± 2.20

หมายเหตุ ค่าของข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a-d</sup> ที่ต่างกันในแนวตั้งหมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ คุณภาพทางด้านเคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส การทดแทนปริมาณแป้งฟักทองที่เหมาะสม ได้แก่ แป้งฟักทองร้อยละ 15 ผลิตรัณฑ์ขนมขบเคี้ยว มีส่วนผสม ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า ร้อยละ 23.44 แป้งข้าวเหนียว ร้อยละ 23.44 แป้งฟักทอง ร้อยละ 8.27 ผงมอลต์ ร้อยละ 1.08 นมผง ร้อยละ 1.71 เลซิทีน ร้อยละ 0.06 เกลือ ร้อยละ 1.00 น้ำตาล ร้อยละ 10 น้ำ ร้อยละ 30 และผงฟู ร้อยละ 1.00 สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดย วิธี 9 – point hedonic scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน 50 คน พบว่า แป้งฟักทอง ร้อยละ 15 ได้รับการยอมรับสูงสุดองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ พบว่า ร้อยละคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน มีมากกว่าในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสูตรพื้นฐาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งฟักทองอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร (Rosell, Santos & Cellar, 2009) และโปรตีนในฟักทองมีปริมาณร้อยละ 3.73-9.69 (Das & Banerjee, 2015) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง

องค์ประกอบทางเคมี	ขนมขบเคี้ยว	ขนมขบเคี้ยวจาก แป้งฟักทองร้อยละ 15
ความชื้น (ร้อยละ)	3.20 <sup>a</sup> ± 0.17	2.94 <sup>b</sup> ± 0.12
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	52.10 <sup>b</sup> ± 0.76	54.01 <sup>a</sup> ± 1.55
โปรตีน (ร้อยละ)	3.50 <sup>b</sup> ± 0.22	4.62 <sup>a</sup> ± 0.25
ไขมัน (ร้อยละ)	36.93 <sup>a</sup> ± 0.72	34.13 <sup>b</sup> ± 0.50

ตารางที่ 3 (ต่อ)

องค์ประกอบทางเคมี	ขนมขบเคี้ยว	ขนมขบเคี้ยวจาก แป้งฟักทองร้อยละ 15
กากใย (ร้อยละ)	1.48 <sup>b</sup> ± 0.02	1.50 <sup>a</sup> ± 0.04
เถ้า (ร้อยละ) <sup>ns</sup>	2.79 ± 0.12	2.80 ± 0.13
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี/100กรัม)	554.53 <sup>a</sup> ± 0.11	541.69 <sup>b</sup> ± 0.17

หมายเหตุ: ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

<sup>a</sup> และ <sup>b</sup> ที่ต่างกันในแนวนอนหมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายความว่า สิ่งทดลองในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4. ผลการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทอง

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทองร้อยละ 15 เป็นสูตรปริมาณแป้งฟักทองที่เหมาะสม นำมาเก็บรักษาอาหารในอุณหภูมิห้อง (25-28 องศาเซลเซียส) โดยบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน ถูกละ 25 กรัม บรรจุแบบปิดสนิท เป็นเวลา 28 วัน สุ่มตัวอย่างและทำการวิเคราะห์คุณภาพ พบว่า ด้านคุณภาพทางกายภาพ ค่าปริมาณน้ำอิสระ มีค่าระหว่าง 0.37- 0.49 เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าสี  $a^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเป็นสีแดงที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์เป็นผลจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Non-Enzymatic Browning Reaction) โดยการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลกับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ ที่มีอยู่ ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มผลิตภัณฑ์  $a^*$  เพิ่มขึ้นอยู่ในโทนสีแดง (นิธิยา, 2548) สำหรับค่าสี  $b^*$  ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ค่าสี  $L^*$  ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) สำหรับค่าความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) สัมพันธ์กับค่าปริมาณน้ำอิสระที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และค่าความแข็งระหว่างการเก็บรักษาไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังตารางที่ 4



ตารางที่ 4 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์นมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากแป้งฟักทองในระหว่างการเก็บรักษา

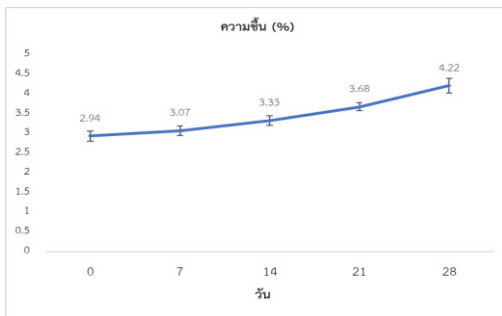
การเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณน้ำอิสระ	ค่าสี			ความแข็ง <sup>ns</sup> (นิวตัน)	ความกรอบ (นิวตัน)
		L* <sup>ns</sup>	a*	b*		
0	0.37 <sup>d</sup> ± 0.04	55.12 ± 1.94	5.09 <sup>d</sup> ± 0.07	29.44 <sup>a</sup> ± 1.00	3.22 ± 0.42	5.55 <sup>a</sup> ± 0.42
7	0.38 <sup>d</sup> ± 0.01	53.81 ± 1.74	5.36 <sup>cd</sup> ± 0.59	29.06 <sup>ab</sup> ± 2.30	3.17 ± 0.05	5.45 <sup>b</sup> ± 0.57
14	0.42 <sup>bc</sup> ± 0.04	54.00 ± 6.02	5.90 <sup>c</sup> ± 0.90	25.62 <sup>bc</sup> ± 2.89	3.01 ± 0.77	5.20 <sup>c</sup> ± 0.63
21	0.45 <sup>ab</sup> ± 0.02	53.83 ± 5.89	6.42 <sup>b</sup> ± 0.34	26.54 <sup>abc</sup> ± 1.65	2.97 ± 0.64	5.12 <sup>d</sup> ± 0.17
28	0.49 <sup>a</sup> ± 0.01	53.40 ± 3.57	7.19 <sup>a</sup> ± 0.60	25.00 <sup>c</sup> ± 0.04	2.54 ± 0.27	4.94 <sup>d</sup> ± 0.57

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

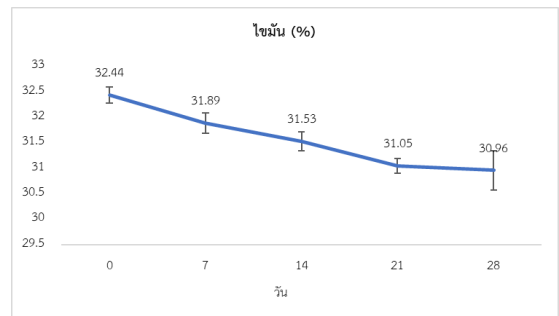
<sup>a-d</sup> ที่ต่างกันในแนวตั้งหมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายความว่า สิ่งทดลองในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ในระหว่างการเก็บรักษาปริมาณความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังภาพที่ 4 และสำหรับปริมาณไขมันในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน พบว่าปริมาณไขมันมีค่าระหว่าง 30.96-32.44 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากองค์ประกอบบางส่วนของผลิตภัณฑ์มีกรดไขมันที่โมเลกุลต่ำระหว่างการแปรรูปมีการระเหย และไม่คงตัว นอกจากนี้ปริมาณไขมันในผลิตภัณฑ์ยังส่งผลต่อการปฏิบัติการเกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolytic rancidity) (นิธิยา, 2548) ดังภาพที่ 5



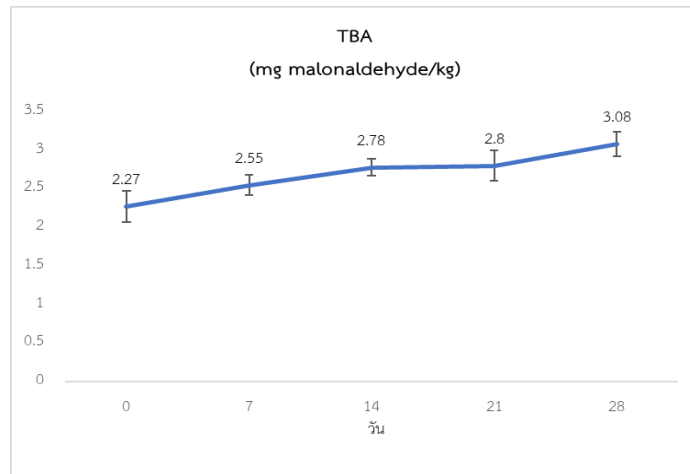
ภาพที่ 4 ร้อยละปริมาณความชื้น ในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน



ภาพที่ 5 ร้อยละปริมาณไขมัน ในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน

ค่าความหืนในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) การหืนเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและน้ำมัน (Lipid oxidation) สัมพันธ์กับปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นในอาหารส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ระหว่างการเก็บรักษา

ปริมาณน้ำอิสระและความชื้นเป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมเสียง่าย สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระที่เหมาะสมเพื่อการยับยั้งการเกิดกลิ่นหืนจากการออกซิเดชันของไขมัน และปฏิกิริยาไฮโดรไลติก (Hydrolytic reaction) จะไม่เกิดเมื่อปริมาณน้ำอิสระ มีค่าต่ำกว่า 0.25 (นิธิยา, 2548) ) สำหรับค่าความหืนที่มากกว่า 3 mg MDA/kg จะทำให้ผู้บริโภครับรู้กลิ่นแปลกปลอมทางประสาทสัมผัสต่ออาหารได้ (สุพรรณพันธ์ และนัฐฐา, 2554) และถ้าค่ามากกว่า 7 mg MDA/kg จะมีกลิ่นรุนแรงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกัน (Lopacka, Póttorak & Wierzbicka, 2017) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ค่าความหืน (TBA) ในระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน

ระหว่างการเก็บรักษา 28 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์รา อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ (มผช.107/2546) ซึ่งจำนวนจุลินทรีย์ที่พบไม่เกิน  $1 \times 10^4$  และปริมาณยีสต์ราทั้งหมดไม่เกิน 100 โคโลนี/กรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546) ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณภาพทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งพืททองในระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษา (วัน)	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณยีสต์และรา (โคโลนี/กรัม)
0	$2.6 \times 10^{-1}$	0.16
7	$3.3 \times 10^{-1}$	0.66
14	$5.3 \times 10^{-1}$	0.73
21	$10.3 \times 10^{-1}$	0.76
28	$20.3 \times 10^{-1}$	0.86

ผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในด้าน สี กลิ่น ความกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่คะแนนความชอบด้านรสชาติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณภาพทางประสาทสัมผัส ของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อสุขภาพจากแป้งฟักทองในระหว่างการเก็บรักษา

การเก็บรักษา (วัน)	สี	กลิ่น	ความกรอบ	ลักษณะเนื้อสัมผัส	รสชาติ <sup>s</sup>	ความชอบโดยรวม
0	7.33 <sup>a</sup> ± 0.59	7.39 <sup>a</sup> ± 0.22	7.56 <sup>a</sup> ± 0.14	7.47 <sup>a</sup> ± 1.24	7.74 ± 0.68	8.16 <sup>a</sup> ± 0.98
7	7.37 <sup>a</sup> ± 0.88	7.36 <sup>ab</sup> ± 0.84	7.56 <sup>ab</sup> ± 0.16	7.36 <sup>ab</sup> ± 1.21	7.76 ± 0.25	7.59 <sup>ab</sup> ± 0.13
14	7.36 <sup>ab</sup> ± 0.70	6.85 <sup>c</sup> ± 0.13	7.46 <sup>ab</sup> ± 0.20	7.33 <sup>ab</sup> ± 1.30	7.76 ± 0.13	7.16 <sup>bc</sup> ± 0.74
21	7.23 <sup>b</sup> ± 0.69	6.76 <sup>c</sup> ± 0.43	6.93 <sup>b</sup> ± 0.29	7.31 <sup>b</sup> ± 1.09	7.70 ± 0.18	6.66 <sup>c</sup> ± 0.12
28	7.26 <sup>b</sup> ± 1.07	6.66 <sup>c</sup> ± 0.74	6.80 <sup>b</sup> ± 0.19	7.06 <sup>b</sup> ± 1.28	7.69 ± 0.13	6.61 <sup>d</sup> ± 0.47

หมายเหตุ ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)

<sup>a-d</sup> ที่ต่างกันในแนวตั้งหมายความว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### อภิปรายผล

คุณภาพทางเคมีของแป้งฟักทองจากการวิเคราะห์พบว่า ความชื้นของแป้งฟักทอง มีค่าเท่ากับ ร้อยละ  $3.16 \pm 0.23$  อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งกล้วย (มผช.1775/2550) ที่มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2550) ส่วนร้อยละโปรตีน ไขมัน กากใย คาร์โบไฮเดรต เถ้า และพลังงานทั้งหมด มีค่าเท่ากับ ร้อยละ  $10.68 \pm 2.60$ ,  $3.50 \pm 0.14$ ,  $3.52 \pm 1.40$ ,  $72.34 \pm 0.62$ ,  $6.80 \pm 0.05$  และ  $363.58 \pm 1.14$  กิโลแคลอรี ตามลำดับ Sathiya Mala, Anjali & Srinivasulu (2016) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟักทองที่มีสีเหลือง 3 ชนิด พบว่า ปริมาณความชื้น เท่ากับ 5.59-8.15 ปริมาณโปรตีน เท่ากับ ร้อยละ 18.59-29.91 ปริมาณไขมัน เท่ากับ ร้อยละ 31.90-39.44 และกากใย เท่ากับ ร้อยละ 13.45-24.69 คาร์โบไฮเดรต เท่ากับ ร้อยละ 14.01-27.35 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งฟักทองพันธุ์ที่แตกต่างกันมีกระบวนการผลิตหลายวิธี ทำให้ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีมีผลวิเคราะห์แตกต่างกัน สำหรับฟักทองมีสารเบต้าแคโรทีนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพซึ่งในงานวิจัยนี้ยังขาดการศึกษาปริมาณเบต้าแคโรทีนต่อสายพันธุ์ฟักทองที่ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการศึกษาที่สามารถต่อยอดต่อไปได้ อย่างไรก็ตามแป้งฟักทองแต่ละแหล่งปลูกและต่างสายพันธุ์ยังคงมีคุณค่าทางโภชนาการสำหรับการบริโภค

คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสูตรพื้นฐานมีปริมาณน้ำอิสระ เท่ากับ  $0.37 \pm 0.09$  ไม่เกิน 0.6 เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน องค์ประกอบทางเคมี ร้อยละความชื้น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และพลังงานทั้งหมด มีค่าเท่ากับร้อยละ  $3.17 \pm 0.23$ ,  $55.36 \pm 0.76$ ,  $1.48 \pm 0.17$ ,  $36.83 \pm 0.70$ ,  $1.71 \pm 0.08$ ,  $1.45 \pm 0.16$  และ  $558.83 \pm 3.65$  กิโลแคลอรี/100 กรัม ตามลำดับ ด้านคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยใช้วิธี 9-point hedonic scale กับผู้ทดสอบที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จำนวน

50 คน คะแนนความชอบในด้าน สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม คะแนนระดับชอบปานกลาง (7.23-7.97 คะแนน)

ผลการศึกษาปริมาณแป้งฟักทองร้อยละ 0 , 5 , 10 , 15 , 20 , และ 25 ของแป้งทั้งหมด พบว่า ปริมาณน้ำอิสระ เพิ่มขึ้นตามปริมาณแป้งฟักทอง เนื่องจากในแป้งฟักทองมีสมบัติในการดูดความชื้น (Bhat & Bhat, 2013) ในผลิตภัณฑ์แปรรูปอาหารปริมาณน้ำอิสระจะสัมพันธ์ทางตรงกับปริมาณความชื้น (Troller, 2012) และอุดมไปด้วยเส้นใยอาหาร ผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว และแป้งฟักทองโดยโครงสร้างของแป้งจะมีหมู่ไฮดรอกซิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ จึงทำให้เส้นใยอาหารมีความสามารถในการจับกับน้ำได้ดี (Rosell, Santos & Collar, 2009) ส่งผลต่อและความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แป้งฟักทองที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) เนื่องจากในฟักทองเป็นแหล่งของสารแคโรทีนอยด์ที่เป็นวิตามินเอที่ละลายในไขมัน (อัษฎมณี และปณาลี, 2559) และการใช้ความร้อนในการอบไล่น้ำมันมีผลเร่งการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ (Non-enzymatic browning reaction) ส่งผลให้ค่าสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้ำอิสระสูง (0.2-0.8) จะมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยไม่ใช้เอนไซม์ได้มากขึ้น (Tussanaekgajit, Niamnuy, Devahastin & Soponronnarit, 2012) สำหรับความแข็งของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น ในกระบวนการผลิตอุณหภูมิในการทอดและอบไล่น้ำมันส่งผลให้ปริมาณโปรตีนในแป้งฟักทองเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติและทำให้เมล็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างที่เปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นด้วย (Pratyush, Masih & Sonkar, 2015) เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งฟักทองในผลิตภัณฑ์ มีคะแนนคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค ส่งผลให้คะแนนต่อต้านสีและกลิ่นของฟักทองมากขึ้น และการทดแทนปริมาณแป้งฟักทองในสิ่งทดลองที่ 4 (ร้อยละ 15) ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบมากที่สุดอยู่ในระดับ ชอบปานกลาง ในขณะที่ความชอบในด้าน ความกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัส รสชาติ และ ความชอบโดยรวม มีคะแนนความชอบปานกลางถึงชอบมากและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทองเก็บรักษาอาหารในอุณหภูมิห้อง โดยบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน 25 กรัม บรรจุและปิดสนิท เก็บได้อย่างน้อยเป็นเวลา 28 วัน พบว่า ร้อยละความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการผลิตเค้กจากแป้งฟักทองมีเส้นใยอาหารและยังมีส่วนประกอบอื่นที่สามารถจับกับน้ำได้ (สุดาทิพย์, จิราภรณ์ และมริสา, 2559) นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ด้านเนื้อสัมผัส โดยเฉพาะค่าความกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ถึงแม้ว่าร้อยละปริมาณไขมันลดลง แต่ยังคงสัมพันธ์ต่อค่าที่บ่งชี้ระหว่างการรักษา เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (นิธิยา, 2548) เนื่องจากแป้งฟักทองมีความสามารถในการเก็บรักษาไขมันระหว่างการผลิต และลดลงในระหว่างการเก็บรักษาได้ (Pratyush, Masih & Sonkar, 2015) และลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ด้านคุณภาพทางจุลินทรีย์ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, 2546)

ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทองที่พัฒนาแล้ว มีส่วนผสม ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าร้อยละ 23.16, แป้งข้าวเหนียว ร้อยละ 23.16 แป้งฟักทอง ร้อยละ 8.18 ผงมอลต์ ร้อยละ 1.73 นมผง ร้อยละ 1.71 เลซิติน ร้อยละ 0.06 เกลือ ร้อยละ 1.00 น้ำตาล ร้อยละ 10 น้ำ ร้อยละ 30 และผงฟู ร้อยละ 1.00 องค์ประกอบทางเคมี ร้อยละ

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน กากใย เถ้า และ ความชื้น มีค่าเท่ากับ  $58.56 \pm 2.55$  ,  $4.62 \pm 0.05$  ,  $31.10 \pm 2.15$  ,  $1.49 \pm 0.11$  ,  $2.77 \pm 0.27$  และ  $2.94 \pm 0.12$  ตามลำดับ และพลังงานทั้งหมด 532.64 กิโลแคลอรี/100 กรัม โดยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กากใย และเถ้า ผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งฟักทองที่พัฒนาแล้ว มีมากกว่า ในผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวสูตรพื้นฐาน และพลังงานลดลง ร้อยละ 1.5 ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในระดับชอบมาก (8.12-8.57 คะแนน) ส่วนในด้านสี ผู้ทดสอบให้คะแนนอยู่ในระดับชอบปานกลาง (7.90 คะแนน)

#### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร ที่ให้การสนับสนุนสถานที่ รวมถึงเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- เกษตรอำเภอดอนจาน, สำนักงาน. (2565). ข้อมูลสถิติการเกษตร ผลรายงาน. [Online]. Available : <http://phatthananihom.lobburi.doe.go.th/BigData/Plan/Phatthana%20District.pdf> [2566, มิถุนายน 15].
- เทคโนโลยีชาวบ้าน. (2563). ลพบุรี สร้างอาชีพ สร้างรายได้ ปลุกพืชน้ำน้อยสู้วิกฤตภัยแล้ง.[Online]. Available : [https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article\\_148007](https://www.technologychaoban.com/agricultural-technology/article_148007) [2566, มกราคม 24].
- เนตรนภิส วัฒนสุขชาติ, เพ็ญใจ ตั้งคณะกุล และวรรณดี สุทธิธรรากร. (2550). การพัฒนาและผลิตผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวเพื่อการควบคุมและป้องกันโภชนาการเกินในเด็ก. กรุงเทพฯ : สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิยา รัตนาปนนท์. (2548). วิทยาศาสตร์การอาหารของ ไขมันและน้ำมัน. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.
- ไพโรจน์ วิริยจารี. (2561). การประเมินทางประสาทสัมผัส. (พิมพ์ครั้งที่ 2). เชียงใหม่ : ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, สำนักงาน. (2550). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนแป้งกล้วย (มผช.1775/2550). [Online]. Available : [https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1375\\_50.pdf](https://tcps.tisi.go.th/pub/tcps1375_50.pdf) [2566, มกราคม 24].
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน, สำนักงาน. (2546). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนข้าวเกรียบ (มผช.107/2546). [Online]. Available : [http://otop.dss.go.th/attachments/article/162/CF84%20\(E1\).pdf](http://otop.dss.go.th/attachments/article/162/CF84%20(E1).pdf) [2566, มิถุนายน 15].
- เมตตา อุทกะพันธุ์. (2554). ฟักทองทำอะไรก็อร่อย. กรุงเทพฯ : อมรินทร์ Cuisine.
- รัชชานนท์ ทองแผ่น, วรลักษณ์ ประยูรมหิศร และอัญมณี อาวูชานนท์. (2562). การประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์ฟักทองเพื่อพัฒนาฟักทองสายพันธุ์แท้ที่มีสารเบต้าแคโรทีนสูง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า, 37(4), 619-626.
- วิลาสณี ดีปัญญา. (2554). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากข้าวเคลือบปรุงแต่งกลิ่นรส. เพชรบูรณ์ : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.
- ศิริรัตน์ วงษ์ประไพ.(2553). การพัฒนาขนมขบเคี้ยวจากแป้งข้าวโพดไรโรสบาร์บีคิว. ปัญหาพิเศษ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.
- สุดาทิพย์ อินทร์ชื่น, จิราภรณ์ บรรจง และมริสา เส้านนท์. (2559). ผลของแป้งฟักทองต่อคุณภาพของคัพเค้ก. ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 12. วันที่ 8-9 กันยายน พ.ศ. 2559 (หน้า 383-389). มหาสารคาม : อาคารคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- สุพรรณพันธ์ โลหะลักษณะเดช และนัฏฐา คเชนทร์ภักดี. (2554). การศึกษาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ ปูหินนิ่มทอดปรุงรส. วิจัยเทคโนโลยีการประมง, 5, 105-110.

- อัญมณี อาวูชานนท์ และปณาลี ภู่วรกุลชัย. (2559). การประเมินความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของสักทองไทย 29 สายพันธุ์ด้วยเครื่องหมายดีเอ็นเอ AFLP. *แก่นเกษตร*, **44**(2), 237-246.
- AOAC (2000). *Official Methods of Analysis*. 17<sup>th</sup> Edition. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.
- Bhat, M.A. & Bhat, A. (2013). Study on physico-chemical characteristics of pumpkin blended cake. *Journal of Food Processing & Technology*, **4**(9), 4-9.
- Bastos-Cardoso, I., de J. Zazueta-Morales, J., Martínez-Bustos, F., & Kil-Chang, Y. (2007). Development and characterization of extruded pellets of whole potato (*Solanum tuberosum* L.) flour expanded by microwave heating. *Cereal chemistry*, **84**(2), 137-144.
- Das, S. & Banerjee, S. (2015). Production of pumpkin powder and its utilization in bakery products development: a review. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, **4**(5), 478-481.
- Elinge, C.M., Muhammad, A., Atiku, F.A., Itodo, A.U., Peni, I.J., Sanni, O.M. & Mbongo, A.N. (2012). Proximate, mineral and anti-nutrient composition of pumpkin (*Cucurbita pepo* L) seeds extract. *International Journal of Plant research*, **2**(5), 146-150.
- Lopacka, J., Póltorak, A. & Wierzbicka, A. (2017). Effect of reduction of oxygen concentration in modified atmosphere packaging on bovine *M. longissimus lumborum* and *M. gluteus medius* quality traits. *Meat science*, **124**, 1-8.
- Murkovic, M., Müllleder, U. & Neunteufl, H. (2002). Carotenoid content in different varieties of pumpkins. *Journal of food composition and analysis*, **15**(6), 633-638.
- Pearson, D. (1999). *The Chemical analysis of food*. (7<sup>th</sup> ed.). New York : Churchill Livingstone.
- Pratyush, K., Masih, D. & Sonkar, C. (2015). Development and quality evaluation of pumpkin powder fortified cookies. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, **3**(4), 1034-1038.
- Ping, W., Jiecai, L., Qingyan, Z. & Lizhen, H. (2002). Studies on nutrient composition and utilization of pumpkin fruit. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, **23**(3), 52-54.
- Rosell, CM., Santos, E. & Collar, C. (2009). Physicochemical properties of commercial fibres from different sources : a comparative approach. *Food Research International*, **42**, 176-184.

- Sathiya Mala, K., Anjali, E.K., & Srinivasulu, K. (2016). Effect of pre-treatments on the proximate composition of pumpkin Flour. **International Journal of Innovative Studies in Sciences and Engineering Technology**, 2(5), 17-24.
- Tussanaekgajit, S., Niamnuy, C., Devahastin, S. & Soponronnarit, S. (2012). The effect of drying conditions on the qualities of rice bran. **Agricultural Science Journal**, 9-12.
- Troller, J. (2012). **Water activity and food**. New York : Academic Press Inc.







การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง  
ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

Development of a Web Based GIS Application for Volcanic Rice Group  
in Khok Muang Village, Chorakhemak Subdistrict, Prakhon Chai District,

Buriram Province

ณัฐวุฒิ ทะนั้นไธสง\*

Nattawut Tananthaisong

ณัฐพล วงษ์รัมย์\*

Nattapon Wongram

Received : February 4, 2022

Revised : July 8, 2022

Accepted : June 8, 2023

บทคัดย่อ

การพัฒนาฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจและจัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และแสดงผลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ กลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มากอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้แนวคิดวงจรการพัฒนาแบบ SDLC กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงเป็นบุคลากรกรรมการบริหารกลุ่มข้าวภูเขาไฟ จำนวน 15 คน ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาระบบฐานข้อมูลประกอบไปด้วย 9 ตาราง ได้แก่ ตารางข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่ ข้อมูลสมาชิกปลูกข้าว ข้อมูลการเพาะปลูก ข้อมูลตำแหน่งแปลงเพาะปลูก ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก ข้อมูลประเภทผลผลิต ข้อมูลการจำหน่ายและข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟออนไลน์ ประกอบไปด้วย 6 ส่วน ได้แก่ หน้าหลัก จัดการข้อมูลผู้บันทึก จัดการข้อมูลสมาชิก จัดการข้อมูล เขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจและรายงานข้อมูลในการดำเนินการวิเคราะห์สามารถนำเข้าข้อมูลสมาชิกทั้งหมด 175 คน จำนวน 228 แปลง รวมพื้นที่การเพาะปลูกข้าวภูเขาไฟทั้งหมด 2,621 ไร่ 3 งาน 54 ตารางวา ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก ( $\bar{X}=4.75$ ) ผลการศึกษาคำพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟในภาพรวม ผู้ใช้งานระบบมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.23$ )

คำสำคัญ : ข้าวภูเขาไฟ / ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์

\*อาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

#### ABSTRACT

The purposes of this study Development of a Web Based GIS Application for Volcanic Rice Group in Khok Muang Village, Chorakhemak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province, were to conduct surveys and develop and display online geographic information system database for the volcano rice group in Khok Muang Village, Chorakhemak Subdistrict, Prakhon Chai District, Buriram Province, utilizing the concept of System Development Life Cycle (SDLC). Research participants drawn by the purposive sampling technique were 15 members of the executive committee of the volcano rice group. Research findings revealed that there were nine databases developed, including data entry for officers, rice farming members, plantation, locations of farming plots, farming areas, type of products, distribution, and areas suitable for economic crops. Online geographic information system for the volcano rice group consists of six sections, namely main page, recorder data management, member data management, data management, areas suitable for economic crops, and data reporting. The data were obtained from a total of 176 members owning 228 plots with the total area used for growing volcano rice of 2621 rai, 3 ngan and 54 square wah. The overall system's efficiency evaluation result was at a very good level ( $\bar{X}=4.75$ ). The results from the users' satisfaction with the online geographic information system for the volcano rice group showed that the users' satisfaction with the system was at the high level ( $\bar{X} = 4.23$ ).

**Keywords : Volcano Rice / Online Geographic Information System**

#### บทนำ

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีเป้าหมายสำคัญในการพัฒนาให้ “เกษตรกรไทยเป็น Smart Farmer กำหนดให้ทุกจังหวัด โดยเกษตรและสหกรณ์จังหวัดทำแผนการพัฒนาการเกษตรระดับจังหวัด โดยมีข้อมูลการบริหารจัดการเขตพื้นที่การเกษตร สิ้นค้า เกษตรทุกชนิดในจังหวัด มีทะเบียนเกษตรกร ที่ตั้งฟาร์มแหล่งรวบรวมผลผลิตและกระจายสินค้าการตลาด ภายในและภายนอกจังหวัด เพื่อวางแผนการบริหารจัดการเขตพื้นที่การเกษตร สิ้นค้าเกษตร (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2562) บุรีรัมย์เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีจำนวนประชากร 1,595,747 คน มากเป็นลำดับที่ 6 ของประเทศไทย (บุรีรัมย์กูรู, 2564) มีพื้นที่ทั้งหมด 6,451,178 ไร่ การใช้ประโยชน์ที่ดินประกอบด้วย 5 ส่วนหลัก ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 77.25 ที่ป่าไม้ ร้อยละ 9.59 พื้นที่น้ำร้อยละ 4.18 พื้นที่ชุมชนสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 7.40 และพื้นที่เบ็ดเตล็ดคิดเป็นร้อยละ 1.58 (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2562) จังหวัดบุรีรัมย์เป็นแหล่งผลิตข้าวหอมมะลิพันธุ์ดี ยางพารา เกษตรอินทรีย์ ในด้านการท่องเที่ยวมีแหล่งโบราณสถานและอารยธรรมขอมและแหล่งท่องเที่ยวทาง

ธรรมชาติที่สวยงามมีประเพณีวัฒนธรรมที่หลากหลาย ทำเลที่ตั้งของจังหวัดมีภูมิประเทศที่ดี การคมนาคมที่สะดวก เป็นเมืองกีฬา มีกีฬาฟุตบอลและมอเตอร์สปอร์ต (สำนักงานจังหวัดบุรีรัมย์, 2560)

จังหวัดบุรีรัมย์ ประสบปัญหาฝนทิ้งช่วงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พื้นที่การเกษตรโดยเฉพาะ นาข้าว ประสบปัญหาขาดน้ำหล่อเลี้ยงแห้งตายเสียหายเป็นวงกว้าง ล่าสุดทางจังหวัดได้พิจารณาประกาศเป็นเขตการให้ความช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติกรณีฉุกเฉิน ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา อำเภอประโคนชัยเป็นอำเภอหนึ่งในจังหวัดบุรีรัมย์ที่มีสถิติการประกาศภัยแล้งจำนวน 3 ครั้ง (เขาวลิต, 2562) ซึ่งถือเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในพื้นที่ส่งผลกระทบต่อการทำนา การปลูกพืชผลทางการเกษตร ชุมชนบ้านโคกเมือง เป็นชุมชนเกษตรกรรมมีอาชีพทำนาและทำการเกษตรแบบผสมผสาน เนื่องจากดินบริเวณนี้อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุสะสมอยู่ใต้ดินบนพื้นที่ภูเขาไฟ ซึ่งเหมาะแก่การปลูกข้าวหอมมะลิทำให้ข้าวมีกลิ่นหอม นุ่ม และรสชาติดี มีวิตามินและแร่ธาตุสูง ชุมชนบ้านโคกเมืองมีความโดดเด่นในการปลูกข้าว องค์การบริหารส่วนตำบลจรเข้มาก ร่วมกันสนับสนุนให้ประชาชนที่อาศัยโดยรอบภูเขาไฟได้แก่ บ้านโคกเมืองและบ้านหนองบัวราย รวมกลุ่มกันผลิตข้าวสารคุณภาพภายใต้ชื่อ “ข้าวภูเขาไฟ” จากสถิติภัยแล้งที่ผ่านมาชุมชนบ้านโคกเมือง ได้รับผลกระทบจากการขาดแคลนน้ำ ส่งผลให้พื้นที่ปลูกข้าวภูเขาไฟขาดน้ำหล่อเลี้ยงแห้งตาย ประกอบกับกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมืองมีการจัดเก็บข้อมูลที่ยังไม่เป็นระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่มีเป้าหมายให้เกษตรกรไทยเป็น Smart Farmer จึงต้องมีการจัดเก็บข้อมูลที่สำคัญในการพัฒนากลุ่มข้าวภูเขาไฟ เช่น ข้อมูลสมาชิกกลุ่ม ตำแหน่งและพื้นที่ปลูกข้าวภูเขาไฟ ผลผลิตที่ได้ในแต่ละปี รูปแบบการจำหน่ายและข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลินิวภูเขาไฟ ระดับความเหมาะสมของดินในการเพาะปลูกข้าวและระดับความเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ ความต้องการน้ำของพืชในรอบปี เป็นต้น

ดังนั้น ทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาและนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการจัดเก็บข้อมูล พัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ สำหรับกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นการจัดเก็บฐานข้อมูลเชื่อมโยงกับลักษณะภูมิประเทศและข้อมูลเชิง รวบรวมข้อมูลที่ตั้งแปลงปลูกข้าวภูเขาไฟ ข้อมูลสมาชิก ข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลินิวภูเขาไฟ ข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจและข้อมูลความต้องการน้ำของข้าวภูเขาไฟ รวบรวมเป็นสถิติ วิเคราะห์ แสดงผลและรายงานผลรายปีในระดับตำบล โดยแบ่งระดับเข้าถึงเป็นสองส่วน คือ ผู้ดูแลระบบและสมาชิก ซึ่งระบบภูมิสารสนเทศออนไลน์ข้าวภูเขาไฟ สามารถรวบรวมข้อมูลสถิติ แสดงผลในรูปแบบข้อมูลเชิงพื้นที่ให้เห็นถึงภาพรวมจำนวนพื้นที่เพาะปลูก ตำแหน่งการปลูกอยู่ในเขตบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ที่สัมพันธ์กับปริมาณสารฟอสฟอรัสและแคลเซียมในข้าวภูเขาไฟ รวมถึงรายงานผลปริมาณความต้องการน้ำของข้าวภูเขาไฟรายปีจากพื้นที่ปลูกข้าวของสมาชิก และเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจเป็นข้อมูลให้สมาชิกพิจารณาการปลูกพืชให้เหมาะสมตามลักษณะสมบัติดิน ซึ่งระบบภูมิสารสนเทศออนไลน์เป็นประโยชน์ในวางแผนและตัดสินใจ บริหารจัดการพื้นที่เพาะปลูกข้าวของชุมชนเพื่อให้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำ หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ สมาชิกสามารถปรับเปลี่ยนการปลูกพืชเศรษฐกิจให้เหมาะสมกับลักษณะสมบัติดินได้

## วิธีดำเนินการวิจัย

### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ สมาชิกกลุ่มข่าวภูเขาไฟ ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จำนวน 175 คน

2. กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการสำรวจความต้องการในการพัฒนาระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ ใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) โดยเลือกผู้ที่มีความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ในการบริหารกลุ่มข่าวภูเขาไฟ โดยเลือกกรรมการบริหารกลุ่มที่มีความชำนาญและประสบการณ์ จำนวน 15 คน จากสมาชิกกลุ่มข่าวภูเขาไฟ 175 คน

### ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. ตัวแปรต้น ได้แก่ ความต้องการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ กลุ่มข่าวภูเขาไฟบ้าน ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ฐานข้อมูลกลุ่มข่าวภูเขาไฟ ผลการประเมินประสิทธิภาพและความพึงพอใจของระบบ โดยใช้กลุ่มข่าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือมาช่วยในการจัดรูปแบบข้อมูลให้มีความพร้อม และทำการวิเคราะห์ผลการศึกษาเพื่อตอบโจทย์วัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยใช้เครื่องมือต่างๆ ดังนี้

#### 1. อุปกรณ์

- 1.1 เครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก (GPS) สำหรับตรวจสอบข้อมูล ในการออกภาคสนาม
- 1.2 เครื่องคอมพิวเตอร์ ใช้เพื่อนำเข้าข้อมูล วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล

#### 2. เครื่องมือ

2.1 แบบสอบถามปลายเปิด ความต้องการระบบ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ความต้องการข้อมูล ความต้องการด้านการแสดงผล และความต้องการด้านการเข้าถึงข้อมูล

2.2 โปรแกรม ArcGIS 10.1 ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คำนวณ และจัดทำแผนที่

2.3 Microsoft SQL Server ใช้ในการจัดเก็บ บริหารและจัดการฐานข้อมูล

2.4 โปรแกรม SPSS ใช้สำหรับคำนวณค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.5 แบบประเมินประสิทธิภาพระบบ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ ความสามารถระบบ ฟังก์ชันการทำงานและความเหมาะสมในการแสดงผล

2.6 แบบประเมินความพึงพอใจ กำหนดหัวข้อและสร้างแบบประเมินความพึงพอใจ แบ่งออกเป็น 3 ด้าน คือ เนื้อหา การนำเสนอและประโยชน์นำไปใช้

2.7 โปรแกรม Microsoft Office รวบรวมเนื้อหาและจัดรูปแบบของงานวิจัย

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งวิธีดำเนินการเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ศึกษาความต้องการ จัดทำฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ การทดลองใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์และการประเมินความพึงพอใจระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ โดยมีขั้นตอน ดังนี้

ระยะที่ 1 ความต้องการของเจ้าหน้าที่และสมาชิกกลุ่มข้าวภูเขาไฟ ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ถึงความต้องการข้อมูลด้านต่างๆ ที่ช่วยให้เข้าใจในข้อมูลเชิงพื้นที่ตำบลจรเข้มาก และเป็นการสนับสนุนในการผลิตข้าวภูเขาไฟให้มีประสิทธิภาพ

ระยะที่ 2 รวบรวมและจัดทำข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยรวบรวมและข้อมูลเชิงบรรยาย แยกประเภทข้อมูลออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

#### 1. ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data)

1.1 ข้อมูลตำแหน่งและแปลงปลูกข้าวภูเขาไฟ สํารวจข้อมูลสมาชิกกลุ่มข้าวภูเขาไฟ ปี พ.ศ. 2554 โดยใช้แผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม จาก API Services Google Maps Platform และเครื่องกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ของตำแหน่งและพื้นที่

1.2 ข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ จังหวัดบุรีรัมย์ (กรมทรัพยากรดินทางปัญญา, 2563)

1.3 ข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ (Land Suitability) ตามลักษณะสมบัติดิน สำหรับการปลูกข้าว มันสำปะหลัง อ้อยและยางพารา (กรมพัฒนาที่ดิน, 2564)

#### 2. ข้อมูลเชิงบรรยาย (Non-spatial Data) สํารวจข้อมูลสมาชิกกลุ่มข้าวภูเขาไฟ ปี พ.ศ. 2554

2.1 ข้อมูลข้อมูลพื้นฐานสมาชิกกลุ่ม ชื่อ-สกุล ที่อยู่ พื้นที่การปลูก ผลผลิตประจำปี ข้อมูลการจำหน่าย

2.2 ปริมาณการใช้น้ำข้าวภูเขาไฟ (สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, 2561)

#### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การสร้างข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ สมาชิก ตำแหน่ง แปลงปลูกข้าวภูเขาไฟ และนำเข้าข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ ข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ ด้วยโปรแกรม ArcGIS 10.1 เชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง Features และ Attribute Data และส่งออกชั้นข้อมูลในรูปแบบไฟล์ JSON ใช้สำหรับการพัฒนาระบบ ต่อไป

3.2 ปริมาณการใช้น้ำของข้าวภูเขาไฟ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา (2561) ได้คำนวณปริมาณความต้องการของพืชภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนี้

$$= \text{พื้นที่ปลูกข้าวภูเขาไฟ (ไร่)} \times \text{ปริมาณน้ำใช้ของพืชตลอดช่วงอายุ (ม.}^3\text{/ไร่)} \quad (1)$$

3.3 ออกแบบระบบ จากการวิเคราะห์ความต้องการของเจ้าหน้าที่ สมาชิกและข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยเริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูล ความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER diagram) ออกแบบหน้าจอสำหรับผู้ใช้งานและหน้าจอรายงานผล

3.4 พัฒนาระบบ ด้วยภาษา PHP, JavaScript, CSS และ HTML สร้างฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลโดยใช้ SQL การแสดงแผนที่ รายละเอียดตำแหน่งในหน้าเว็บแอปพลิเคชันด้วย API Services Google Maps Platform ภาษา JavaScript

ระยะที่ 3 การทดลองระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์กลุ่มข้าวภูเขาไฟ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ประเมินประสิทธิภาพและให้ข้อเสนอแนะ (บุญชม, 2554) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.51 – 5.00 หมายถึง ดีมาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.51 – 4.50 หมายถึง มาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.51 – 3.50 หมายถึง ปานกลาง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.50 – 2.50 หมายถึง น้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00 – 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

ระยะที่ 4 การประเมินความพึงพอใจระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ โดยใช้กรรมการบริหารกลุ่มที่มีความชำนาญและประสบการณ์ จำนวน 15 คน แปลความหมายค่าเฉลี่ยรายข้อ กำหนดระดับการประเมินตามมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ (บุญชม, 2554) ดังนี้

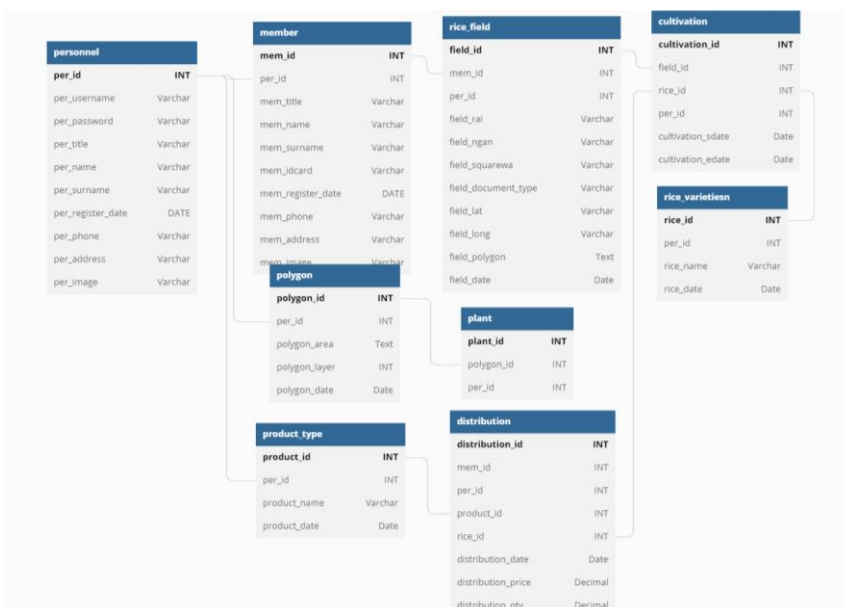
ค่าเฉลี่ยระหว่าง 4.51-5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 3.51-4.50 หมายถึง พึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 2.51-3.50 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.50-2.50 หมายถึง พึงพอใจน้อย

ค่าเฉลี่ยระหว่าง 1.00-1.50 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

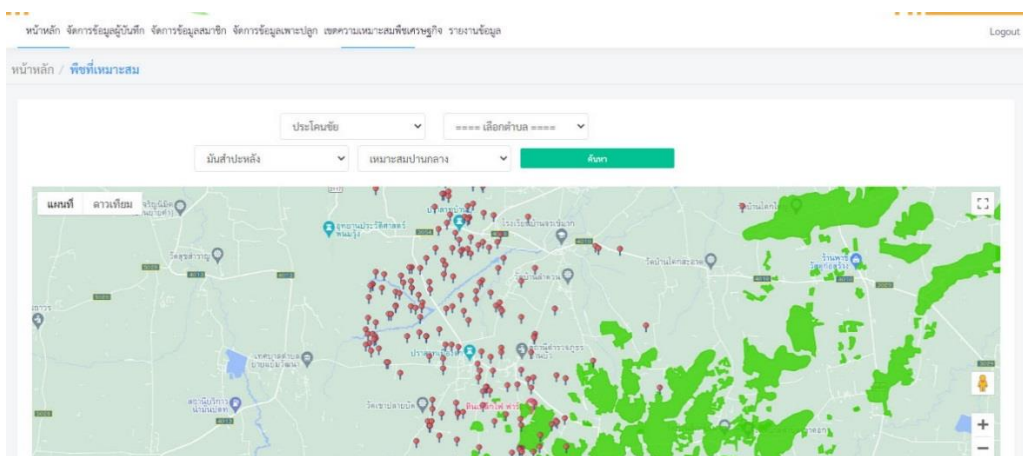


ภาพที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูล (ER Diagram) แสดงการออกแบบฐานข้อมูลของระบบ

**ผลการวิจัย**

1. การสำรวจและรวบรวมข้อมูล ความต้องการกลุ่มชาวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ กลุ่มตัวอย่าง 15 คน สรุปความต้องการออกเป็น 3 ด้าน 1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ได้ทั้งหมด 7 ชั้นข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ตำแหน่งแปลงเพาะปลูกข้าวภูเขาไฟ ข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ ข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ (Land Suitability) ตามลักษณะสมบัติดินสำหรับการปลูกข้าว มันสำปะหลัง อ้อยและยางพารา และข้อมูลเชิงบรรยาย (Non-spatial Data) ได้แก่ ข้อมูลสมาชิกกลุ่มชาวภูเขาไฟ ประกอบด้วย ชื่อ-สกุล ที่อยู่ ข้อมูลการติดต่อ ที่ตั้ง พื้นที่ของแปลงเพาะปลูก ผลผลิตต่อปี ประเภทการจำหน่าย ราคาของผลผลิตและปริมาณความต้องการน้ำของข้าวภูเขาไฟ 2) ด้านแสดงผลของระบบ ประกอบด้วย อักษรและรูปภาพขนาดใหญ่ สื่อความหมายเข้าใจง่าย 3) ความต้องการด้านการเข้าถึงข้อมูล ประกอบด้วย เจ้าหน้าที่และสมาชิก จากความต้องการของสมาชิกกลุ่มสามารถออกแบบฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ในการพัฒนาฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มชาวภูเขาไฟ ประกอบไปด้วย 9 ตาราง ได้แก่ ตารางข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่ สมาชิกปลูกข้าว ข้อมูลการเพาะปลูก ตำแหน่งแปลงเพาะปลูก พื้นที่เพาะปลูก ประเภทผลผลิต การจำหน่ายและฐานข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ตาราง ดังภาพที่ 1

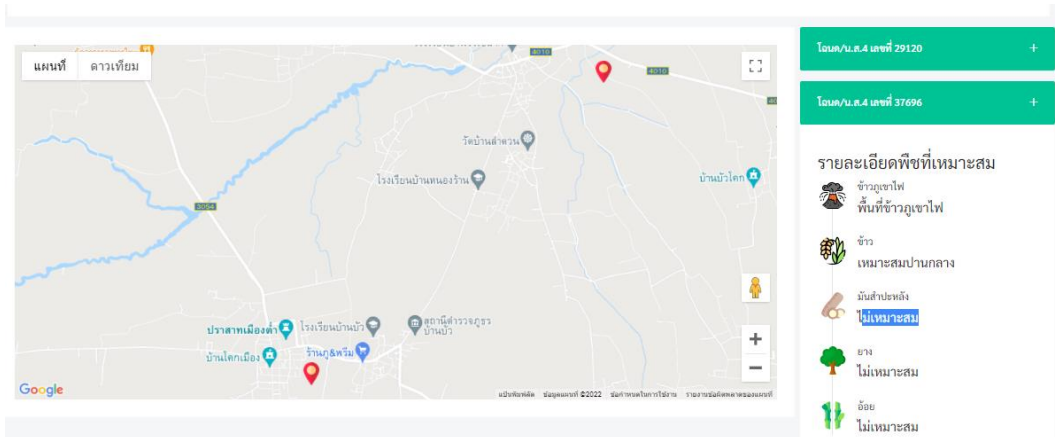
2. ระบบสามารถเข้าถึงได้จาก <https://bigdata-bru.org/gir-uat/index.php> ประกอบไปด้วย 6 ส่วน ได้แก่ หน้าหลัก จัดการข้อมูลผู้บันทึก จัดการข้อมูลสมาชิก จัดการข้อมูลเพาะปลูก เขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจและรายงานข้อมูล ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์ ประกอบด้วยหน้าย่อย 6 ส่วน

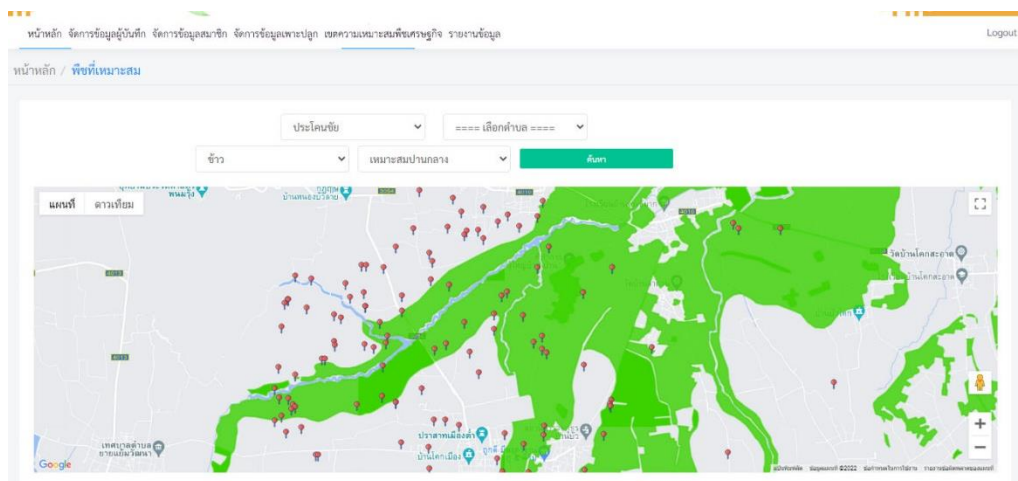
ข้อมูลสมาชิกทั้งหมด 175 คน จำนวน 228 แปลง รวมพื้นที่การเพาะปลูกข้าวภูเขาไฟ 2,621 ไร่ 3 งาน 54 ตารางวา เชื่อมโยงข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ สมาชิกสามารถดูข้อมูลตำแหน่ง จำนวนเนื้อที่และที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ประกาศบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ และบริเวณนั้นมีความเหมาะสมสำหรับปลูกพืชเศรษฐกิจประเภทใด ดังภาพที่ 3





ภาพที่ 3 การแสดงตำแหน่งแปลงเกษตรกรและรายละเอียดข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ

ในส่วนของคุณสมบัติความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจตามลักษณะสมบัติดิน สามารถแสดงแยกประเภทเป็นความเหมาะสมสำหรับปลูกข้าว มันสำปะหลัง ยางพาราและอ้อย โดยแยกความเหมาะสมเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ไม่เหมาะสม เหมาะสมน้อย เหมาะสมปานกลางและเหมาะสมมาก ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตำแหน่งแปลงปลูกข้าวและความเหมาะสมของดินในการปลูกข้าว ในระดับเหมาะสมปานกลาง

ระบบมีความเชื่อมโยงกับข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ ปริมาณความต้องการน้ำ ความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจตามลักษณะสมบัติดิน เป็นข้อมูลที่สำคัญให้ผู้นำกลุ่มวางแผนและตัดสินใจในการผลิต รวมถึงเป็นฐานข้อมูลให้เกษตรกรประจำตำบลช่วยเหลือและหนุนเสริมการปลูกข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ระบบสามารถออกรายงานประจำปี ข้อมูลพื้นที่เพาะปลูก ประเภทเอกสารสิทธิ์ ที่ตั้ง ปริมาณการใช้น้ำและข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจ ใช้แถบเครื่องมือรายงานข้อมูล โดยข้อมูลก่อนส่งออกในรูปแบบไฟล์ Excel ดังภาพที่ 5

พื้นที่เอกสารสิทธิ์			ประเภทเอกสารสิทธิ์	พิกัด		ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม.)
ไร่	งาน	ตารางวา		ละติจูด	ลองจิจูด	
10	1	0	โฉนด/น.ส.4 เลขที่ 29120	14.526210296	103.02084066	10,804
7	3	12	โฉนด/น.ส.4 เลขที่ 37696	14.490755481	102.98538157	8,200
11	3	67	ส.ป.ก. 4-01ข เลขที่ 10790	14.503747621	103.03517665	12,561
14	3	82	โฉนด/น.ส.4จ เลขที่ 42001	14.520500661	103.00185628	15,763
3	3	0	โฉนด/น.ส.4จ เลขที่ 54874	14.512520593	102.9796285	3,953
25	2	0	โฉนด/น.ส.4 เลขที่ 29112	14.526908537	103.02005521	26,877
23	0	7	โฉนด/น.ส.4จ เลขที่ 41267	14.526409727	102.98800896	24,260
4	1	46	ส.ป.ก. 4-01ข เลขที่ แปลงที่ 32 ระหว่าง 5537/8402	14.486767227	102.99664949	4,601
22	1	0	ส.ป.ก. 4-01ก เลขที่ 11770	14.467069902	102.99486015	23,452
13	2	13	ส.ป.ก. 4-01 เลขที่ แปลงที่ 1 ระหว่าง 4356	14.465144281	102.99901364	14,263
2621 ไร่/ 3 งาน/ 54 วา						2,763,467

ภาพที่ 5 รายงานข้อมูลพื้นที่ในครอบครองและความต้องการปริมาณน้ำในการเพาะปลูกข้าวตลอดฤดูกาล

ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 2 คน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในภาพรวมที่ระดับดีมาก ( $\bar{X}=4.75$ , S.D.=0.25) เมื่อพิจารณาย่อยถึงผลการประเมินในแต่ละด้าน พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพด้านความสามารถของระบบ มากที่สุด ( $\bar{X}=4.90$ , S.D.=0.25) รองลงไปคือด้านความเหมาะสมในการแสดงผล ( $\bar{X}=4.70$ , S.D.=0.14) ด้านฟังก์ชันการทำงาน ( $\bar{X}=4.63$ , S.D.=0.53) ตามลำดับ โดยด้านความสามารถของระบบแสดงค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นประกอบด้วยประเด็นการประเมิน ได้แก่ ความสามารถของระบบในการนำเข้าข้อมูล แก้ไขข้อมูล การแสดงตำแหน่งและกราฟ การค้นหาและการออกรายงานข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของการประเมินประสิทธิภาพระบบ

ลำดับ	ด้านการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1	ด้านความสามารถของระบบ	4.90	0.14	ดีมาก
2	ด้านฟังก์ชันการทำงาน	4.63	0.53	ดีมาก
3	ด้านความเหมาะสมในการแสดงผล	4.70	0.14	ดีมาก
ภาพรวม		4.75	0.25	ดีมาก

ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ โดยผู้ทำการประเมินคือ ผู้ใช้งานระบบ ได้แก่ กรรมการบริหารกลุ่ม สมาชิกกลุ่มและเกษตรกรอำเภอ จำนวน 15 คน พบว่า ผลความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}=4.23$ , S.D.=0.47) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ระดับความพึงพอใจผู้ใช้ระบบอยู่ในระดับมากทุกด้าน เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ ด้านประโยชน์และนำไปใช้ อยู่ในระดับมาก

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

( $\bar{X}$  = 4.26, S.D.=0.45) ด้านเนื้อหายุ้งในระดับมาก ( $\bar{X}$ =4.22, S.D.=0.50) และด้านการนำเสนอ อยู่ในระดับมาก ( $\bar{X}$  = 4.20, S.D.=0.47) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของการประเมินความพึงพอใจในแต่ด้านของผู้ใช้ระบบฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ออนไลน์

ลำดับ	ด้านการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1	ส่วนที่ 1 ด้านเนื้อหา	4.22	0.50	พึงพอใจมาก
2	ส่วนที่ 2 ด้านการนำเสนอ	4.20	0.47	พึงพอใจมาก
3	ส่วนที่ 3 ด้านประโยชน์และการนำไปใช้	4.26	0.45	พึงพอใจมาก
ภาพรวม		4.23	0.47	พึงพอใจมาก

## อภิปรายผล

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับกลุ่มชาวภูเขาไฟ จัดเก็บฐานข้อมูล ตำแหน่งที่ตั้งแปลงเพาะปลูก ข้อมูลสมาชิกกลุ่ม ข้อมูลความต้องการน้ำและข้อมูลบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ ทำให้ผู้ใช้และผู้ดูแลระบบเห็นถึงความเชื่อมโยงข้อมูลเชิงบรรยายและข้อมูลเชิงพื้นที่ของแปลงเกษตรกร จำนวน 228 แปลง ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่เป็นแหล่งปลูกข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์ตามประกาศกรมทรัพยากรพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (2563) ประกาศ ขอบเขตที่ตั้งแหล่งปลูกข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ข้าวภูเขาไฟสามารถคำนวณปริมาณความต้องการน้ำตลอดอายุของข้าวภูเขาไฟ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการส่งเสริมและใช้วางแผนการใช้น้ำสำหรับเพาะปลูกข้าวภูเขาไฟ สอดคล้องกับ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2562) พัฒนาระบบภูมิสารสนเทศเพื่อการบริหารและจัดการข้าวโดยชุมชนพื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้ เพื่อเพิ่มศักยภาพและประสิทธิภาพการผลิตให้มีคุณภาพ รวมทั้งพัฒนาฐานข้อมูลเกษตรกรที่ปลูกข้าวรายแปลง พื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูก แหล่งน้ำเพื่อการเพาะปลูก รวมทั้งระบบเพื่อการติดตามและบริหารจัดการข้าวที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการส่งเสริม ติดตาม ตัดสินใจ วางแผนการเพาะปลูกและการคาดคะเนผลผลิตข้าวหอมมะลิที่สำคัญของประเทศ ใช้เป็นเครื่องมือในการกำหนดนโยบาย และให้ความช่วยเหลือเกษตรกรเพื่อเพิ่มผลผลิตข้าวทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ นอกจากนี้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดเก็บข้อมูลเขตความเหมาะสมพืชเศรษฐกิจตามลักษณะสมบัติดิน สำหรับข้าว มันสำปะหลัง อ้อยและยางพารา ทำให้ทราบตำแหน่งที่ตั้งของแปลงเกษตรกร มีความเหมาะสมสำหรับพืชเศรษฐกิจ โดยแยกออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ความเหมาะสมสูง ความเหมาะสมปานกลาง ความเหมาะสมเล็กน้อยและไม่เหมาะสม สอดคล้องกับ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2564) ทำการวิเคราะห์เขตเหมาะสมของดินสำหรับพืชเศรษฐกิจ โดยการประเมินความเหมาะสมทางกายภาพของดินสำหรับการเพาะปลูกพืช ด้วยระบบของ FAO Framework ทำการเปรียบเทียบความต้องการของพืช (Crop requirements) กับคุณภาพที่ดิน (Land qualities) สำหรับพืชเศรษฐกิจ 6 ชนิด คือ ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน อ้อยโรงงาน และข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ โดยจำแนกชั้นความเหมาะสมทาง

กายภาพของดิน ออกเป็น S1 มีความเหมาะสมสูง S2 มีความเหมาะสมปานกลาง S3 ความเหมาะสมเล็กน้อย และ N ไม่มีความเหมาะสม

การออกแบบและพัฒนาระบบใช้โปรแกรมภาษา HTML, PHP, Javascript และใช้โปรแกรม MySQL เพื่อจัดเก็บฐานข้อมูล ประเมินประสิทธิภาพระบบ โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ภาพรวมที่ระดับดีมาก ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ผลความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ในระดับมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของสุนันท์ และอนุชา (2564) พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารความเสี่ยงของมหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร พบว่า การพัฒนาระบบใช้โปรแกรมภาษา HTML, PHP, Javascript และใช้โปรแกรม MySQL เพื่อจัดเก็บฐานข้อมูล มีการทดสอบระบบ การทดสอบคุณภาพและผู้ใช้มีความพึงพอใจในภาพรวมที่ระดับดีมาก สามารถจัดเก็บรวบรวมเป็นสถิติรายปีและเผยแพร่ระบบสารสนเทศออนไลน์ได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับงานวิจัย ทวีสินธุ์ และคนอื่นๆ (2559) ที่วิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยวโดยชุมชน เครือข่ายการท่องเที่ยวโดยชุมชนจังหวัดสตูล โดยใช้แนวคิดวงจรการพัฒนาบบสารสนเทศแบบ SDLC เป็นแนวทางในการศึกษา พบว่า สามารถจัดเก็บและเผยแพร่สารสนเทศ รวมถึงสร้างความรู้ให้กับ ผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดีซึ่งผู้ใช้งานมีความพึงพอใจที่มีต่อระบบสารสนเทศ สอดคล้องกับ สรินทิพย์ และคนอื่นๆ (2558) ศึกษาเรื่องการพัฒนาบบสารสนเทศเพื่อการส่งเสริมคุณค่าและยกระดับมูลค่าการท่องเที่ยวอีสานใต้ พบว่า การทำงานของระบบมีการทำงานได้ดี ให้สารสนเทศได้ถูกต้องตรงตามความต้องการในขอบเขตกำหนด ผลของการนำระบบไปเผยแพร่และทดลองใช้ ในกลุ่มผู้ประกอบการพบว่าระดับความพึงพอใจในภาพรวมอยู่ระดับมาก สอดคล้องกับสุนทร และคนอื่นๆ (2561) พัฒนาระบบสารสนเทศด้านการวิจัยของสำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการและเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศฯ พบว่า การทำงานของระบบ ด้านข้อมูลที่จัดเก็บในระบบและด้านเทคนิค ความสามารถของระบบ รวมทั้งทุกด้านมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบสารสนเทศอยู่ในระดับมาก

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรกลุ่มข่าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ช่วยเหลือ อำนวยความสะดวกให้งานวิจัยสำเร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย การศึกษาวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2564

เอกสารอ้างอิง

- เกษตรและสหกรณ์, กระทรวง. (2562). **Young Smart Farmer**. [Online]. Available : <https://www.moac.go.th/news-preview-412991791436> [2564, ตุลาคม 18].
- จังหวัดบุรีรัมย์, สำนักงาน. (2560). **แผนพัฒนาจังหวัดบุรีรัมย์ 4 ปี**. [Online]. Available : <http://www.buriram.go.th/downloads/buriram-gen.pdf> [2564, ตุลาคม 18].
- ชาวลิต สิมสวย. (2562). การบูรณาการหน่วยงานจัดทำแผนงานวิจัยแก้ไขปัญหาภัยแล้งในจังหวัดบุรีรัมย์. ใน **การประชุมเชิงปฏิบัติการจัดทำแผนงานแก้ไขปัญหาภัยแล้งในจังหวัดบุรีรัมย์. วันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2562**(หน้า 23-24). บุรีรัมย์ : สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- ทรัพย์สินทางปัญญา, กรม. (2563). **ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์**. [Online]. Available : <https://ipthailand.go.th/images/3534/2563/GI/GI63100150.pdf> [2564, ตุลาคม 18].
- ทวีสินธุ์ ตั้งแข่ง, วารินทร์ มัธยมบุรุษ และพจน์พิตดา ศรีสมพงษ์. (2559, กรกฎาคม-ธันวาคม). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการท่องเที่ยวโดยชุมชนเครือข่ายการท่องเที่ยวโดยชุมชนจังหวัดสตูล. **วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ**, 19(2), 67-80.
- บริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา, สำนัก. (2561). **ข้อมูลการใช้น้ำของพืชในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ**. กรุงเทพฯ : สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน.
- บุรีรัมย์กูรู. (2564). **ประชากรประเทศไทย ปี 2564**. [Online]. Available : <http://www.buriramguru.com/บุรีรัมย์อันดับ-6-ประชากร> [2564, มีนาคม 2].
- บุญชม ศรีสะอาด. (2554). **หลักการวิจัยเบื้องต้น**. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- พัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, สำนักงาน. (2562). **ระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อการบริหารและจัดการข้าวโดยชุมชน พื้นที่ทุ่งกุลาร้องไห้**. [Online]. Available : <http://g-rice.gistda.or.th/#> [2564, มีนาคม 2].
- สรินทิพย์ ทวีเดช, พิมพ์พรรณ อุดมพันธ์, อรุณี มะภูารัก และอรุณรัตน์ เสวตธรรม. (2558). **การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการส่งเสริมคุณค่าและยกระดับมูลค่าการท่องเที่ยวอีสานใต้**. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุนทร คล้ายสุบรรณ, ורתัย ทองฤกษ์ฤทธิ และเบญจมาศ ฉลาดการณ์. (2561). **การพัฒนาระบบสารสนเทศด้านการวิจัยของสำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ**. กรุงเทพฯ : สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์, สำนักงานปลัดกระทรวงศึกษาธิการ.
- สุนันท์ แหวนประดับ และอนุชา พวงผกา. (2564, กรกฎาคม-ธันวาคม). การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารความเสี่ยงของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. **สัปดาห์ที่ 1 : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 8(2), 87-99.



การพัฒนาระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง  
Develop an intelligent delivery cabinet system with Internet of Things

Technology

ลัดดาวัลย์ จำปา\*

Laddawan Champa

จรายุทธ ประทีปวราภรณ์\*

Jarayut Prateepvorakan

Received : January 1, 2023

Revised : March 8, 2023

Accepted : May 30, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบและสร้างตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การพัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งโครงสร้างของตู้ส่งงาน มีขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร ความยาว 31.2 เซนติเมตร และความสูง 42 เซนติเมตร ช่องส่งงาน ความกว้าง 22 เซนติเมตร ความยาว 2 เซนติเมตร มีจอแสดงผลแสดงสถานะพร้อมใช้งาน เลือกใช้วัสดุไม้เนื้อแข็ง หนา 10 มิลลิเมตร รับเอกสารได้มากกว่า 1,000 แผ่น ส่วนที่สอง คือการเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อระหว่าง Wi-Fi กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP8266) ร่วมกับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และส่วนที่สาม คือเซนเซอร์ที่ใช้ในการตรวจจับวัตถุที่ส่งผ่านช่องส่งงาน ทำหน้าที่ตรวจจับเพื่อแจ้งเตือนไปที่แอปพลิเคชันไลน์ เซนเซอร์วัดระยะทางจะถูกติดตั้งภายในตู้ส่งงาน วัดระยะห่างระหว่างชั้นงานและฝาตู้ด้านบน ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน เมื่อการส่งงานเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุจะส่งข้อความไปยังแอปพลิเคชันไลน์เพื่อแจ้งเตือนการส่งงานว่า “มีการบ้านมาส่ง” สำหรับระยะในการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุคือภายในตู้ส่งงานด้านบนประสิทธิภาพตรวจจับที่ระยะ 8.78 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการแจ้งเตือนการส่งงานไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ความถูกต้องในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 100 และจากการพัฒนาระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งนั้น เมื่อครบกำหนดส่งงานจะนำงานออกจากตู้ส่งงานทั้งหมด หากพบว่ามีงานส่งหลังจากนี้คืองานที่ส่งล่าช้า กรณีที่ไม่ได้นำงานออกจากตู้ส่งงานหากครบกำหนดส่งงานจะมีระบบการตรวจสอบแบบย้อนกลับโดยดูจากเวลา ที่แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี

\*อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี

Lecturer in Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Kanchanaburi

Rajabhat University e-mail: laddawan.ch@kru.ac.th

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.23$ , S.D. = 0.20) มีข้อเสนอแนะในการพัฒนาระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะในครั้งนี้คือควรมีระบบยืนยันตัวตนของผู้ส่งงานจะเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับเจ้าของงาน

**คำสำคัญ :** ตู้ส่งงาน / ใบงาน / แจ้งเตือน / แอปพลิเคชันไลน์ / อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง

#### ABSTRACT

The purpose of this research was to develop a system and build an intelligence delivery cabinet with Internet of Things technology. The development was divided into 3 parts: 1) the structure of the delivery cabinet, width of 35 centimeters length of 31.2 centimeters and height of 42 centimeters, receive cabinet a wide of 22 centimeters length of 2 centimeters, display shows ready-to-use status, choose to use solid wood material thickness of 10 millimeters, can receive more than 1,000 sheets of documents; 2) writing a program to connect Wi-Fi with Node MCU ESP8266 microcontroller together with notifications via LINE application; and 3) IR sensor used to sent through the receive cabinet to counting function via notify the LINE application, ultrasonic sensors were installed inside the delivery cabinet the distance between work piece and the top cabinet. In this performance result when the object detection sensor will send to message the LINE application with notify the job “homework delivered”. IR sensor distance of inside on top delivery cabinet, detecting performance a distance of 8.78 centimeters. Notification performance for sending jobs to LINE applications an accuracy of work 100 percent and develop of intelligent work delivery cabinets with Internet of Things technology. The deadline for delivery of work will be removed from all delivery cabinets, it found that the work submitted after this the work that has been submitted late. In the event that the work is not taken out of the delivery cabinet if the delivery deadline was due, there will be a traceability system based on the time of notification through the LINE application. The enquired satisfaction result of intelligence delivery cabinet with Internet of Things technology in overall was a high level ( $\bar{X} = 4.23$ , S.D. = 0.20) and suggestions for development of the intelligent work delivery system at this time should have a system to verify the identity of the sender, which will increase the confidence of the work owner.

**Keywords :** Delivery Cabinet / Worksheets / Notifications / LINE Application / Internet of Thing

## บทนำ

จากวิวัฒนาการเทคโนโลยีเครือข่ายที่เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของคนเรามากขึ้น โดยเฉพาะเครือข่ายไร้สายทั้ง WiFi 4G และ 5G ที่ถูกออกแบบมาเพื่อรองรับการเชื่อมต่อจำนวนมาก หรือที่เรียกกันว่า Internet of Thing โดยจะมีการเชื่อมต่อแบบครบวงจรสำหรับทุกๆ สิ่งที่อยู่รอบๆ ตัวคนอย่างสมบูรณ์แบบไปสู่สิ่งที่เรียกว่า Massive IoT เป็นการเชื่อมต่อแบบไร้สายที่มีความรวดเร็ว มีความเสถียรสูง (วารสาร, 2563) และรองรับอุปกรณ์สำหรับสื่อสาร ไม่ว่าจะเป็นคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์มือถือ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่เพิ่มความอำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวันให้มีความทันสมัย ลดความยุ่งยาก และทำให้เกิดความรวดเร็วมากขึ้น สำหรับเทคโนโลยีที่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการรับข้อมูลข่าวสาร การแจ้งเตือนมากที่สุด คือแอปพลิเคชันไลน์ เป็นการลดขั้นตอนไม่ให้เกิดความยุ่งยาก ลำช้า และยังเป็นการสร้างความสะดวก รวดเร็ว ตลอดจนเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน (ขวัญฤดี, 2560) ซึ่งเป็นช่องทางของกิจกรรมการติดต่อสื่อสารที่มีการเข้าถึงการใช้งานมากที่สุด

การแจ้งเตือนผ่านไลน์ (Line Notify) เป็นบริการที่ทางไลน์ได้เตรียมไว้ในรูปแบบของ API ให้กับนักพัฒนาสามารถนำไปต่อยอดพัฒนาโปรเจกต์ที่มีความต้องการส่งข้อความในการแจ้งเตือนเข้าไปยังกลุ่ม หรือบัญชีส่วนตัว จากการสำรวจในเดือนกุมภาพันธ์ 2563 มีจำนวนผู้ใช้งานโมบายอินเทอร์เน็ตทั้งหมดในไทย 69 ล้านคน มีผู้ใช้งานไลน์ จำนวน 45 ล้านบัญชี และไลน์เป็นแอปพลิเคชันที่คนไทยใช้เวลาด้วยเยอะที่สุดต่อวัน โดยเฉลี่ยประมาณ 63 นาที เทียบกับเวลาที่คนไทยใช้เวลาบนสมาร์ตโฟน ทั้งหมดที่ 216 นาทีต่อวัน ในปัจจุบันมีผู้ใช้งานไลน์ในประเทศไทยกว่า 45 ล้านบัญชี (อิมรอน, อิสมาแอล, อัฟฟาน และพรรณี, 2563) ทุกองค์กรใช้ไลน์เป็นหนึ่งในช่องทางของการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน และมีการเปิดรับข้อมูลผ่านทางแอปพลิเคชันไลน์อยู่ตลอดเวลา

การจัดการเรียนการสอนคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเน้นรายวิชาการฝึกปฏิบัติ ซึ่งรายวิชาเหล่านี้การฝึกฝนจากการทำใบงาน หรือใบกิจกรรมควบคู่ไปกับการฝึกปฏิบัติจะช่วยให้ศึกษามีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น และสามารถทบทวนด้วยตนเอง หากฝึกฝนจากการทำใบงานควบคู่ไปกับการเรียนทั้งภาคทฤษฎี และภาคปฏิบัติ จะทำให้เกิดความเข้าใจในเนื้อหาต่างๆ อย่างถ่องแท้ และจดจำได้มากขึ้น การส่งงานส่วนใหญ่จะเน้นการส่งงานที่เป็นเอกสารเนื่องจากต้องมีการออกแบบและเขียนแบบร่างด้วยมือโดยมีรายละเอียดของการกำหนดขนาดและมาตราส่วน หากใช้วิธีสแกนหรือถ่ายภาพแล้วส่งในรูปแบบไฟล์ดิจิทัล ผ่านช่องทางอีเมล หรือโซเชียลมีเดีย นั้นนักศึกษาส่วนใหญ่ไม่มีเครื่องสแกน สำหรับการถ่ายภาพส่งนั้นภาพไม่ชัด ความละเอียดของภาพไม่เพียงพอในการตรวจผลงานการเขียนแบบไอโซเมตริกที่มีการกำหนดมาตราส่วนที่วาดด้วยมือ การมอบหมายในลักษณะนี้นักศึกษาจะต้องร่างแบบลงในกระดาษ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำหรับงานเขียนแบบ จากการส่งงานดังกล่าวพบว่าปัญหาส่วนใหญ่คือเอกสารเกิดการสูญหาย ส่งผลกระทบต่อระดับคะแนนของนักศึกษาไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้

จากประเด็นดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งไปที่มีการแจ้งเตือนการส่งงานไปยังผู้สอน เพื่อช่วยป้องกันเอกสารสูญหาย ฝึกความตรงต่อเวลา และมีความรับผิดชอบในการส่งงานที่ได้รับมอบหมาย อีกทั้งยังเป็นการลดการแพร่กระจายของโรคระบาดไวรัส



โคโรนา 2019 ที่ต้องมีการเว้นระยะห่างตามมาตรการ DMHTT จากการค้นคว้าผลงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาในรูปแบบของกล่องรับจดหมาย/ตู้จดหมายที่มีการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งจิรวัดน์ และคนอื่นๆ (2564) ได้สร้างกล่องจดหมายโดยใช้พลังงานจากโซลาร์เซลล์และสำรองพลังงานในรูปของแบตเตอรี่ ปัญหาที่พบคือหากไม่มีแสงแดด หรือแสงแดดน้อยจะไม่มีไฟเพียงพอสำหรับเลี้ยงวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้กล่องจดหมายไม่กันฝน ไม่กันแสงแดดได้ ส่วนเตือนใจ และภาคภูมิ (2563) สร้างตู้รับพัสดุอัจฉริยะที่สามารถดูพัสดุผ่านกล้องในแอปพลิเคชัน Blynk โดยพบปัญหาว่าควรมีการติดตั้งตู้รับพัสดุอัจฉริยะให้อยู่บริเวณรัศมีของ Router, WiFi เพื่อการเชื่อมต่อที่เสถียร โดยที่จักรพงษ์ มณีศรี (2560) ได้นำเอาโมดูลเซนเซอร์แสงสำหรับตรวจจับเมื่อมีจดหมายส่งเข้ามาแล้วแจ้งเตือนผ่านไลน์ และเลือกใช้เซนเซอร์แสงสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ตรงหน้าได้ แต่ปัญหาที่พบคือยังไม่สามารถตรวจจับในระยะไกลได้ จากปัญหาของผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ากล่องมีขนาดเล็ก การติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุมีการติดตั้งวงจรค่อนข้างจำกัด ไม่พบสถานะการแสดงผลหรือการแจ้งเตือนบริเวณหน้ากล่องที่ติดตั้ง หากพบว่าในกล่องมีจดหมายจำนวนมากจะไม่มีแจ้งเตือน จากปัญหาต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาตู้ส่งงานที่รองรับเอกสารมากกว่า 1,000 แผ่น มีจอแสดงสถานะพร้อมใช้งานติดตั้งบริเวณหน้าตู้ส่งงาน พร้อมติดตั้งเซนเซอร์วัดระยะทางภายในตู้ ด้านบน มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้งานได้ประมาณ 10 วัน และมีการตั้งค่าการนับจำนวนเอกสาร หากพบว่ามีปริมาณเอกสารครบตามจำนวนที่ตั้งค่าไว้ระบบจะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้สอน

### วิธีดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ดำเนินการวิจัยตามหลักทฤษฎีวงจรการพัฒนา ระบบ (โอภาส, 2560) โดยมีขั้นตอนดังนี้

#### ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดปัญหา

คณะผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลนักศึกษาเกี่ยวกับวิธีการส่งงานที่ได้รับมอบหมายโดยส่งในล็อกเกอร์ส่งงานสามารถสรุปปัญหาที่เกิดขึ้น คือ เอกสารเกิดการสูญหาย ไม่มีการยืนยันการส่งเอกสารจากอาจารย์ผู้สอน ไม่สามารถระบุเวลาการส่งเอกสารก่อน-หลัง เกิดการสลับลำดับการส่งงานระหว่างคนที่ส่งงานตรงเวลาและส่งงานล่าช้า ดังนั้นการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้จะเป็นการช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ คณะผู้วิจัยจึงได้สอบถามความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

#### ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์

เป็นการรวบรวมข้อมูลจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา แล้วนำมาทำการวิเคราะห์ในการเลือกใช้เซนเซอร์ที่มีความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ จากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจะนำหลักการของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุที่นิยมใช้ตรวจจับวัตถุระยะใกล้ เมื่อหลอดแอลอีดีอินฟราเรดส่งสัญญาณจะตกกระทบกับวัตถุที่ตรวจพบในระยะ และทำการสะท้อนกลับมายังหลอดโฟโตไดโอดที่ทำหน้าที่รับแสงอินฟราเรด (นพ, 2561) จึงเหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับตรวจจับชิ้นงานที่ตู้ส่งงาน และเซนเซอร์วัดระยะทางทำหน้าที่เป็นตัววัดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และวัตถุที่มากีดขวาง หากวัตถุเข้ามาใกล้เกินกว่าระยะที่กำหนด (จิรวาด, 2561) ส่วนขั้นตอนดำเนินการทำการออกแบบเพื่อนำไปพัฒนาระบบเป็น 2 ด้านคือ ด้านซอฟต์แวร์ และด้านฮาร์ดแวร์ ดังนี้

### 1. ด้านซอฟต์แวร์

ในการพัฒนาระบบด้านซอฟต์แวร์ มีอยู่ 2 คือ ส่วนของซอฟต์แวร์ในการเขียนโปรแกรมควบคุมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ คณะผู้วิจัยเลือกใช้ซอฟต์แวร์ Arduino IDE เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับเขียนคำสั่งตรวจสอบ/ประมวลผลคำสั่ง และอัปโหลดคำสั่งไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Node MCU ESP8266) ร่วมกับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ และส่วนของซอฟต์แวร์สำหรับการแจ้งเตือนการส่งงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยประยุกต์จากการทำงานจาก API ของ LINE notify ในการส่งข้อความจากระบบไปยังแอปพลิเคชันไลน์ โดยผู้ใช้บริการต้องทำการลงทะเบียนเพื่อขอรับโทเค็น (token) ก่อนเข้าใช้งาน (ภาสกร, 2562)

### 2. ด้านฮาร์ดแวร์

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ ส่งสัญญาณเข้า LINE ทุก 30 นาที สถานะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอยู่จะขึ้นสถานะ “ออนไลน์” ถ้าไม่มีสัญญาณส่งไปที่ LINE จะขึ้นสถานะ “ออฟไลน์”

เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ (IR sensor) ใช้หลักการสะท้อนของแสงเมื่อไปชนวัตถุ (reflective) โดยมีหลอดแอลอีดีอินฟราเรดส่งแสงไฟได้ทราบซีสเตอร์ในการรับแสง ระยะในการตรวจจับวัตถุอยู่ที่ 2-30 เซนติเมตร สำหรับงานวิจัยนี้ทำหน้าที่ตรวจจับชิ้นงานที่ส่งผ่านช่องส่งงานเข้ามาภายในตู้ส่งงาน และส่งสัญญาณให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์

เซนเซอร์วัดระยะ (Ultrasonic sensor) เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต อาศัยการกระจาย หรือการเคลื่อนที่ของคลื่นเสียงไปกระทบพื้นผิวของตัวกลางแล้วสะท้อนกลับของคลื่นเสียงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ ดังนั้นการนำเซนเซอร์วัดระยะมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตู้ส่งงานนี้จะมีการกำหนดระยะห่างระหว่างวัตถุกับชิ้นงานที่ 10 เซนติเมตร หากชิ้นงานเข้าใกล้ระยะที่กำหนดหน้าจอดีแสดงผลจะดับ แต่หากวัตถุอยู่ห่างจากระยะที่กำหนดสามารถส่งงานได้

สายไฟจัมเปอร์ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้เซนเซอร์ และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

แบตเตอรี่ recharge 18650 Li-ion ทำหน้าที่เป็นไฟเลี้ยงวงจรให้สามารถทำงานและสั่งการได้

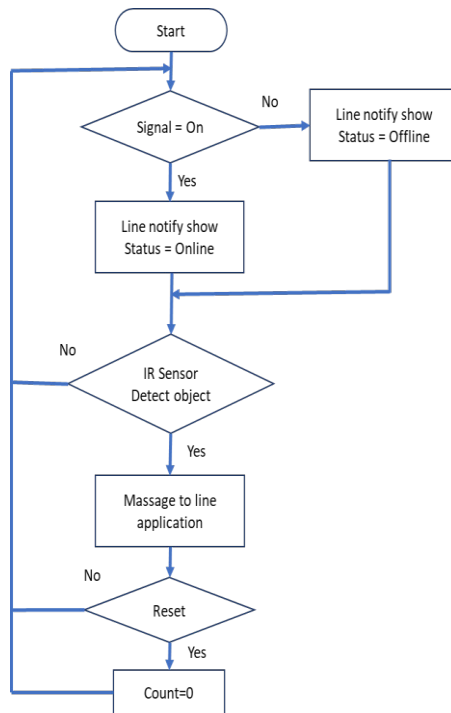
หลอด LED (Light Emitting Diode) เป็นหลอดแอลอีดีขนาดเล็ก จัดอยู่ในประเภทไดโอดเปล่งแสง เป็นเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแล้วทำการเปล่งแสงสว่างออกมา ในที่นี้ทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงานความพร้อมใช้งานของระบบ

จอแสดงผล LCD (Liquid Crystal Display) ทำมาจากผลึกคริสตัลเหลว ด้านหลังจอมีไฟส่องสว่าง เรียกว่า backlight เมื่อมีการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปกระตุ้นที่ผลึกทำให้แสงที่มาจากไฟ backlight แสดงขึ้นมาบนหน้าจอ ส่วนอื่นที่โดนผลึกปิดกั้นไว้จะมีสีที่แตกต่างกันตามสีของผลึกคริสตัล เช่น สีเขียว หรือสีฟ้า เมื่อมองไปที่จอแสดงผลจะพบกับตัวหนังสือสีขาว ในที่นี้ทำหน้าที่แสดงสถานะเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าสามารถส่งงานได้

สวิตช์ ทำหน้าที่ควบคุมการเปิด ปิดการทำงานของระบบตู้ส่งงาน

### ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบ

เป็นการออกแบบผังงานของระบบโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการรับค่าข้อมูล ส่วนการประมวลผล และส่วนแสดงผล ดังผังการทำงานของระบบ ภาพที่ 1



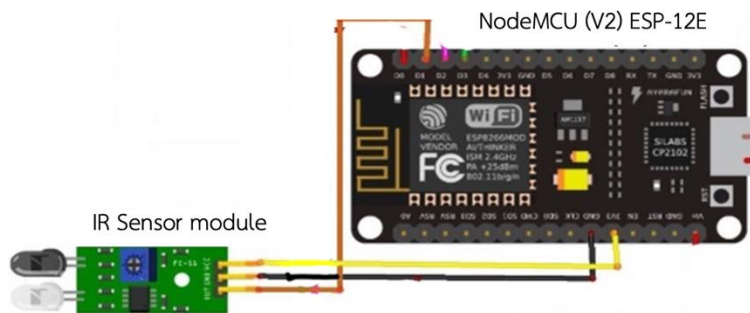
ภาพที่ 1 ผังการทำงานของระบบ

จากภาพที่ 1 เป็นการออกแบบการทำงานของระบบโดยแสดงให้เห็นถึงการนำเอกสารออกจากตู้ส่งงาน เมื่อเปิดใช้งานตู้ส่งงานอัจฉริยะระบบจะตรวจสอบว่ามีสัญญาณอินเทอร์เน็ทหรือไม่ หากตรวจพบว่ามีสัญญาณอินเทอร์เน็ทในแอปพลิเคชันไลน์จะแสดงสถานะ “ออฟไลน์” แต่ถ้าพบว่ามีสัญญาณอินเทอร์เน็ทแอปพลิเคชันไลน์จะแสดงสถานะ “ออนไลน์” ในการนำเอกสารออกจากตู้ส่งงานสามารถทำได้ทั้งเจ้าหน้าที่และผู้สอน โดยจะมีเซ็นเซอร์สำหรับตรวจจับการส่งงาน ถ้ามีการส่งงานจะมีข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้สอน และนับจำนวนชิ้นงานในระบบ เมื่อเปิดตู้ส่งงานและดำเนินการนำเอกสารออกจากตู้ส่งงาน ระบบจะยังไม่ทำการ Reset ค่ายังคงนับจำนวนต่อไป หากต้องการ Reset ค่า สามารถทำได้ผ่านระบบ Line ด้วยคำสั่ง Reset ค่า จะกลับไปเริ่มต้นนับ 1 ใหม่

### ขั้นตอนที่ 4 การพัฒนาระบบ

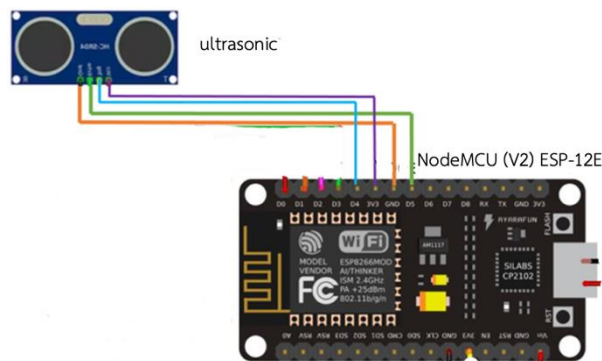
เป็นการออกแบบวงจรโดยเลือกใช้โปรแกรม Fritzing ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองการต่อบอร์ด Arduino เข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ภาพกราฟิกแทนของจริง (ทศพล, 2565) เช่น ภาพกราฟิกของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ที่เสมือนจริง สามารถออกแบบหรือแก้ไขชิ้นส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เอง

หรือเป็น IDE ขนาดย่อม สามารถเขียนคำสั่งและอัปโหลดลงบนบอร์ด Arduino ได้เหมือนกับโปรแกรม Arduino IDE และด้วยพีเจอร์ทึ่ใช้ง่ายต่อการใช้งาน ทำให้โปรแกรม Fritzing เหมาะกับการเริ่มต้นการต่อวงจรไฟฟ้าควบคู่ไปกับการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ ดังภาพที่ 2 ส่วนที่ 2 วงจรเซนเซอร์วัดระยะ ดังภาพที่ 3 ทำหน้าที่ตรวจจับชิ้นงาน และส่วนที่ 3 วงจรควบคุมการทำงานของตู้ส่งงานในภาพรวม ดังภาพที่ 4 จากกระบวนการออกแบบวงจรต่างๆ ที่กล่าวไปข้างต้น เป็นการจำลองการต่อบอร์ดเพื่อทดสอบการทำงานก่อนนำไปพัฒนาต่อกับชิ้นงานจริงเพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์



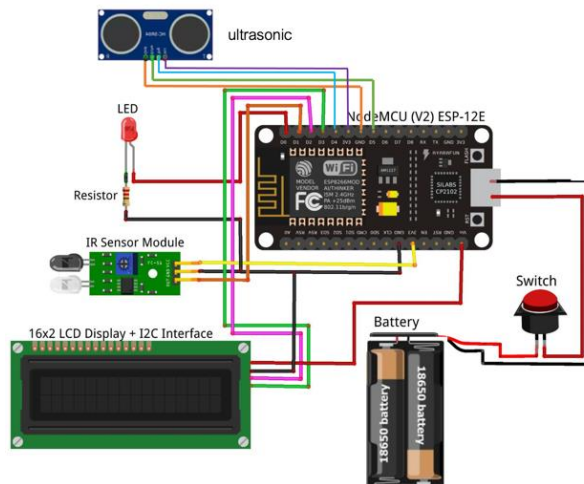
ภาพที่ 2 วงจรเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ

จากภาพที่ 2 เป็นการต่อวงจรตามรูปขา OUT ของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุจะต่อเข้ากับขา D1 ซึ่ง D1 เป็นขา GPIO ที่เอาไว้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตต่างๆ สามารถเขียนคำสั่งเพื่อกำหนดให้ขาที่ต้องการมีสถานะการทำงานเป็นอินพุต หรือเอาต์พุตก็ได้ ทำให้เมื่อทำการต่อเซนเซอร์เข้ากับขา D1 เขียนคำสั่งให้ขา D1 มีสถานะเป็นเอาต์พุตเพื่อรับค่าจากเซนเซอร์เข้ามา ส่วนขา VCC ต่อเข้ากับขา 3.3 โวลต์ และขา GND ต่อเข้ากับขา GND ด้วยกัน



ภาพที่ 3 วงจรเซนเซอร์วัดระยะ

จากภาพที่ 3 นำวงจรที่ต่อเสร็จสมบูรณ์ไปติดตั้งกับตู้ส่งงาน โดยนำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ติดไว้ด้านในของตู้ส่งงานและเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุไว้บริเวณช่องสำหรับส่งงาน ส่วนเซนเซอร์วัดระยะติดตั้งด้านบนภายในตู้ส่งงาน และทำการต่อขา ECHO เข้ากับขา D4 เขียนคำสั่งให้ขา D4 มีสถานะเป็นเอาต์พุตเพื่อรับค่าจากเซนเซอร์เข้ามา ขา TRIG ต่อเข้ากับ D5 ส่วนขา VCC ต่อเข้ากับขา 3.3 โวลต์ และขา GND ต่อเข้ากับขา GND ด้วยกัน

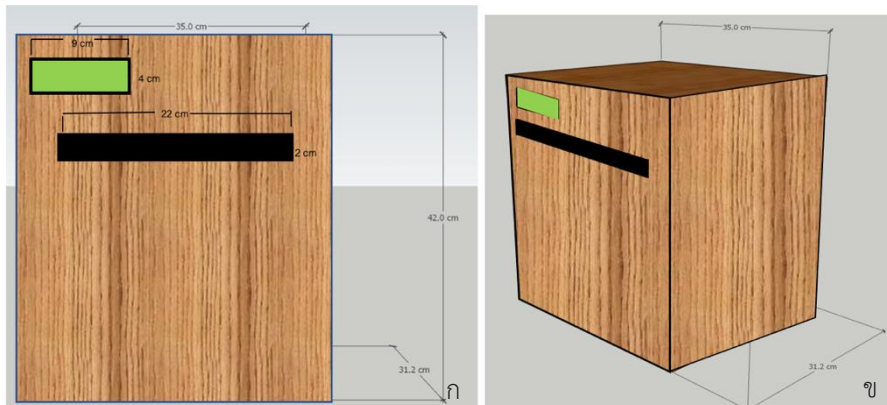


ภาพที่ 4 วงจรควบคุมการทำงานของตู้ส่งงาน

จากภาพที่ 4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบการแจ้งเตือนการส่งงานใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันไลน์ มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตกับเครือข่ายมือถือในการส่งข้อมูลจากตัวเซนเซอร์ตรวจนับจำนวนใบงาน/สมุดงาน หากเมื่อมีการกดปุ่มสวิทซ์แหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่จะเริ่มทำงาน โดยจะมีการแสดงสถานะพร้อมใช้งานบนจอแสดงผล แสดงดังภาพที่ 5 และเมื่อมีการส่งใบงาน/สมุดงานผ่านช่องส่งงานเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุจะส่งข้อความไปยังแอปพลิเคชันไลน์เพื่อแจ้งเตือนการส่งงาน ทั้งนี้ในการชาร์จในแต่ละครั้งสามารถใช้งานได้ประมาณ 10 วัน แต่ควรเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 7 วัน เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้เป็นปกติเสมอ



ภาพที่ 5 ต้นแบบตู้ส่งงานอัจฉริยะแจ้งเตือนผ่านระบบไลน์



ภาพที่ 6 การออกแบบตู้ส่งงานด้วยโปรแกรมออกแบบ ด้านหน้า (ก) และ ด้านข้าง (ข)

จากภาพที่ 6 ตู้ส่งงานที่สร้างขึ้นทำจากไม้เนื้อแข็ง มีขนาดความกว้าง 35 เซนติเมตร ความยาว 31.2 เซนติเมตร และความสูง 42 เซนติเมตร หน้าจอแสดงสถานะ ความกว้าง 9 เซนติเมตร ความยาว 4 เซนติเมตร ช่องส่งงาน ความกว้าง 22 เซนติเมตร ความยาว 2 เซนติเมตร ซึ่งรองรับใบงานที่ให้นักศึกษาทำจะมีขนาด A4 (21.0 x 29.7 ซม.) โดยปริมาณงานที่นักศึกษาส่งต่อสัปดาห์ไม่เกิน 500 แผ่น ตู้ส่งงานสามารถรองรับการส่งงานมากกว่า 1,000 แผ่น ฉะนั้นถ้าผู้สอนนำงานออกจากตู้ส่งงานทุกสัปดาห์ระบบจะสามารถทำงานได้เป็นปกติ

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบ

เป็นขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบ หลังจากเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ เซนเซอร์วัดระยะ และดำเนินการแสดงผลบนจอภาพ แล้วส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ไปยังผู้สอนให้ทราบว่ามียางมาส่ง

ขั้นตอนที่ 6 การนำระบบไปใช้งาน

เป็นขั้นตอนการนำตู้ส่งงานอัจฉริยะแจ้งเตือนผ่านระบบไลน์ไปทดลองให้นักศึกษาทดลองใช้งาน พร้อมแนะนำวิธีการใช้งานระบบ

### ขั้นตอนที่ 7 การบำรุงรักษา

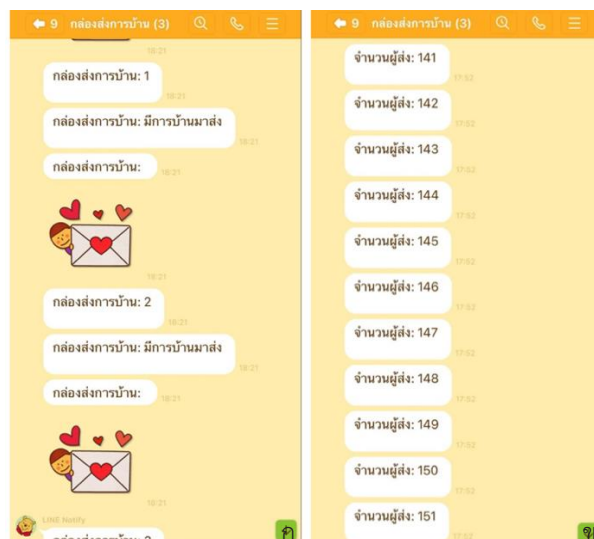
เป็นขั้นตอนที่ทำให้ตู้ส่งงานและระบบการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์สามารถใช้งานได้ หลังจากที่ผ่านมาผ่านการทดสอบแล้วนำไปใช้จริง หากผู้ใช้งานพบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบ ผู้วิจัยจะดำเนินการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง

หลังจากนักศึกษาได้ใช้งานของตู้รับส่งงานไประยะหนึ่ง ผู้วิจัยได้ทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของระบบด้วยแบบประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบแบบมาตราส่วน 5 ระดับ โดยประเมินประสิทธิภาพ 5 ด้าน ได้แก่ ด้านตรงกับความต้องการ ด้านความสะดวกในการส่งงาน โครงสร้างตู้ส่งงานอัจฉริยะ มีความแข็งแรง การออกแบบช่องส่งงาน และด้านการนำไปใช้ประโยชน์

### ผลการวิจัย

#### 1. ผลการออกแบบระบบการแจ้งเตือนการส่งงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์

เมื่อทำการกดสวิตช์ หน้าจอแสดงผลจะขึ้นสถานะพร้อมใช้งาน หากมีสมุดงาน/ใบงานส่งเข้าไปในช่องส่งงาน บอร์ดจะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ว่า “มีการบ้านมาส่ง” พร้อมแสดงสติ๊กเกอร์ ภาพที่ 7 (ก) ทั้งนี้จะมีการแสดงจำนวนสมุดงาน/ใบงานที่อยู่ภายในตู้ส่งงานว่ามีจำนวนคนที่ส่งเท่าไร ภาพที่ 7 (ข) ทั้งนี้หากตู้ส่งงานเต็ม จะมีการแจ้งเตือนไปยังไลน์ของผู้สอนเมื่อเอกสารใกล้เต็ม สำหรับการยืนยันตัวตนในการส่งงานของนักศึกษาเพื่อป้องกันปัญหานักศึกษายืนยันว่าส่งงานแล้วในระยะเวลาที่กำหนด แต่ไม่ปรากฏเอกสารภายในตู้ส่งงานนั้น ใช้วิธีการสร้างกล่องปิดล้อมธรรมดาที่มีขนาดใหญ่เพียงพอในการส่งงานจำนวนมาก อย่างไรก็ตามถ้าภายในตู้ไม่ปรากฏงานของนักศึกษาจำเป็นที่จะต้องทำส่งใหม่แต่อาจจะพิจารณาไม่ตัดคะแนนในการส่งล่าช้า เพราะเกณฑ์การให้คะแนนยังต้องดูผลงานของนักศึกษาที่ทำส่งประกอบเรื่องระยะเวลาในการส่งงานเป็นเพียงส่วนหนึ่งเพื่อให้ผู้เรียนมีความรับผิดชอบต่อการส่งงานเท่านั้น



ภาพที่ 7 แจ้งเตือนการส่งงาน (ก) และ จำนวนผู้ส่งงาน (ข)

2. ผลการหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบแจ้งเตือนการส่งงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์

ในการหาประสิทธิภาพการทำงานของระบบการแจ้งเตือน ได้ทำการทดสอบระยะเวลาของการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุที่เหมาะสมในการตรวจจับชิ้นงาน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 8.78 เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบระยะเวลาการตรวจจับการส่งงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ

จำนวนครั้งการทดสอบ	ระยะตรวจจับชิ้นงานของเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ (เซนติเมตร)
1	10.15 ±0.07
2	10.10±0.04
3	9.75±0.11
4	9.43±0.13
5	9.13±0.08
6	8.80±0.16
7	8.43±0.12
8	8.14±0.08
9	7.30±0.17
10	6.66±0.21
เฉลี่ย	8.78±1.13

จากตารางที่ 1 พบว่าเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุสามารถตรวจจับชิ้นงาน ระยะทางเฉลี่ยในการติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุและได้ประสิทธิภาพตรวจจับที่ระยะ 8.78 เซนติเมตร

ตารางที่ 2 การทดสอบการแจ้งเตือนการส่งงานไปยังแอปพลิเคชันไลน์

ครั้งที่	1	2	3	4	5
สถานะ	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ : ✓ คือ มีการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์

จากตารางที่ 2 พบว่าในการทดสอบการแจ้งเตือนจำนวน 5 ครั้ง ระบบมีการแจ้งเตือนไปยังแอปพลิเคชันไลน์ ความถูกต้องในการทำงานคิดเป็นร้อยละ 100

ตารางที่ 3 การทดลองระยะเวลาของแหล่งจ่ายไฟ (แบตเตอรี่ recharge 18650 Li-ion จำนวน 2 ก้อน)

จ่ายไฟฟ้าจำนวน (วัน)	7	8	9	10
กำลังไฟเฉลี่ย 2 ก้อน (4.20 โวลต์)	3.22	3.18	2.90	2.65



ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

จากตารางที่ 3 พบว่าในการวัดค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้าระยะเวลา 7 ถึง 10 วัน กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟจะลดลงตามลำดับ ฉะนั้นเพื่อให้ระบบทำงานได้เป็นปกติควรเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 7 วัน (แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ 18650 เมื่อชาร์จเต็มจะอยู่ที่ 4.20 โวลต์ และกำลังไฟฟ้าไม่ควรต่ำกว่า 2.90 โวลต์ หากกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 2.90 โวลต์อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อแบตเตอรี่ได้)

**ตารางที่ 4** การเปรียบเทียบผลการการใช้งานก่อนและหลังการใช้ตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

วิธีการ	ก่อนการใช้ตู้ส่งงานอัจฉริยะ	หลังใช้งานตู้ส่งงานอัจฉริยะ
การส่งงาน	ล็อกเกอร์ส่งงาน ไม่มีระบบปิด	ตู้ส่งงานมีระบบปิด
ลำดับการส่งงาน	ไม่มีการเรียงลำดับก่อน - หลัง สามารถสลับตำแหน่งการส่งงานได้	เรียงลำดับตามการส่งงานก่อน - หลัง
การแจ้งเตือนการส่งงานไปยังผู้สอน	ไม่มี	แจ้งเตือนระบบไลน์ผู้สอน
แสดงเวลาในการส่งงาน	ไม่มี	แสดงเวลาการส่งงานไปยังผู้สอน
การสูญหายเอกสาร	มี	ไม่มี

จากตารางที่ 4 พบว่าก่อนการนำตู้ส่งงานอัจฉริยะมาใช้งานนั้นในภาพรวมการส่งงานจะมีเอกสารสูญหายอยู่บ่อยครั้ง ส่งผลให้นักศึกษาที่ส่งงานก่อนถูกหักคะแนน เนื่องจากมีการนำเอกสาร/ใบงานของเพื่อนไปคัดลอกทำให้ส่งงานล่าช้าตามเพื่อนที่นำเอกสารไปคัดลอกเป็นต้นฉบับ รวมไปถึงการส่งงานแต่ละครั้งจะไม่มีใครทราบได้ว่าใครส่งก่อนหรือส่งหลัง ซึ่งจะเป็นปัญหาอย่างมากสำหรับการส่งงานในแต่ละครั้ง จากการนำตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาทดลองใช้กับนักศึกษาในระยะเวลา 1 เดือน พบว่าปัญหาดังกล่าวได้หมดไป ส่งผลให้นักศึกษามีความเชื่อมั่นในกระบวนการส่งงาน เมื่อนักศึกษาได้ส่งงานจะมีการแจ้งเตือนการส่งงานไปยังผู้สอนแบบเรียลไทม์

3. ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

**ตารางที่ 5** ผลการสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต

ของสรรพสิ่ง

รายการ	ผลการประเมิน		
	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. ด้านตรงกับความต้องการ	4.25	0.64	มาก
2. ด้านความสะดวกในการใช้งาน	4.45	0.69	มาก
3. ด้านโครงสร้างตู้ส่งงานอัจฉริยะมีความแข็งแรง	4.10	0.64	มาก
4. ด้านการออกแบบช่องส่งงาน	4.15	0.49	มาก
5. ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	4.20	0.41	มาก
โดยรวม	4.23	0.20	มาก

จากตารางที่ 5 ผลการสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบตู้ส่งงานอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง จำนวน 20 คน โดยรวมอยู่ในระดับมาก ( $\bar{X} = 4.23$ , S.D. = 0.20) เมื่อพิจารณาราย ด้าน พบว่า ด้านความสะดวกในการใช้งาน มีค่าเฉลี่ยสูงสุด ( $\bar{X} = 4.45$ , S.D. = 0.69) อยู่ในระดับมาก รองลงมา คือ ด้านตรงกับความต้องการ ( $\bar{X} = 4.25$ , S.D. = 0.64) อยู่ในระดับมาก

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบการแจ้งเตือนการส่งงานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ช่วยลดปัญหาการส่งงานแล้วสูญหาย ลดการสัมผัสการส่งงานโดยตรงอันเนื่องมาจากการแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 และมีการแจ้งเตือนไปยัง อาจารย์ผู้สอนได้อย่างรวดเร็ว ในการแจ้งเตือนการส่งงานเลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซนเซอร์ ตรวจจับวัตถุเพื่อทำการเชื่อมต่อไปยังแอปพลิเคชันไลน์ สอดคล้องกับงานวิจัยของเจตนัน, พุทธิชาติ และสัณญา (2563) ได้นำบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซนเซอร์ตรวจจับวัตถุมาประยุกต์ใช้ในการสร้างกล่องจดหมาย อัจฉริยะเพื่อช่วยในการพัฒนาพื้นที่ นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยของจักรพงษ์ (2560) ที่ได้นำโมดูล เซนเซอร์แสงสำหรับตรวจจับเมื่อมีจดหมายส่งเข้ามาแล้วแจ้งเตือนผ่านไลน์ ในการทดสอบประสิทธิภาพของ เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุที่ระยะที่เหมาะสมในการตรวจจับชิ้นงานอยู่ที่ 8.78 เซนติเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ของจิรวัดน์ และคนอื่นๆ (2564) ที่ทำการตรวจจับระยะทางตรวจจับจดหมาย IR sensor เฉลี่ย 9.6 เซนติเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะที่อยู่ในช่วง 8-9 เซนติเมตรที่จะเหมาะสมสำหรับการตรวจจับวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย อย่าง เช่น ขนาดความสูงของกล่อง การตั้งค่าของการเขียนโปรแกรม และแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์สามารถ ให้พลังงานและระบบยังสามารถทำงานได้เป็นปกติประมาณ 7 วัน เมื่อเปรียบเทียบกับการพัฒนาในรูปแบบของ กล่องรับจดหมาย/ตู้จดหมายที่มีการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งจิรวัดน์ และคนอื่นๆ (2564) ได้สร้าง กล่องจดหมายโดยใช้พลังงานจากโซล่าเซลล์และสำรองพลังงานในรูปของแบตเตอรี่ ปัญหาที่พบคือหากไม่มี แสงแดด หรือแสงแดดน้อยจะไม่มีไฟเพียงพอสำหรับเลี้ยงวงจรไฟฟ้า งานวิจัยในครั้งนี้สามารถแก้ไขข้อบกพร่อง ในกรณีใช้โซล่าเซลล์ ซึ่งเกิดความไม่แน่นอนในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้ากับระบบ และจากการสร้างตู้รับ

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

พัสดุอัจฉริยะที่สามารถดูพัสดุผ่านกล้องในแอปพลิเคชัน Blynk โดยพบปัญหาว่าควรมีการติดตั้งตู้รับพัสดุอัจฉริยะให้อยู่บริเวณรัศมีของ Router, WiFi เพื่อการเชื่อมต่อที่เสถียร จากปัญหาของผลงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ากล่องมีขนาดเล็ก การติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ การติดตั้งวงจรค่อนข้างจำกัด ผู้วิจัยจึงออกแบบผู้ส่งงานให้มีขนาดที่สามารถใส่อุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสมติดตั้งอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ ในระยะที่สามารถตรวจจับวัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับได้จากผลการทดลองข้างต้น รวมไปถึงรองรับเอกสารมากกว่า 1,000 แผ่น

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2565

### เอกสารอ้างอิง

- ขวัญฤดี ฮวดหุ่น. (2560). อิทธิพลของแอปพลิเคชันไลน์ในการสื่อสารยุคปัจจุบัน. วารสารศิลปะการจัดการ, 1(2), 75-88.
- จักรพงษ์ มณีศรี. (2560). ผู้รับจดหมายแจ้งเตือนผ่าน Line Notify. เซนติคอนตักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, 9(443), 48-53.
- จิรวัดณ์ ตั้งวันเจริญ, อภินันท์ มัณยานนท์, ศรีธญา วรินทร์เวช, วรรัชชิสฐา อัครธณยวัฒน์ และพิศิษฐ์ กัณฐทิพย์. (2564). กล้องรับจดหมายแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์โดยใช้พลังงานโซลาเซลล์. ใน การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 8. วันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 (หน้า 933-942). ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- จิราวุธ วารินทร์. (2561). Arduino UNO พื้นฐานสำหรับงาน IoT. กรุงเทพฯ : รีไควว่า.
- เจตน์ นามประพตติ, พุทธชาติ ยมกิจ และสัญญา พันธุ์แพง. (2563). กล้องจดหมายอัจฉริยะเพื่อบริษัทแอดไวซ์ เชียงราย. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และนวัตกรรม ครั้งที่ 1. วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563(หน้า 748-755). เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- เดือนใจ อาชีวะพนิช และภาคภูมิ คันธวิวัฒน์. (2563). ผู้รับพัสดุอัจฉริยะ. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 5. วันที่ 29-30 เมษายน พ.ศ. 2563(หน้า 245-252). พระนครศรีอยุธยา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ทศพล บ้านคลองสี่. (2565). Practical Microcontroller & Programming with ARDUINO เรียนง่าย เป็นเร็ว. กรุงเทพฯ : ไอดีซีพีริเมียร์.
- นพ มหิษานนท์. (2561). Arduino Stratup สนุกสุดเหวี่ยงกับเซนเซอร์. กรุงเทพฯ : คอร์ฟังก์ชัน.
- ภาสกร พาเจริญ. (2562). พัฒนา IoT บนแพลตฟอร์ม Arduino ด้วย NodeMCU. กรุงเทพฯ : โปรวิชั่น.
- วารสารณ์ ไทยมา และวรพล อิทธิคณศร. (2563). การเปลี่ยนแปลงทางธุรกิจสู่เทคโนโลยีการสื่อสารในระบบ 5G. วารสารการอาชีวศึกษาภาคกลาง, 4(1), 11-16.
- อิมรอน แวมง, อิสมาแอล พิทักษ์ลาวัลย์,อัฟฟาน มิมอ และพรรณี แพงทิพย์. (2563). การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันขอใช้บริการถ่ายสำเนาเอกสารทางวิชาการร่วมกับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์: กรณีศึกษาคณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. วารสารวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 6(2), 61-71.
- โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2560). การวิเคราะห์และออกแบบระบบ. (ฉบับปรับปรุงเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.





---

ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคม และการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่น  
หลังคลอด

Postpartum Depression, Social Support, and Maternal Role Attainment on  
Postpartum Maternal Adolescent

รุ่งฤดี อุสาหะ\*

Rungrudee usaha

อิงหทัย ดำจตุติ\*

Enghtai Damjuti

สุรียา ยอดทอง\*

Suriya Yodthong

---

Received : July 16, 2022

Revised : September 1, 2022

Accepted : June 13, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคมและการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด กลุ่มตัวอย่างเป็นมารดาวัยรุ่นหลังคลอดปกติในโรงพยาบาลต้ง อายุน้อยกว่า 19 ปี จำนวน 181 ราย เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ 1) แบบประเมินภาวะซึมเศร้าหลังคลอด 2) แบบประเมินการรับรู้การสนับสนุนทางสังคม 3) แบบประเมินการดำรงบทบาทมารดา และได้ทดสอบค่าความเที่ยงได้ 0.89 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ ความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และสหสัมพันธ์เพียร์สัน ผลการศึกษาพบว่า 1) มารดาวัยรุ่นหลังคลอดค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ (Mean=6.53, S.D.=1.40) 2) การสนับสนุนทางสังคมมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.77, SD = .23) 3) การดำรงบทบาทมารดา ค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.72, SD = .42) 4) ภาวะซึมเศร้าหลังคลอดมีความสัมพันธ์ทางลบกับการดำรงบทบาทมารดา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $r = -.145, p < 0.01$ ) 5) การสนับสนุนทางสังคมมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการดำรงบทบาทมารดา อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $r = .422, p < 0.01$ ) จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ผู้ดูแลสามารถดูแลกลุ่มมารดาวัยรุ่นและสามีโดยเฉพาะ เพื่อให้สามารถได้รับข้อมูลและมีความกล้าในการพูดคุยปรึกษาปัญหาการดูแลบุตรได้อย่างมั่นใจ ทำให้ผู้ดูแลสามารถส่งเสริมให้สามีและครอบครัวเข้ามามีส่วนร่วมในการดูแลบุตร ส่งเสริมการสนับสนุนทางสังคม เพื่อให้มารดาวัยรุ่นมีการดำรงบทบาทมารดาที่เหมาะสม

คำสำคัญ : ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด / การสนับสนุนทางสังคม / การดำรงบทบาทมารดา

---

\*อาจารย์ประจำวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ตรัง

Lecturer, Boromarajonani College of Nursing, Trang e-mail: rungrudee@bcnt.ac.th

#### ABSTRACT

This research aimed to study the relationship between Postpartum Depression, Social Support, and Maternal Role Attainment on Postpartum Maternal Adolescent. The subjects were selected following the inclusion criteria 181 normal adolescent mothers with normal labor in Trang Hospital. The research tools used in this study was a questionnaire. The questionnaire were 3 parts 1) Postpartum Depression 2) Social Support 3) Maternal Role Attainment in adolescent mothers. The reliability were 0.8. Data were analyzed using Frequency, Percentage, Mean, Standard Deviation, and Pearson's Product Moment Correlation. Results of the study revealed that: 1). Adolescent mothers had postpartum depression (Mean = 6.53, S.D. = 1.40). 2). Adolescent mothers had social support (Mean = 3.77, S.D. = .23). 3). Maternal Role Attainment postpartum adolescent mothers (Mean = 3.72, SD = .42) 4). Postpartum depression had a significant and negative correlation with Maternal Role Attainment postpartum adolescent mothers ( $r = -.145, p < 0.01$ ). 5). Social support had a significant and positive correlation with Maternal Role Attainment postpartum adolescent mothers ( $r = .422, p < 0.01$ ). The findings from this study suggested that the people should provide the activity for her husband and family helping together to mothers.

**Keywords :** Postpartum Depression / Social Support / Maternal Role Attainment

#### บทนำ

การตั้งครรภ์ ถือเป็นภาวะปกติของสตรีวัยเจริญพันธุ์ ที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งด้านร่างกายและจิตใจ รวมทั้งบทบาทการเป็นมารดา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นส่งผลต่อพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพของหญิงตั้งแต่ตั้งครรภ์จนคลอด ปัจจัยที่มีผลต่อบทบาทมารดา ด้านร่างกาย ได้แก่ อายุ ระดับการศึกษา อาชีพ รายได้ ลักษณะครอบครัว อายุครรภ์ และลำดับการตั้งครรภ์ ด้านจิตใจ เช่น ความวิตกกังวล ความเครียด ความเศร้า ซึ่งในปัจจุบัน ปัจจัยด้ายอายุเป็นสิ่งสำคัญ เพราะหากมาดาอายุน้อยจะมีผลกระทบในวงกว้าง (พิชาภรณ์ และคนอื่นๆ, 2564) ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆของสังคมและวัฒนธรรม เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้พฤติกรรมและการดำรงชีวิตของบุคคลในแต่ละช่วงวัยเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย วัยรุ่นความอยากรู้อยากลอง อารมณ์เปลี่ยนแปลงอ่อนไหว จึงมีโอกาสสูงเหนียวน่าได้ง่าย จากการต้องการการยอมรับจากกลุ่มเพื่อน ความทันสมัย อาจถูกสื่อสังคมออนไลน์ต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพฤติกรรมกรรมามีเพศสัมพันธ์ เพราะเป็นสิ่งที่อยากรู้อยากเห็น ส่งผลให้เกิดการตั้งครรภ์ที่ไม่ได้ตั้งใจ (Unintended Pregnancy) หรือการตั้งครรภ์ก่อนวัยอันควรได้ (อรัย และปราโมทย์, 2563) ปัญหาการตั้งครรภ์ในมารดาวัยรุ่นในประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และส่งผลกระทบต่ออนาคตของประเทศชาติ องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานการเฝ้าระวังสถานการณ์ การตั้งครรภ์ในมารดาวัยรุ่นมีอายุน้อยกว่า 20 ปี ควรต่ำกว่าร้อยละ 10 จากรายงานสถิติการคลอด

ของแม่วัยรุ่นประเทศไทย ปี พ.ศ. 2563 มีจำนวนการคลอดทั้งหมด 569,338 ราย โดยในจำนวนนี้เป็นการคลอดจากมารดาวัยรุ่นหรือผู้มีอายุต่ำกว่า 20 จำนวน 57,857 ราย คิดเป็นร้อยละ 10.16 (สำนักอนามัยการเจริญพันธุ์, 2563) ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ พฤติกรรมกรรมมีเพศสัมพันธ์โดยไม่ป้องกันของวัยรุ่นส่งผลให้แนวโน้มการตั้งครรภ์เพิ่มสูงขึ้นและส่วนใหญ่เป็นการตั้งครรภ์ที่ไม่ได้ตั้งใจ นำมาซึ่งการทำแท้งโดยผิดกฎหมายที่เสี่ยงต่ออันตรายและอาจเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ยังพบโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ เช่น การติดเชื้อเอชไอวี (HIV) เอชพีวี (HPV) และโรคอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับทางเพศมากขึ้น (อิสริย์ และคนอื่นๆ, 2565) องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้มีรายงานประชากรโลกเป็นโรคซิฟิลิสประมาณร้อยละ 4.4 โดยเพศหญิง เป็นโรคซิฟิลิสมากกว่าเพศชายถึง 2 เท่า ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย รวมถึงปัจจัยในเรื่องของฮอร์โมน จากการศึกษาความชุกของ ภาวะซิฟิลิสหลังคลอดในต่างประเทศพบว่าแม่หลังคลอดมีอุบัติการณ์ความชุกของภาวะซิฟิลิส หลังคลอดร้อยละ 13 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เป็นร้อยละ 19 (Michael O'Hara & McCabe, 2013) จากการศึกษาขององค์การอนามัยโลกเมื่อปีค.ศ. 2015 (World Health Organization) พบว่า ในประเทศกำลังพัฒนามีอุบัติการณ์การเกิดภาวะซิฟิลิสในแม่หลังคลอดร้อยละ 20 ส่วนในประเทศไทย พบความชุกของภาวะซิฟิลิสในช่วง 4-6 สัปดาห์หลังคลอดร้อยละ 9.5-25 และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น จากอดีตเช่นกัน (นภัสนันท์, 2559; วัลยา, 2558) นอกจากนี้ยังพบว่าในระยะหลังคลอดเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งทางร่างกาย จิตใจ และสังคม และการปรับเปลี่ยนบทบาทจากภรรยา มาเป็นมารดาในการดูแลบุตร อาจทำให้เกิดภาวะซิฟิลิสหลังคลอดได้ง่าย อาจจะมีผลต่ออารมณ์ของหญิงหลังคลอด และ ความสัมพันธ์กับครอบครัว อาจนำไปสู่การหย่าร้างได้

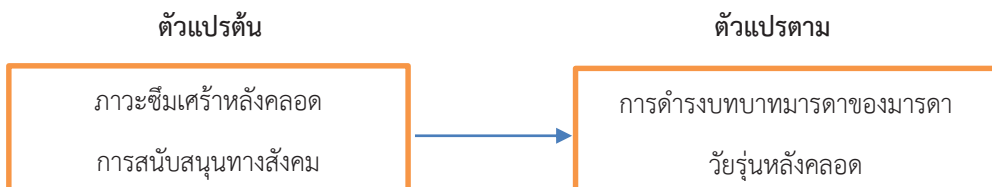
มารดาวัยรุ่นบางรายมีภาวะแทรกซ้อนทางด้านร่างกายจากการคลอดบุตร เช่น จากการคลอดนาน การตกเลือดหลังคลอดขนาดของทารกและช่องเชิงกรานที่ไม่สัมพันธ์กันกับช่องเชิงกราน เกิดภาวะ CPD (Cephalopelvic disproportion) จนทำให้เกิดการฝึกขาของช่องทางคลอดจนต้องใช้เวลาและความซับซ้อนในการเย็บซ่อมแซมฝีเย็บ หรือมีการฝึกขาบริเวณปากมดลูกหรือช่องทางคลอดเนื่องจากหนทางคลอดไม่ได้สัดส่วนกับร่างกายทารก (Pillitteri, 2022) ส่วนการเปลี่ยนแปลงด้านจิตใจ อารมณ์และพฤติกรรม พบว่าในระยะหลังคลอดมารดาวัยรุ่นมักมีความรู้สึกลัวการเป็นมารดานำมาซึ่งความยุ่งยากของชีวิต เนื่องจากต้องทำหน้าที่ 2 ด้านทั้งด้านส่วนตัว และบทบาทเพิ่มเติม คือ การเป็นภรรยาและมารดา ทำให้มารดาวัยรุ่นเกิดความสับสนในการทำหน้าที่ มีความกังวลในบทบาทและไม่มั่นใจว่าควรทำสิ่งใด อย่างไร ทั้งนี้อาจมาจากการที่ไม่มีความพร้อมในการเป็นมารดา ขาดความรู้ และประสบการณ์ ทำให้มีความไม่มั่นใจ กลัวหรือวิตกกังวลในการทำหน้าที่มารดา ระยะหลังคลอดเป็นระยะที่สำคัญของการเรียนรู้และพัฒนาบทบาทมารดา (Mercer, 1985) วัยรุ่นเป็นระยะที่ยังไม่พร้อมในการตั้งครรภ์ แต่ต้องมีบทบาทหน้าที่ทั้งการตั้งครรภ์ การเป็นมารดา อาจก่อให้เกิดความเครียดและภาวะซิฟิลิส และยังวัยรุ่นอยู่ระหว่างการศึกษ การตั้งครรภ์จึงไม่ใช่ว่าเป็นสิ่งประสงค์ของวัยรุ่น ทั้งก่อเกิดความอับอาย อาจถึงกับปรับตัวไม่ได้ หลบหลีกหนีจากสังคมและมีพฤติกรรมก้าวร้าวทำร้ายตัวเอง เนื่องจากวุฒิภาวะที่ไม่พร้อมที่จะมีบุตร บางรายอาจมีปัญหาครอบครัวตนเอง การยอมรับการตั้งครรภ์ ส่งผลต่อการเลี้ยงดูบุตร การทอดทิ้งบุตร การทำร้ายบุตร ในอนาคตจะกลายเป็นปัญหาของสังคม (ชนิษฐา และอารีรัตน์, 2561)



เมื่อคลอดบุตรแล้ว ในช่วงแรกมารดาวัยรุ่นจำเป็นต้องปรับตัวทำความคุ้นเคยกับหน้าที่ใหม่ ทั้งยังต้องปรับสภาพอารมณ์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับฮอร์โมนเอสโตรเจน และ โปรเจสเตอโรนอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมอารมณ์ของมารดาวัยรุ่น ก่อปรกับความเสี่ยงจากการปรับตัวเพื่อทำหน้าที่ใหม่ ในฐานะมารดา อาจทำให้มารดาวัยรุ่นเกิดภาวะเพิกเฉยต่อการปฏิสัมพันธ์กับผู้อื่น หรือการละเลยดูแลตนเองและบุตรได้ ส่งผลให้มีความผิดปกติด้านอารมณ์ (Lowdermilk, 2019) อาจมีการละเลย เพิกเฉยในการมีปฏิสัมพันธ์กับบุคคลรอบข้าง ละเลยการดูแลตนเองและการดูแลสุขภาพบุตร (Field, 2010) จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ครอบครัวมีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนทางสังคม ให้กำลังใจมารดาวัยรุ่น ในการดูแลตนเองและบุตร แนะนำการปฏิบัติและให้การช่วยเหลือในบทบาทมารดาในการดูแลและบุตร ทำให้มารดาวัยรุ่นสามารถยอมรับและปฏิบัติบทบาทมารดาได้ดีขึ้น (functional status after childbirth) (กุสุมา และมาตี, 2563) แต่มีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้องที่อาจส่งผลต่อบทบาทมารดาหลังคลอด ได้แก่ ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด ดังนั้นการเล็งเห็นความสำคัญถึงภาวะซึมเศร้า การสนับสนุนทางสังคม และการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ทำให้เข้าใจมารดาวัยรุ่นหลังคลอดและสามารถให้การช่วยเหลือแนะนำ เพื่อให้สามารถปฏิบัติหน้าที่หลังคลอดได้อย่างเหมาะสม

### กรอบแนวคิดการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ใช้กรอบแนวคิด การประเมินภาวะซึมเศร้าหลังคลอด (The Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS)) โดยใช้แนวคิดของค็อกซ์ และคนอื่นๆ (Cox, Holden, & Sagovsky, 1987) ซึ่งแปลเป็นไทยโดย โดย Piyanupong, Liabsuetrakul, Vittayanont. (2007) ประเมินระดับความรู้สึกของตนเองที่เกี่ยวข้องกับอาการและอาการแสดงภาวะซึมเศร้า ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ที่ผ่านมา การสนับสนุนทางสังคมของมารดาหลังคลอด โดยนลินี, กรรณิการ์ และบ้งอร (2563) พัฒนาสร้างขึ้นจากกรอบแนวคิด House (1981) ประกอบด้วย 4 ด้าน 1) ด้านการสนับสนุนด้านอารมณ์ 2) ด้านการสนับสนุนด้านข้อมูลข่าวสาร 3) ด้านการสนับสนุนด้านทรัพยากร 4) การสนับสนุนด้านการประเมินค่า และการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ผู้แปลโดย ศรีสมร, อรพรรณ และอุษา (2547) ของ Mercer (1985) ประกอบด้วย 3 ด้าน 1) ด้านความสามารถหรือความมั่นใจในการแสดงพฤติกรรมความเป็นมารดา 2) ด้านการมีสัมพันธ์ภาพที่ดีต่อบุตร 3) ด้านความพึงพอใจในบทบาทการเป็นมารดา



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงพรรณนา (Descriptive Research Study) ดำเนินการวิจัยระหว่างเดือน มกราคม-เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563

#### ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มประชากรที่ใช้ศึกษาคือ มารดาวัยรุ่นครรภ์แรกอายุน้อยกว่า 19 ปี เข้ารับการรักษา และคลอด ปกติในโรงพยาบาลตั้ง โดยกลุ่มตัวอย่างมีคุณสมบัติ ดังนี้ 1) มารดาหลังคลอดบุตรปกติทั้งมารดาและทารก โดย คลอดทางช่องคลอด นอนพักแผนกหลังคลอดในวันที่ 1-2 หลังคลอด 2) ไม่มีภาวะแทรกซ้อนในระยะคลอดและ ระยะหลังคลอด 3) มารดาเลี้ยงบุตรนมมารดา 4) มารดาสามารถพูดและเขียนภาษาไทยได้ 5) บุตรมีสุขภาพ แข็งแรง น้ำหนักแรกเกิดมากกว่าหรือเท่ากับ 2,500 กรัม และ6) ยินดีให้ความร่วมมือในการทำวิจัย

#### การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่าง โดยใช้ตารางการประเมินหาค่าตัวอย่างของเครจซี่และ มอร์แกน (Krejcie & Morgan, 1970) จากจำนวนประชากรมารดาวัยรุ่นหลังคลอดปกติ ปี พ.ศ. 2563 มีจำนวน 340 คน (โรงพยาบาลตั้ง, 2563) การระบุขนาดกลุ่มตัวอย่าง ได้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 181 ราย

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. แบบสอบถามข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับ อายุ สถานภาพ แหล่งรายได้ รายได้ต่อเดือน อาชีพ ศาสนา การอาศัยกับครอบครัว ระดับการศึกษา การวางแผนในการมีบุตร และบุคคลที่ช่วยดูแลระยะหลังคลอดบุตร จำนวน 10 ข้อ

2. แบบประเมินภาวะซึมเศร้าหลังคลอด (The Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS)) โดยใช้แนวคิดของค็อกซ์ และคนอื่นๆ (Cox, Holden, & Sagovsky, 1987) ซึ่งแปลเป็นไทยโดย โดย Piyanupong, Liabsuetrakul, Vittayanont (2007) ประเมินระดับความรู้สึกของตนเองที่เกี่ยวข้องกับอาการ และอาการแสดงภาวะซึมเศร้าหลังคลอด ในระยะเวลา 1 สัปดาห์ที่ผ่านมา โดยมีข้อคำถาม 10 ข้อ ลักษณะ คำตอบเป็นมาตราส่วนแบบลิเกิร์ต (Likert scale) แต่ละข้อมีคะแนน 0-3 คะแนน และคะแนนรวมตั้งแต่ 0-30 คะแนน เป็นคำถามด้านบวก 2 ข้อ คำถามด้านลบ 8 ข้อ การแปลผลกำหนดให้คะแนน 0-6 คะแนน หมายถึง ไม่มีภาวะซึมเศร้าหลังคลอด โดยหากคะแนนรวมมากกว่าหรือเท่ากับ 7 คะแนน หมายถึง มีอาการของภาวะ ซึมเศร้าหลังคลอด และคะแนนยิ่งสูงบ่งชี้ถึงมีอาการของภาวะซึมเศร้าหลังคลอดมาก

3. แบบประเมินการสนับสนุนทางสังคม โดยนลินี, กรรณิการ์ และบังอร (2563) พัฒนาสร้างขึ้นจาก กรอบแนวคิด House (1981) จำนวน 37 ข้อ ประกอบด้วย 4 ด้าน 1) ด้านการสนับสนุนด้านอารมณ์ 8 ข้อ 2) ด้านการสนับสนุนด้านข้อมูลข่าวสาร 10 ข้อ 3) ด้านการสนับสนุนด้านทรัพยากร 10 ข้อ 4) การสนับสนุนด้านการประเมินค่า 9 ข้อ การให้คะแนน 1-5 คะแนนรวมตั้งแต่ 37-185 คะแนน ถ้าผลรวมได้ค่าคะแนนมาก หมายถึง มารดาหลังคลอดได้รับการสนับสนุนจากสังคมในระดับมาก และถ้าผลรวมได้ค่าคะแนนน้อย หมายถึง มารดาหลังคลอดได้รับการสนับสนุนจากสังคมในระดับน้อย

4. แบบประเมินการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ใช้แนวคิดของ Mercer (1985) ซึ่งแปลเป็นไทยโดย ศรีสมร, อรพรรณ และอุษา (2547) จำนวน 30 ข้อ ประกอบด้วย 3 ด้าน 1) ด้านความสามารถหรือความมั่นใจในการแสดงพฤติกรรมการเป็นมารดา 13 ข้อ 2) ด้านการมีสัมพันธภาพที่ดีต่อบุตร 10 ข้อ 3) ด้านความพึงพอใจในบทบาทการเป็นมารดา 7 ข้อ

### การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. การตรวจสอบความตรงตามเนื้อหา (Content validity) โดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่านเป็นผู้ตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม ให้ผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญในการศึกษาพยาบาล อาจารย์ด้านการศึกษาพยาบาลด้านมารดาทารกและอาจารย์ทางด้านสุขภาพจิต จำนวน 3 ท่าน เพื่อตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม ค่าดัชนีความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือทั้งหมด (CVI) เท่ากับ 1

2. การตรวจสอบความเที่ยง(Reliability)นำแบบสอบถามที่ปรับปรุงแก้ไขแล้วไปทดลองใช้กับที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง ที่จะทำการวิจัย จำนวน 20 ราย นำมาวิเคราะห์หาความเที่ยงของเครื่องมือทั้งหมด โดยสูตรสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach alpha coefficient) ของแบบประเมินภาวะซึมเศร้าหลังคลอด แบบประเมินการสนับสนุนทางสังคม และแบบประเมินการดำรงบทบาทมารดาวัยรุ่นหลังคลอด เท่ากับ 0.89 (เนื่องจากแบบประเมินเป็นเครื่องมือมาตรฐานที่เคยใช้กับกลุ่มตัวอย่างที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงได้ไปทดลองกลุ่มตัวอย่าง ที่คล้ายคลึงกัน จำนวน 20 ราย ได้สัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค 0.87 0.91 และ 0.92 ตามลำดับ

### การพิทักษ์สิทธิกลุ่มตัวอย่าง

ผู้วิจัยนำเสนองานวิจัยผ่านการพิจารณาของคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมจากโรงพยาบาลตั้งผ่านเรียบร้อยแล้ว จึงได้เข้าพบกลุ่มตัวอย่างสร้างสัมพันธภาพเบื้องต้นและแนะนำตัว อธิบายวัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูลวิจัย การรวบรวมข้อมูลและระยะเวลาในการตอบแบบสอบถาม 20 นาที และหากกลุ่มตัวอย่างตอบรับหรือการปฏิเสธการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ไม่มีผลกระทบใดๆ ในการดูแลขณะอยู่โรงพยาบาล เมื่อกลุ่มตัวอย่างเข้าใจและตอบรับ เข้าร่วมวิจัย โดยมีเอกสารให้ลงนามยินยอม ข้อมูลทุกอย่างจะถือเป็นความลับ ผลการวิจัยนำเสนอในภาพรวม กลุ่มตัวอย่างสามารถแจ้งขอออก หรือปฏิเสธ จากการเข้าร่วมวิจัยได้ตลอดเวลา โดยไม่ต้องให้เหตุผลหรือคำ อธิบาย

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

คณะผู้วิจัยดำเนินการรวบรวมข้อมูลหลังจากโครงสร้างวิจัยผ่านการพิจารณาจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ โรงพยาบาลตั้ง เลขที่ 032/2562 วันที่ 15 ตุลาคม 2562 คณะผู้วิจัยเข้าพบกลุ่มตัวอย่าง เก็บข้อมูลด้วยตนเองโดยการแจกแบบสอบถามแก่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 181 คน

1) ชี้แจงวัตถุประสงค์การทำการวิจัยและขอความร่วมมือและขอความยินยอมในการเข้าร่วมวิจัยก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูล เมื่อได้รับอนุญาตจึงเริ่มทำการเก็บข้อมูล 2) คณะผู้วิจัยอธิบายวิธีการตอบแบบสอบถามในแต่ละส่วนอย่างละเอียดก่อนให้ลงมือทำและระหว่างการทำแบบสอบถามหากกลุ่มตัวอย่างเกิดข้อสงสัยใดๆ สามารถซักถามคณะผู้วิจัยได้ตลอด ใช้ในการตอบแบบสอบถามประมาณ 20 นาที หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยจะเก็บ

แบบสอบถามคืนเมื่อทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว 3) ตรวจสอบความสมบูรณ์ในการตอบแบบสอบถามและนำไปวิเคราะห์ข้อมูลตามวิธีการทางสถิติต่อไป

**การวิเคราะห์ข้อมูล**

วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยมีรายละเอียด ดังนี้ ข้อมูลทั่วไปใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ จำนวน ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรด้วยสถิติสหสัมพันธ์เพียร์สัน (Pearson Product Moment Correlation)

**ผลการวิจัย**

1. กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่อายุ 18 ปี จำนวน 79 ราย (ร้อยละ 43.64) ค่าเฉลี่ยอายุ 17.81 ปี สถานภาพของสามี-ภรรยาอยู่ด้วยกัน จำนวน 115 ราย (ร้อยละ 63.53) แหล่งรายได้ที่ได้รับ จากบิดามารดามากที่สุด จำนวน 89 ราย (ร้อยละ 49.17) รายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,001-10,000 บาท จำนวน 129 ราย (ร้อยละ 71.20) อาชีพเกษตรกร จำนวน 127 ราย (ร้อยละ 70.16) ศาสนาพุทธ จำนวน 101 ราย (ร้อยละ 55.80) อาศัยอยู่กับครอบครัว จำนวน 78 ราย (ร้อยละ 43.09) ระดับการศึกษา ระดับปวช./ปวส. จำนวน 71 ราย (ร้อยละ 39.22) มีการวางแผนในการมีบุตร จำนวน 121 ราย (ร้อยละ 66.85) บุคคลที่ดูแลหลังคลอดบุตร เป็นบิดามารดาตนเอง จำนวน 106 ราย (ร้อยละ 58.56)

2. ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่า ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 6.53 ซึ่งเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์แล้ว ไม่มีภาวะซึมเศร้า อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารายบุคคล พบว่า กลุ่มตัวอย่าง ร้อยละ 35.91 มีภาวะซึมเศร้า เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่ ฉันรอคอยสิ่งที่จะเกิดขึ้นข้างหน้าอย่างมีความสุข ในระดับมากที่สุด (Mean = 6.37, S.D = .83) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่รองลงมา คือ ฉันรู้สึกตื่นเต้นที่ต้องอาบน้ำทารก (Mean = 6.15, S.D = .89) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ได้แก่ ฉันมีความคิดที่จะฆ่าตัวตาย (Mean = 0.09, S.D = .31) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยรองลงมา คือ ฉันรู้สึกๆไม่มีความสุขจนต้องร้องไห้ (Mean = 0.13, S.D = .35)

**ตารางที่ 1** แสดง ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของภาวะซึมเศร้า มารดาวัยรุ่นหลังคลอด (n=181)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)
1. ฉันสามารถหัวเราะและมองสิ่งต่างๆ รอบตัวที่เกิดขึ้นได้อย่างสนุกสนาน	3.01	1.14
2. ฉันรอคอยสิ่งที่จะเกิดขึ้นข้างหน้าอย่างมีความสุข	6.37	.83
3. ข้าพเจ้ารู้สึกตื่นเต้นที่ต้องอาบน้ำทารก	6.15	.89
4. ฉันตำหนิตนเองโดยไม่จำเป็นเมื่อมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้น	6.20	.83
5. ฉันรู้สึกกระวนกระวายหรือกังวลอย่างไม่มีเหตุผลที่ดีเพียงพอ	6.33	.94

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D)
6. ฉันรู้สึกกลัวหรือตื่นตระหนกโดยไม่มีเหตุผลเพียงพอ	4.60	.52
7. ฉันรู้สึกโกรธโศกเศร้าหรือทุกข์ระทม	3.39	.94
8. ฉันรู้สึกไม่มีความสุขจนทำให้อนอนหลับยาก	4.19	1.36
9. ฉันรู้สึกๆไม่มีความสุขจนต้องร้องไห้	0.13	.35
10. ฉันมีความคิดที่จะฆ่าตัวตาย	0.09	.31

3. การสนับสนุนทางสังคม ในภาพรวม พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.77, SD = .23) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่ บุคคลใกล้ชิดในครอบครัวช่วยแบ่งเบาภาระงานบ้านของท่าน (Mean = 4.12, SD = .61) รองลงมาเมื่อท่านดูแลตนเองและบุตรไม่ถูกต้อง บุคคลใกล้ชิดให้คำแนะนำแก่ท่านเป็นอย่างดีโดยไม่ตำหนิ (Mean = 4.01, SD = .60) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ได้แก่ ขณะพักหลังคลอดอยู่ที่บ้าน ท่านได้รับการจัดหาข้อมูล เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพตนเอง และการเลี้ยงดูบุตร เพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ (Mean = 3.31, SD = 1.24) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยรองลงมา คือ ท่านได้รับความเห็นอกเห็นใจ ได้ถามทุกข์สุขเสมอ (Mean = 3.55, SD = .16)

ตารางที่ 2 แสดง ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสนับสนุนทางสังคม มารดาวัยรุ่นหลังคลอด (n=181)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
1.ท่านได้รับความรักความห่วงใยจากบุคคลใกล้ชิดเสมอ	3.82	1.24
2.เมื่อท่านมีปัญหา ท่านสามารถปรึกษาหรือระบายความคับข้องใจกับบุคคลใกล้ชิดได้	3.99	1.22
3.บุคคลใกล้ชิดให้กำลังใจท่านเกี่ยวกับการดูแลตัวเองและบุตรในระยะ คลอด	3.85	1.12
4.ท่านได้รับการช่วยเหลือและปลอบโยน เมื่อท่านอ่อนเพลียจากการเลี้ยงดู บุตร	3.88	.602
5.บุคคลใกล้ชิดแสดงความพึงพอใจ กับสิ่งที่ท่านปฏิบัติต่อบุตร และ ตอบสนองความต้องการของบุตร	3.82	1.26

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
6.บุคคลใกล้ชิดแสดงให้รู้ว่าสนใจ ห่วงใย และพร้อมที่จะช่วยเหลือท่านเสมอ เมื่อท่านต้องการความช่วยเหลือ	3.99	1.29
7.ท่านได้รับความเห็นอกเห็นใจ ใต้ถามทุกข์สุขเสมอ	3.55	.16
8.ท่านรู้สึกว่าคุณมีความสำคัญ สำหรับบุคคลใกล้ชิด	3.91	.62
9.ท่านได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับการดูแลสุขภาพของตนเองในระยะหลังคลอด	3.93	1.30
10.ท่านได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับการเลี้ยงดูบุตรในระยะหลังคลอด	3.88	1.27
11.ท่านได้รับคำแนะนำเกี่ยวกับแหล่งข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ในเรื่องการดูแลสุขภาพของตนเองและบุตรในระยะหลังคลอด	3.59	.72
12.ท่านได้รับการเตือนและให้ข้อมูลเพิ่มเติม เมื่อปฏิบัติการดูแลสุขภาพของตนเองและบุตรในระยะหลังคลอดกับมารดาคนอื่น	3.79	1.14
13.ท่านได้รับการเตือนและให้ข้อมูลเพิ่มเติมเมื่อปฏิบัติการดูแลสุขภาพของตนเอง ในระยะหลังคลอดไม่ถูกต้องเมื่อกลับไปอยู่บ้าน	4.00	.60
14.ท่านได้รับการเตือนและให้ข้อมูลเพิ่มเติมเมื่อปฏิบัติการเลี้ยงดูบุตรไม่ถูกต้องเมื่อกลับไปอยู่บ้าน	4.02	.89
15.ขณะพักหลังคลอดอยู่ที่บ้าน ท่านได้รับการจัดหาข้อมูล เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพตนเอง และการเลี้ยงดูบุตร เพิ่มเติมจากแหล่งต่างๆ	3.31	1.24
16.ท่านได้รับการเตือนให้ตระหนักถึงประโยชน์ของการตรวจสุขภาพ ของตนเองเมื่อครบ 6 สัปดาห์หลังคลอด	3.28	1.20
17.ท่านได้รับการเตือนให้ตระหนัก ถึงประโยชน์ของการนำบุตรมารับการตรวจสุขภาพและรับภูมิคุ้มกันตามนัด	3.46	1.15
18.เมื่อท่านดูแลตนเองและบุตรไม่ถูกต้อง บุคคลใกล้ชิดให้คำแนะนำแก่ท่าน เป็นอย่างดีโดยไม่ตำหนิ	4.01	.60
19.ท่านได้รับเงินช่วยเหลือเป็นค่าใช้จ่ายภายในบ้าน เมื่อมีปัญหาเกี่ยวกับการเงินภายหลังคลอด	3.33	1.28
20.บุคคลใกล้ชิดพาท่านและบุตรไปพบแพทย์ เมื่อท่านและบุตรมีปัญหาด้านร่างกายและจิตใจ	3.84	1.29

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
21.บุคคลใกล้ชิดช่วยเหลือท่านในการดูแลสุขภาพในระยะหลังคลอดและการเลี้ยงดูบุตร	3.46	1.12
22.บุคคลใกล้ชิดในครอบครัวช่วยแบ่งเบาภาระงานบ้านของท่าน	4.12	.61
23.บุคคลใกล้ชิดแสดงให้เห็นว่า เขาสนใจและพร้อมจะช่วยเหลือท่านเสมอ เมื่อท่านต้องการความช่วยเหลือ	3.31	1.14
24.บุคคลใกล้ชิดจัดหาวัสดุ สิ่งของ เครื่องใช้ที่จำเป็นในการปฏิบัติกิจกรรมต่างๆภายหลังคลอดแก่ท่านอย่างเพียงพอ	3.84	1.31
25.บุคคลใกล้ชิดจัดหาสิ่งของเครื่องใช้ในการเลี้ยงดูบุตรแก่ท่านอย่างเพียงพอ	3.75	1.4
26.บุคคลใกล้ชิดพาท่านไปตรวจหลังคลอดตามกำหนดนัด	3.65	.6785
27.บุคคลใกล้ชิดเตรียมห้องสำหรับพักหลังคลอดสำหรับท่านและบุตร	3.22	1.25
28.บุคคลใกล้ชิดจัดหาอาหารที่เป็นประโยชน์สำหรับท่านและบุตรมาให้รับประทาน	3.29	1.20
29.บุคคลใกล้ชิดในครอบครัวชมเชยท่าน ในเรื่องการดูแลสุขภาพในระยะหลังคลอด และการเลี้ยงดูบุตร	3.54	1.10
30.เมื่อท่านรู้สึกหงุดหงิดกับการเลี้ยงบุตร บุคคลใกล้ชิดเตือนสติท่าน	3.28	1.26
31.บุคคลใกล้ชิดแนะนำให้ท่านปรับเปลี่ยนการปฏิบัติตัว เมื่อท่านดูแลสุขภาพของตนเองและบุตรไม่ถูกต้อง	3.36	1.16
32.บุคคลใกล้ชิดชื่นชมและแสดงความพึงพอใจในการทำหน้าที่มารดาของท่าน	4.00	.707
33.ท่านได้รับความไว้วางใจจากบุคคลใกล้ชิดในการดูแลบุตร	3.71	.146
34.บุคคลใกล้ชิดแสดงการยอมรับว่าท่านเป็นมารดาที่มีความรับผิดชอบ และมีความสามารถในการเลี้ยงบุตร	3.94	1.06
35.บุคคลใกล้ชิดให้ความมั่นใจว่าท่านดูแลตนเองและบุตรได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับมารดาคนอื่นๆ	3.45	.45

ตารางที่ 2 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
36.เมื่อท่านแสดงความวิตกกังวลในการเลี้ยงดูบุตร บุคคลใกล้ชิดปิดล้อมท่าน ว่ามารดาคนอื่นๆ มีเรื่องกังวลเช่นเดียวกับท่าน	3.29	.38
37.บุคคลใกล้ชิดบอกข้อบกพร่องในการดูแลตนเองและการเลี้ยงบุตรแก่ท่านอย่างสม่ำเสมอ	3.44	1.1

4. การดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ในภาพรวม พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.72, SD = .42) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่ ฉันสามารถเลี้ยงลูกได้ด้วยตนเอง (Mean = 4.31, SD = .61) รองลงมาฉันสามารถทำความสะอาดผิวหนังหลังถ่ายอุจจาระหรือปัสสาวะลูกได้อย่างถูกต้อง (Mean = 4.25, SD = .36) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ได้แก่ ฉันคิดว่าฉันรู้ใจลูกว่ารู้สึกอย่างไร หรือต้องการอะไร (Mean = 3.59, SD = .89) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยรองลงมา คือ ฉันรู้ว่าลักษณะเสียงร้องของลูกมีความหมายว่าอย่างไร (Mean = 3.60, SD = .82)

ตารางที่ 3 แสดง ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสนับสนุนทางสังคม มารดาวัยรุ่นหลังคลอด (n=181)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)
1. ฉันรู้สึกว่าเป็นเรื่องยุ่งยากใจในการดูแลเมื่อลูกสำรอก หรืออาเจียน	3.62	1.24
2. ฉันสามารถจัดอาหารให้ลูกได้เหมาะสมตามวัย	3.89	1.26
3. ฉันรู้สึกว่าภาระจะทำให้ลูกหลับได้เป็นเรื่องยากสำหรับฉัน	3.75	1.14
4. ฉันสามารถจัดการให้ลูกนอนหลับได้ตามเวลาที่เหมาะสม	3.65	.60
5. ฉันรู้สึกเบื่อที่จะต้องทำความสะอาดเวลาลูกถ่ายอุจจาระ หรือปัสสาวะบ่อยๆ	3.61	1.26
6. ฉันสามารถแต่งตัวลูกให้เหมาะสมกับสภาพอากาศได้	3.65	1.29
7. ฉันสามารถทำความสะอาดผิวหนังหลังถ่ายอุจจาระหรือปัสสาวะลูกได้อย่างถูกต้อง	4.25	.36
8. ฉันสามารถสังเกตอาการเมื่อลูกไม่สบายได้	3.71	.62



ตารางที่ 3 (ต่อ)

รายการ	ค่าเฉลี่ย (MEAN)	ส่วน เบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD)
9. ฉันสามารถบอกได้ว่าสิ่งใดเป็นอันตรายสำหรับลูก	3.63	1.29
10. ฉันรู้ว่าเมื่อไรลูกต้องการการการพักผ่อน	3.88	1.26
11. ฉันจะตอบสนองความต้องการของลูก	3.79	1.14
12. ฉันสามารถปลอบโยนลูกให้สงบได้เมื่อลูกร้องไห้แง	4.12	.60
13. ฉันสามารถเลี้ยงลูกได้ด้วยตนเอง	4.31	.61
14. ฉันรู้สึกพอใจกับการที่ได้เอาใจใส่เลี้ยงลูกบุตร	4.19	.51
15. ลูกเป็นรางวัลชีวิตอย่างหนึ่งที่ฉันมี	4.21	.43
16. ฉันรู้สึกมีความสุขที่ได้เห็นลูกมีพัฒนาการตามวัย	4.23	.61
17. ฉันรู้สึกภูมิใจมากเมื่อมีคนมาชื่นชมลูกของฉัน	4.12	.25
18. การอุ้มและใกล้ชิดกับลูกเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับฉัน	4.24	.26
19. ฉันรู้ว่าลักษณะเสียงร้องของลูกมีความหมายว่าอย่างไร	3.60	.89
20. ฉันเข้าใจสัญญาณที่ลูกสื่อกับฉัน	3.71	.62
21. ฉันรู้สึกหงุดหงิดเมื่อลูกร้อง	3.83	.59
22. ฉันรู้ว่าเมื่อไรลูกต้องการนอนหลับพักผ่อน	3.98	.86
23. ฉันคิดว่าฉันรู้ใจลูกกว่ารู้สึกอย่างไร หรือต้องการอะไร	3.59	.89
24. ฉันจะมีความสุขถ้าได้เลี้ยงดูลูกเอง	4.22	.61
25. ฉันรู้สึกมีความสุขที่ได้เลี้ยงลูกด้วยนมตนเอง	3.75	.26
26. ฉันรู้สึกพอใจมากกับการได้ดูแลลูกด้วยตนเอง	3.64	.20
27. ฉันรู้สึกมีความสุขที่ได้ช่วยให้ลูกมีพัฒนาการตามวัย	3.72	.14
28. ฉันต้องดูแลลูกก่อนทำสิ่งอื่นใด	4.21	.60
29. ฉันทำได้ทุกอย่างเพื่อลูก	3.66	.848
30. สิ่งแรกที่ฉันทำเมื่อกลับไปถึงบ้านคือการตรงไปหาลูก	4.09	.807

5. ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะซึมเศร้า การสนับสนุนของครอบครัว และการดำรงบทบาทมารดาวัยรุ่น จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันพบว่าภาวะซึมเศร้า มีความสัมพันธ์

ทางลบกับความสำเร็จในการดำรงบทบาทมารดา ( $r = -.145, p < 0.05$ ) การสนับสนุนของครอบครัว มีความสัมพันธ์ทางบวกกับความสำเร็จในการดำรงบทบาทมารดา ( $r=.442, p<.001$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคมและการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด (n=181)

ตัวแปร	1	2	3
1. ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด	1.000		
2. การสนับสนุนทางสังคม	-.155*	1.000	
3. การดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด	-.145**	.422**	1.000

\*=  $p < 0.05$  \*\*=  $p < 0.01$

### อภิปรายผล

วัตถุประสงค์ ข้อ 1 เพื่อศึกษาภาวะซึมเศร้าหลังคลอด

กลุ่มตัวอย่าง มารดาวัยรุ่นครั้งแรกมีภาวะซึมเศร้า จำนวน 65 ราย คิดเป็นร้อยละ 35.91 (Mean= 6.53, S.D.=1.40) ตัวอย่างที่ศึกษา มีอายุเฉลี่ย 17.68 ปี เป็นช่วงวัยรุ่นที่ยังมีการพัฒนาทางด้านร่างกาย จิตใจ และกำลังก้าวสู่ผู้ใหญ่ ส่งผลกระทบต่อภาวะจิตใจและอารมณ์หลังคลอด กลุ่มตัวอย่างมีการวางแผนการมีบุตร จำนวน 121 ราย ร้อยละ 66.85 การวางแผนเป็นสิ่งที่คิดไว้ก่อน ดังนั้นเมื่อตั้งครรภ์ ก็จะไม่เกิดความรู้สึกคับข้องใจต่อการตั้งครรภ์มากนัก ถึงแม้มารดาวัยรุ่นจะเกิดภาวะเครียดจากการตั้งครรภ์ที่เกิดขึ้น ยังต้องเผชิญกับความขัดแย้งหรือสับสนกับการเปลี่ยนแปลงบทบาทจากการเป็นภรรยา อย่างเดียวมาสู่บทบาท มารดาร่วมด้วย อาจทำให้เกิดความกังวล ความเครียด และความซึมเศร้าได้ (คชารัตน์, 2559) การที่มารดามีการวางแผนการตั้งครรภ์ แสดงว่ามีการยอมรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น อีกทั้งอาจทำให้มารดามีการศึกษาหาความรู้ หรือข้อมูลต่างๆ เพื่อเตรียมความพร้อม สภาพจิตใจมั่นคง ไม่หวาดกลัวจนเกินไปสอดคล้องกับการศึกษา ปัจจัยของมารดาวัยรุ่นหลังคลอดที่มีความสัมพันธ์กับภาวะซึมเศร้าในมารดาวัยรุ่นหลังคลอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือจำนวนครั้งของการตั้งครรภ์และความพร้อมของการตั้งครรภ์โดยพบว่ามารดาวัยรุ่นที่คลอดบุตรครั้งแรก ขาดความรู้และประสบการณ์ในการเลี้ยงดูบุตรและประสบการณ์ใหม่ ไม่มีความพร้อมในการเป็นมารดา จึงต้องปรับตัวต่อบทบาทที่เปลี่ยนแปลงไปและไม่คุ้นเคยการเป็นมารดา การไม่มีประสบการณ์ในการเลี้ยงดูบุตร ไม่รู้ว่าควรจะทำสิ่งใดก่อนหรือหลัง ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของบุตรได้ แปลความหมายของพฤติกรรมบุตรไม่ถูกต้อง เพราะเกิดความไม่แน่ใจว่าสิ่งที่จะทำให้บุตรนั้นถูกต้องหรือไม่ ทำให้มารดาวัยรุ่นเกิดความเครียดที่ไม่สามารถปรับตัวกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นได้ เป็นปัจจัยกระตุ้นให้มารดาวัยรุ่นเกิดความเครียดได้ง่าย ซึ่งความเครียดที่เกิดถ่าต่อเนื่องเป็นระยะเวลาอนานจะเกิดเป็น ความเครียดสะสมและก่อให้เกิดภาวะซึมเศร้าได้ การตั้งครรภ์แรกและหลังคลอดต้องทำหน้าที่มารดา จึงรู้สึกมีความไม่มั่นใจในการแสดงบทบาทหน้าที่มารดา ไม่มีความมั่นใจในการดูแลบุตร ส่งผลให้การรับรู้ในการเป็นมารดาน้อยก่อให้เกิดภาวะซึมเศร้าหลังคลอดได้

วัตถุประสงค์ ข้อ 2 เพื่อศึกษาการสนับสนุนทางสังคม

การสนับสนุนทางสังคมมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ในภาพรวม พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.77, SD = .23) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่บุคคลใกล้ชิดในครอบครัวช่วยแบ่งเบาภาระงานบ้านของท่าน (Mean = 4.12, SD = .61) กลุ่มตัวอย่างมีสถานภาพของสามี-ภรรยา อยู่ด้วยกัน จำนวน 115 ราย ร้อยละ 63.53 กลุ่มตัวอย่างยังคงได้รับการดูแลสนับสนุนด้านต่างๆ จากครอบครัว เช่น จากบิดามารดาในแหล่งรายได้ที่ได้รับ จากบิดา มารดามากที่สุด จำนวน 89 ราย ร้อยละ 49.17 อาศัยอยู่กับครอบครัว จำนวน 78 ราย ร้อยละ 43.09 มีการวางแผนการมีบุตร จำนวน 121 ราย ร้อยละ 66.85 บุคคลที่ดูแล/อาศัยหลังคลอด บิดามารดาตนเอง จำนวน 106 ราย ร้อยละ 58.56 มารดาที่อยู่ในครอบครัวขยายจะได้รับการดูแลสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในระยะหลังคลอดจากสามีและญาติ ไม่ว่าจะเป็นการช่วยเหลือในการเลี้ยงดูบุตร การช่วยเหลือทางการเงินหรือแม้แต่การให้กำลังใจ ซึ่งทำให้มารดาหลังคลอด มีความรู้สึกพึงพอใจ (วรารณ, 2560) จึงทำให้คะแนนการสนับสนุนทางสังคมของกลุ่มตัวอย่างอยู่ในระดับมาก การปฏิบัติหน้าที่ของครอบครัวของทั้งบิดามารดาในระยะหลังคลอด การยอมรับของครอบครัว การวางแผนการมีบุตร ทำให้มารดาวัยรุ่น มีการสนับสนุนทางสังคมระดับดี อธิบายได้ว่าสามีเป็นผู้ที่ใกล้ชิดกับมารดาวัยรุ่นและได้ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เช่น การให้คำปรึกษา การหารือในการคิดตัดสินใจร่วมกัน แก้ไขปัญหาต่างๆ ทำให้สัมพันธภาพภายในครอบครัวใกล้ชิดกันดี มีความเอื้ออาทร ห่วงใย มีความเอาใจใส่และให้ความช่วยเหลือกันในการช่วยทำงานแทนในภาระบทบาท ภายในครอบครัว และร่วมมือกันช่วยรับผิดชอบในการเลี้ยงดูทารก เช่น การอาบน้ำ การให้นม การเปลี่ยนเสื้อผ้า หรือแม้กระทั่งการเตรียมอาหารประจำวันของมารดา สัมพันธภาพระหว่างกันกับสามี มารดาวัยรุ่นหลังคลอดรับรู้ถึงความช่วยเหลือการดูแลเอาใจใส่ในหลังคลอด ส่งผลให้มารดาวัยรุ่นหลังคลอดสามารถปรับตัวได้อย่างเหมาะสม และสามารถดำรงบทบาทการเป็นมารดาได้ ช่วยส่งเสริมความมั่นใจในความสามารถของการเป็นมารดาวัยรุ่น ถ้าครอบครัวได้ให้ความร่วมมือในการเลี้ยงดูบุตรจะทำให้มารดาวัยรุ่นรู้สึกว่าคุณค่าในตนเองและมีความสามารถในการดูแลบุตรได้ นอกจากนี้ ภรรยาจะรู้สึกถึงสัมพันธภาพระหว่างตนเองและสามีอยู่ในระดับดีด้วย ถ้าสามีไม่รังเกียจงานใดๆ ให้การช่วยเหลือโดยเฉพาะงานภายในบ้านและเลี้ยงดูทารกทุกอย่าง ทำให้การสนับสนุนทางสังคมระดับดี (กุสมล และคนอื่นๆ, 2564)

วัตถุประสงค์ ข้อ 3 เพื่อศึกษาการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด

การดำรงบทบาทมารดาวัยรุ่นหลังคลอด ในภาพรวม พบว่า คะแนนค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับมาก (Mean = 3.72, SD = .42) เมื่อพิจารณารายข้อ พบว่า ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่ ฉันสามารถเลี้ยงลูกได้ด้วยตนเอง (Mean = 4.31, SD = .61) รองลงมาฉันสามารถทำความสะอาดผิวหนังหลังถ่ายอุจจาระหรือปัสสาวะลูกได้อย่างถูกต้อง (Mean = 4.25, SD = .36) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ได้แก่ ฉันคิดว่าฉันรู้ใจลูกกว่ารู้สึกอย่างไร หรือต้องการอะไร (Mean = 3.59, SD = .89) ข้อที่ค่าเฉลี่ยที่น้อยรองลงมา คือ ฉันรู้ว่าลักษณะเสียงร้องของลูกมีความหมายว่าอย่างไร (Mean = 3.60, SD = .82) กลุ่มตัวอย่างเป็นมารดาที่อายุน้อย จึงไม่มีประสบการณ์ในการเลี้ยงดูบุตร และได้รับการสนับสนุนจากครอบครัวทั้งสามี และครอบครัวของตนเองหรือสามี ซึ่งพบว่า ยังคง

อาศัยอยู่ด้วยกันหลังคลอด การให้มารดาได้เรียนรู้และฝึกทักษะการดูแลบุตรทำให้มารดาเกิดความมั่นใจ แต่ขณะเดียวกันครอบครัวและบุคคลอื่นในครอบครัวต้องให้กำลังใจ พร้อมการให้คำแนะนำมารดาในการดูแลบุตรได้ด้วยตนเอง การที่มารดาได้ดูแลบุตร สิ่งที่สำคัญคือการเรียนรู้พฤติกรรมของบุตร การคาดเดาความหมายทางพฤติกรรมของบุตร ซึ่งในขณะที่ตั้งครรภ์มารดามีการรับรู้เพียงการสัมผัส แต่หลังคลอดมารดาต้องมีการฝึกทักษะเหล่านี้ ดังนั้น ผู้ดูแลต้องให้ความรู้เชิงทักษะในการดูแลบุตร ทักษะการอุ้ม การห่อตัว การสังเกตการณ์ร้อง การเปลี่ยนเสื้อผ้า การทำความสะอาดร่างกาย เช็ดอูจจาระ และปัสสาวะ เพื่อให้เกิดความชำนาญและมั่นใจในการแสดงบทบาทของมารดา

วัตถุประสงค์ ข้อ 4 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคม และการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาวะซึมเศร้าหลังคลอด และดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด โดยรวมมีความสัมพันธ์ทางลบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $r = -.145, p < .01$ ) มารดาวัยรุ่นมีความอ่อนไหวทางด้านอารมณ์และไวต่อความรู้สึกกับการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านร่างกาย จิตใจ การเปลี่ยนแปลงจากบทบาทวัยรุ่นสู่การเป็นมารดา หน้าที่และความรับผิดชอบที่เพิ่มมากขึ้นจากการมีบุตร บทบาทการเป็นมารดา การรับรู้ความสามารถของการเป็นมารดาน้อยจากความไม่พร้อม อาจทำให้ความวิตกกังวลในการเลี้ยงบุตรและพฤติกรรมที่บุตรแสดงออก เนื่องจากเป็นบุตรคนแรก และเมื่อคลอดแล้วมารดาอ่อนเพลีย พักผ่อนไม่เพียงพอ และต้องให้นมบุตรทุก 3 ชั่วโมง นอกจากนี้มารดาวัยรุ่นยังขาดความรู้ทักษะและประสบการณ์ในการปรับบทบาทการเป็นมารดา อาจเกิดความไม่มั่นใจในการแสดงพฤติกรรมการเป็นมารดาและถ้าถูกตำหนิ จากบุคคลรอบข้างก็อาจทำให้มารดาารู้สึกผิดหวังในตนเองโทษตนเอง ทำให้มารดาการภาวะซึมเศร้าได้ (Kendall-Tackett, 2017) ประกอบกับมาอยู่ในโรงพยาบาลที่สิ่งแวดล้อมไม่คุ้นเคย และไม่ใช่อิสระเหมือนบ้านของตน ส่งผลให้กลุ่มตัวอย่างมีความไม่มั่นใจในการทำหน้าที่ของมารดา เมื่อเกิดภาวะซึมเศร้าหลังคลอดจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการทำหน้าที่มารดา ภาวะซึมเศร้าหลังคลอดส่งผลกระทบต่อความสามารถในการปฏิบัติหน้าที่ของมารดาวัยรุ่น (วรัญญา, พรรณพิไล และฉวี, 2560) มารดาวัยรุ่นหลังคลอดและอยู่ร่วมกับทารกจะส่งผลในการดูแลทารกขณะที่อยู่ในโรงพยาบาลได้ดี การที่มารดามีโอกาสได้สัมผัสทารก ทำให้มารดามีความคุ้นเคยกับทารกและรู้สึกมีความมั่นใจในการดูแลทารกแรกเกิด กลุ่มตัวอย่างเป็นมารดาครั้งแรก และมีการยอมรับการตั้งครรภ์ มีการให้การช่วยเหลือจากญาติ ด้วยการเป็นมารดาครั้งแรก จึงได้รับการดูแลเอาใจใส่มากกว่าปกติ และมารดาส่วนใหญ่มีความตั้งใจในการตั้งครรภ์ ถึงแม้ว่าจะเกิดความเครียด วิตกกังวลใดๆ ก็จะได้รับดูแลอย่างใกล้ชิดจากญาติและบุคลากรทางการแพทย์

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสนับสนุนทางสังคมและการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด โดยรวมมีความสัมพันธ์ทางบวก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $r = .422, p < .01$ ) กลุ่มตัวอย่างมีการสนับสนุนของสามีอยู่ในระดับสูง สามีซึ่งเป็นบุคคลใกล้ชิดและได้ให้ความช่วยเหลือแก่มารดาวัยรุ่นหลังคลอดได้อย่างดีเมื่อมีปัญหาต่างๆ ทำให้ภายในครอบครัวมีสัมพันธภาพที่ดีต่อกัน การสนับสนุนจากคู่สมรสมีส่วนทำให้มารดาวัยรุ่นหลังคลอดมีการปรับตัวในด้านของบทบาทหน้าที่การเป็นมารดาได้ดี (กุสุมา และมาตี, 2563) การสนับสนุนทาง

สังคมที่มีประสิทธิภาพที่ดีต้องมาจากบุคคลที่เผชิญกับเหตุการณ์ร่วมด้วยที่ก่อให้เกิดความเครียดเหมือนกัน ดังนั้นการสนับสนุนจากสามีที่มีส่วนร่วมกับภรรยาในการเลี้ยงดูบุตรทำให้ภรรยาสามารถเผชิญการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้ พบว่า การสนับสนุนจากสามี ช่วยให้การดำรงบทบาทมารดาได้ดี (วารสาร, 2560) มารดาวัยรุ่นหลังคลอดที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมทารก สามารถเพิ่มคุณภาพของการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างมารดากับทารก สามารถตอบสนองตามความต้องการของทารกและสามารถปฏิบัติหน้าที่ในการดูแลทารกได้ซึ่งมารดาที่มีประสบการณ์ในการเลี้ยงดูเด็ก จะปรับตัวต่อบทบาทมารดาได้ง่าย กว่ามารดาที่ไม่เคยมีประสบการณ์ การเลี้ยงเด็กเลย (วิโรจน์, วารุณี และอัจฉราวดี, 2561) กลุ่มตัวอย่างทุกคนได้รับการช่วยเหลือในการเลี้ยงดูบุตรจากสามีและเครือญาติ มารดาหลังคลอดที่ได้รับแรงสนับสนุนทางสังคมจากเครือญาติและผู้ใกล้ชิดโดยเฉพาะจากคู่สมรส จะส่งผลให้มารดาหลังคลอดมีความเข้มแข็งและสามารถปรับเปลี่ยนบทบาทการเป็นมารดาได้ดีจึงช่วยให้มารดาหลังคลอดมีสุขภาพทั้งด้านร่างกายและด้านจิตใจดีขึ้น

#### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่องภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การรับรู้การสนับสนุนทางสังคม และความสำเร็จในการดำรงบทบาทมารดาของมารดาวัยรุ่นหลังคลอด สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูง จากคณะผู้บริหารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ตรัง ในการให้โอกาสในการวิจัย ขอขอบคุณ อ.ดร.ฐิติวันต์ หงษ์กิตติยานนท์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จันทบุรี อ.ปฐมพร โพธิ์ถาวร วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี สงขลา และอ.ไพจิตร พุทธรอด วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี ตรัง ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้ความอนุเคราะห์ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือวิจัย และขอขอบคุณมารดาวัยรุ่นที่คลอดในโรงพยาบาลตรังที่เป็นกลุ่มเป้าหมายทุกคนให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลต่างๆ ทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

**เอกสารอ้างอิง**

- กุสุมา หมวกมณี และมาตี ลิมสกุล. (2563, กรกฎาคม-ธันวาคม). ลิมสกุลการปรับตัวของแม่วัยรุ่นต่อบทบาทความเป็นแม่: ศึกษาเฉพาะกรณีคลินิกโรคซึมเศร้า ณ โรงพยาบาลสุราษฎร์ธานี **วารสารสังคมสงเคราะห์ศาสตร์, 28(2)**, 60-85.
- กุสุมล แสนบุญมา, ธิญญมล สุริยานิมิตรสุข, กิตติพร ประชาศรีสรเดช และนวพร มามาก. (2564, เมษายน-สิงหาคม). ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะซึมเศร้าหลังคลอดในมารดาครรภ์แรก. **วารสารพยาบาลกระทรวงสาธารณสุข. 31(2)**, 128-139.
- ชนิษฐา เมฆกมล และอารีรัตน์ วิเชียรประภา. (2561, กรกฎาคม-ธันวาคม). บทบาทพยาบาลในการดูแลมารดาวัยรุ่น. **วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ, 12(2)**, 69-77.
- คชารัตน์ ปรีชล. (2559, กรกฎาคม-ธันวาคม). ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด: การป้องกันและการดูแล. **วารสารพยาบาลสหภาพชาติไทย, 9(2)**, 24-35.
- นลินี สิทธิบุญมา, กรรณิการ์ กันธะรักษา และบังอร ศุภวิทิตพัฒนา. (2563, เมษายน-มิถุนายน). ความเครียดการสนับสนุนทางสังคมและภาวะซึมเศร้าหลังคลอดของมารดาครรภ์แรก. **พยาบาลสาร, 47(2)**, 169-179.
- นภัสนันท์ สุขเกษม. (2559). ปัจจัยทำนายภาวะซึมเศร้าหลังคลอด. **วารสารการพยาบาลและการดูแลสุขภาพ, 34(1)**, 61-69.
- พิชาภรณ์ จันทนกุล, สมฤดี ชื่นกิตติยานนท์, สุกฤตา ตะการีย์ และศิริพร สามสี. (2564) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการตั้งครรภ์ไม่พึงประสงค์ของสตรีวัยรุ่นที่ฝากครรภ์ ในโรงพยาบาลกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร **วารสารพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 22(43)**, 62-76.
- วรัญญา มุลธิโต, พรณพิไล ศรีอาภรณ์ และฉวี เบาทรวง. (2560, เมษายน-มิถุนายน). ภาวะซึมเศร้าหลังคลอด การสนับสนุนทางสังคม และความสามารถในการปฏิบัติหน้าที่ของมารดาวัยรุ่น. **พยาบาลสาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 44(2)**, 23-33.
- วารภรณ์ ปฏิสังข์. (2560). ผลของโปรแกรมการให้ความรู้และการสนับสนุนของครอบครัว ต่ออารมณ์เศร้าในมารดาหลังคลอด. วิทยานิพนธ์พยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการผดุงครรภ์ชั้นสูง คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วัลยา เชาวน์นิชัยเวช. (2558). ความชุกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะซึมเศร้าหลังคลอดในโรงพยาบาลกลาง. **วารสารโรงพยาบาลเจริญกรุงประชารักษ์, 8(1)**, 12-21.
- วิโรจน์ ฉิ่งเล็ก, วารุณี เกตุอินทร์ และอัจฉราวดี ศรียะศักดิ์. (2561, มกราคม-เมษายน). ประสบการณ์การเลี้ยงลูกด้วยนมแม่ในมารดาวัยรุ่นครรภ์แรก. **วารสารนราธิวาสราชนครินทร์, 10(1)**, 122-132.
- โรงพยาบาลตรัง (2563). รายงานสรุปสถิติโรงพยาบาลตรัง ปี 2563. ตรัง : โรงพยาบาลตรัง.

ศรีสมร ภูมณสกุล, อรพรรณ สมบูรณ์ทรัพย์ และอุษา ศิริวัฒน์โชค. (2547, มกราคม-มีนาคม). การพัฒนาแบบวัดความสำเร็จในการดำรงบทบาทมารดา:ฉบับปรับปรุงและคุณสมบัติด้านการวัด.

วารสารพยาบาลศาสตร์, 22(1), 28-38.

สำนักอนามัยการเจริญพันธุ์ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2563). สถิติการคลอดของแม่วัยรุ่น

ประเทศไทย พ.ศ. 2563 Statistics on Adolescent Births, Thailand 2020. กรุงเทพฯ :

กระทรวงสาธารณสุข.

อรัญ ปานเพชร และปราโมทย์ วงศ์สวัสดิ์. (2563, กรกฎาคม-ธันวาคม). การตั้งครรถ์ไม่พร้อมของวัยรุ่น:

แนวทางการป้องกันและเฝ้าระวัง. วารสารวิทยาลัยพยาบาลพระปกเกล้า จันทบุรี, 31(2),

280-292.

อิสริย์ ปัตถัย, ภาวิณี แสนชนม์, เทพไทย โชติชัย, ศันสนีย์ จันทะสุข, ณิชกานต์ มีลุน และวนิดา ศรีพรหมษา

(2565, มกราคม -เมษายน).ความสัมพันธ์ระหว่างความรอบรู้ด้านสุขภาพทางเพศกับพฤติกรรมการป้องกัน

โรคเอดส์ และโรคติดต่อทางเพศสัมพันธ์ในวัยรุ่น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. วารสารเครือข่าย

วิทยาลัยพยาบาลและการสาธารณสุขภาคใต้, 9(1), 296-309.

Cox, J.L., Holden, J.M. & Sagovsky, R. (1987, June). Detection of postnatal depression :

Development of the 10 item Edinburgh Postnatal Depression Scale. **British**

**Journal of Psychiatric**, 150(6), 782-6.

Field T. (2010) Postpartum depression effects on early interactions, parenting, and safety

practices: A review. **Infant Behavior & Development**, 33(1), 1-6.

House, J.S. (1981). **Work stress and social support**. MA : Addison-Wesley.

Kendall-Tackett, K.A. (2017). Rethinking depression in new mothers: Current research trends

and their implications for practice. **Clinical Lactation**, 8(1), 5-7.

Krejcie, R.V. & Morgan, D.W. (1970, September). Determining ample size for research

activities. **Educational and Psychological Measurement**, 30(3), 607-610.

Lowdermilk, D., et al. (2019). **Maternity woman's health care**. (12 th ed). St. Louis :

Mosby.

Mercer, R.T. (1985, June-August). The process of maternal role attainment over the first

year. **Nursing Research**, 34(4), 198-204.

Michael O'Hara, & McCabe, J. E. (2013). Postpartum depression: current status and

future directions. **Annual Review of Clinical Psychology**, 9, 379-407.

Pillitteri, A. (2022). **Maternal and child nursing**. (8 th ed.). Philadelphia : Lippincott

Williams and Wilkins Publication.

Piyanupong, J., Liabsuetrakul, T. & Vittayanont, A. (2007). Validation of the Thai Edinburgh Postnatal Depression Scale for screening postpartum depression. **Psychiatry Research**, 149(1-3), 253-9.

World Health Organization. (2017). **Depression and other common mental disorders: Global Health Estimates**. Geneva Switzerland : World Health Organization.







การประเมินช่องโหว่ระบบงานทะเบียนโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ Kali Linux V. 2022.1  
ร่วมกับเทคนิคการป้องกันการคุกคามสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูล  
Vulnerability Assessment of Registration System Using Kali Linux V. 2022.1  
with Information Disclosure Method

ศึลป้ณรงค้ ฉวีพัฒน์\*

Silnarong Chavipat

เจรึญ จึระราชวโร\*\*

Charoen Jiraratchwaro

Received : April 19, 2023

Revised : June 26, 2023

Accepted : June 29, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยการประเมินช่องโหว่ระบบงานทะเบียนโดยใช้โปรแกรมประยุกต์ Kali Linux V. 2022.1 ร่วมกับเทคนิคการป้องกันการคุกคามสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลฉบับนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนตัวอย่าง โดยมีวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัยเพื่อทดสอบระบบดังนี้ 1) ตรวจสอบค้นหาความเสี่ยงที่จะถูกโจมตีจากภายนอกระบบ โดยใช้โปรแกรมประยุกต์ Kali linux V. 2022.1 ร่วมกับเทคนิค Information Disclosure 2) ระบุความเสี่ยงของช่องโหว่ที่อาจส่งผลกระทบต่อภัยคุกคามทางด้านความมั่นคงปลอดภัย 3) ประเมินความความรุนแรงช่องโหว่ที่พบนั้น โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ของ Open Web Application Security Project - OWASP Top 10 ประจำปี 2564 ในการศึกษาได้ใช้เครื่องมือที่ประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่ใช้หน่วยประมวลผล Core I7 หน่วยความจำหลักขนาด 32 GB หน่วยความจำสำรองขนาด 512 GB ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 10 และโปรแกรมจำลองเครื่องเสมือน Visual BoX ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ KALI Linux V. 2022.1 ซึ่งแบ่งขั้นตอนในการประเมินช่องโหว่ของระบบเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) Planning 2) Information Gathering 3) Vulnerability Assessment 4) Reporting ผลการวิจัยในช่วงวันที่ 12-18 พฤษภาคม 2565 ตรวจพบช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนที่ศึกษา รวมทั้งหมดจำนวน 7 รายการโดยเป็น

\*อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
Lecturer in Information Technology Program Faculty of Science and Technology Kamphaeng Phet  
Rajabhat University e-mail: silnarong@kpru.ac.th

\*\*นักวิชาการอิสระ

Independent scholar

ช่องโหว่ที่มีความเสี่ยงสูงจำนวน 3 รายการ ได้แก่ ช่องโหว่ Unauthorized Access Data (Missing Function Level Access Control) ช่องโหว่ Weak cipher suite algorithm และช่องโหว่ Username Password via GET Method ช่องโหว่ที่มีความเสี่ยงสูงปานกลางจำนวน 3 รายการ ได้แก่ ช่องโหว่ jQuery old version ช่องโหว่ HTTP Method Allowed และช่องโหว่ Application Technical Error And Information Disclosure และช่องโหว่ที่มีความเสี่ยงระดับต่ำ 1 ช่องโหว่ ได้แก่ ช่องโหว่ Missing Basic Function หลังจากกระบวนการรายงานผลช่องโหว่ได้ทำการแก้ไขโดยปรับปรุงวิธีการ และปรับปรุงเวอร์ชัน ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมและทำการทดสอบด้วยวิธีการเดิมผลที่ได้คือยังคงพบช่องโหว่ความเสี่ยงระดับต่ำจำนวน 1 รายการ ในการหาช่องโหว่และการประเมินความเสี่ยงของระบบที่ศึกษานั้น มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับที่ไม่น้อยไปกว่าการประเมินในลักษณะเดียวกับงานศึกษาวิจัยอื่น โดยโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานนั้นได้รับการพัฒนาและอัปเดตเวอร์ชันการใช้งานอย่างต่อเนื่องจนมีความสามารถที่จะตรวจจับความผิดปกติของระบบได้อย่างแม่นยำกว่าโปรแกรม Aacunetix ในลักษณะเดียวกันกับงานศึกษาอื่นในอดีต (พัชรวัฒน์ และชัยพร, 2563; ณัฒนภัทร และชัยพร, 2560)

**คำสำคัญ :** ช่องโหว่ / ความมั่นคงปลอดภัย / ระบบทะเบียน / ซีวีเอสเอส

### ABSTRACT

The research of Vulnerability Assessment of Registration System Using Kali Linux V. 2022.1 with Information Disclosure Method had studied the case study of registration system that might risk from the discloser technic The main objectives of this study were 1) To Experiment the risk from external invader using Kali linux V. 2022.1 combined with information disclosure technic 2) To analyze the vulnerable which affect to the security system of interested system and 3) To evaluate the risk level of the registration system under the standard of Open Web Application Security Project – OWASP Top 10 in 2021. In the experiments, the portable computer with core i7 microprocessor with memory of 32 Gb, portable memory of 512 Gb was used. The portable was installed the Windows version 10 and visual program of Visual Box on KALI Linux V. 2022.1 software. The research procedures were comprised of 1) Planning 2) Information Gathering 3) Vulnerability Assessment 4) Reporting. The investigated results from May12 – 18, 2022, showed the case study had total 7 vulnerabilities. There are 3 of them were severe level, they are Unauthorized Access Data (Missing Function Level Access Control), Weak cipher suite algorithm and Username Password via GET Method. For the moderate level was found 3 vulnerabilities, jQuery old version, HTTP Method Allowed and Application Technical Error and Information Disclosure. The remaining was Information level, Missing Basic

Function. Moreover, after reported the result and improved the method including of software version updated, the repeating experiment found another information level vulnerable.

The result of vulnerability assessment and risk evaluation of case study showed that the results had the reliability not less than the other software due to the development and version update of using software. The continuously version updated of software had more accuracy for the abnormalities validation compare to the software of Aacunetix that used in the past studied. (Patcharawat & Chaiyaporn, 2020; Nathanaphat & Chaiyaphon, 2017)

**Keywords :** Vulnerability / Security / Registration System / CVSS

### บทนำ

ด้วยความก้าวหน้าของระบบการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศในปัจจุบันมีความทันสมัยและเติบโตอย่างรวดเร็ว ทำให้บุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงระบบสารสนเทศของหน่วยงานได้ ทั้งจากบุคคลที่ใช้งานทั่วไปและบุคคลที่มุ่งประสงค์ร้ายต่อระบบ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดภาวะการณ์ที่ระบบสารสนเทศจะถูกโจมตี และการเข้าถึงข้อมูลโดยไม่ได้รับอนุญาต ที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน และในส่วนของประเทศไทยได้หน่วยงานภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ให้ความสำคัญของข้อมูลส่วนบุคคล จึงได้มีการตราพระราชบัญญัติที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พระราชบัญญัติคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคล พ.ศ. 2562 และพระราชบัญญัติการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ พ.ศ. 2562

ระบบงานทะเบียนนักศึกษาเป็นระบบสารสนเทศสำหรับการให้บริการแก่นักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏ แห่งหนึ่ง มีความสำคัญและความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการตรวจสอบข้อมูลผลการเรียนขอและข้อมูลสารสนเทศอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับนักศึกษา อาจารย์ โดยเฉพาะในแง่ของการยกระดับการเป็นมหาวิทยาลัยดิจิทัล ตามแนวทางส่งเสริมและพัฒนาระบบเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษาของมหาวิทยาลัยในอนาคต

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะทำการค้นหาและวิเคราะห์ช่องโหว่ (Vulnerability Assessment) ระบบงานทะเบียนนักศึกษา ของมหาวิทยาลัยราชภัฏแห่งหนึ่ง เพื่อค้นหาช่องโหว่จากเครือข่ายภายนอกของมหาวิทยาลัย (External Network) โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาผลกระทบและระดับความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของระบบงานทะเบียนนักศึกษา และหาแนวทางป้องกันเพื่อลดความเสี่ยง ภัยคุกคามจากผู้ไม่หวังดี และภัยคุกคามทางไซเบอร์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาให้ระบบทะเบียนนักศึกษาที่มีความมั่นคงปลอดภัยและมีความน่าเชื่อถือในการให้บริการ และให้ผู้ที่เกี่ยวข้องในการดูแลระบบงานทะเบียนนักศึกษา ตลอดจนผู้ดูแลระบบสารสนเทศในหน่วยงานต่างๆ ของมหาวิทยาลัยได้มีแนวทางในการประเมินช่องโหว่ระบบสารสนเทศของตนเองในเบื้องต้นได้ สามารถรับมือป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างทันทั่วถึง และยังเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบสารสนเทศของงานของตนเองให้มีความมั่นคงปลอดภัยเพิ่มขึ้นได้

### วิธีดำเนินการวิจัย

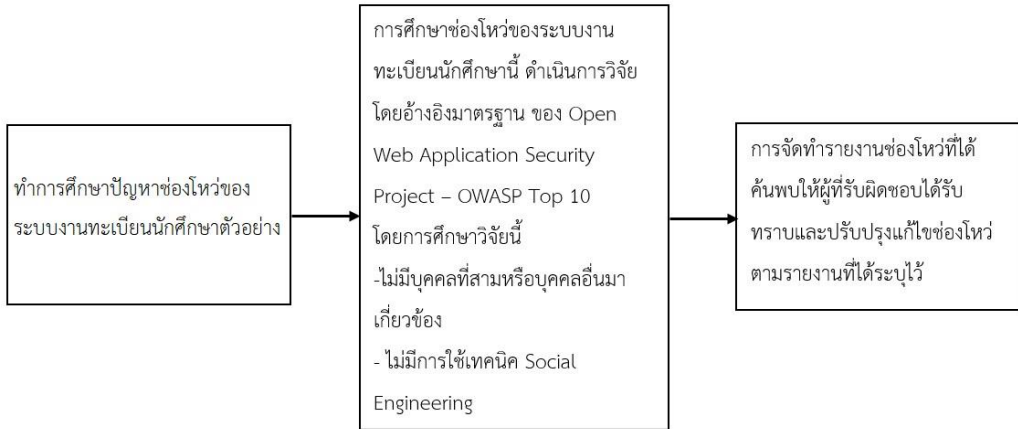
ช่องโหว่หรือจุดอ่อน (Vulnerability) หมายถึง ช่องทางที่อาจถูกใช้สำหรับการโจมตีได้ (พัชรวัฒน์ และ ชัยพร, 2563) โดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตในการวิจัยและเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองดังนี้

1. การศึกษาช่องโหว่จะทำการทดสอบจากเครือข่ายภายในมหาวิทยาลัย (Internal Network)
2. การศึกษาช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนนักศึกษาจะใช้ทักษะของผู้วิจัย และใช้ Tool ในการตรวจหาช่องโหว่เท่านั้นไม่มีบุคคลที่สามหรือบุคคลภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องกับงานวิจัย
3. การศึกษาช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนนักศึกษานี้ ดำเนินการวิจัยโดยการอ้างอิง Open Web Application Security Project - OWASP Top 10 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย (Urshila & Raghu, 2022)
4. การศึกษาช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนนักศึกษา มีการสรุปรายงานผลการตรวจสอบและประเมินความมั่นคงปลอดภัยของการเจาะระบบ โดยชี้ให้เห็นถึงจุดอ่อน ระดับความเสี่ยง และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบ เพื่อเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยของระบบระบบงานทะเบียนนักศึกษา

-เมนูที่ทำการตรวจสอบ	-หน้าจอ Login	-ข้อมูลอาจารย์
-ข้อมูลผู้ใช้	-ติดต่ออาจารย์/นักศึกษา	-ข้อมูลผู้ลงนาม
-ข้อมูลงานประมวลผล	-ข้อมูลสอบคอมพิวเตอร์	-ข้อมูลยื่นขอสำเร็จ
-ข้อมูลนักศึกษา	-ข้อมูลเปิดระบบต่างๆ	-ข้อมูลใบรับรอง
-ข้อมูลตารางเรียน	-ข้อมูลการชำระเงิน	-ข้อมูลไฟล์ดาวน์โหลด
-ข้อมูลลงทะเบียนเรียน	-ข้อมูลรายงาน	-Lock Screen
-โอนข้อมูลลงทะเบียนตามประเภทนักศึกษา		

5. การศึกษาช่องโหว่ของระบบงานทะเบียนนักศึกษา จะทำการตรวจสอบเมนู Function ต่างๆ ดังนี้ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่ใช้หน่วยประมวลผล Core I7 หน่วยความจำหลักขนาด 32 GB หน่วยความจำสำรองขนาด 512 GB ติดตั้งระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 10 และโปรแกรมจำลองเครื่องเสมือน Visual Box ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ KALI Linux Version 2022.1

ขนาดกรอบแนวคิดการวิจัย

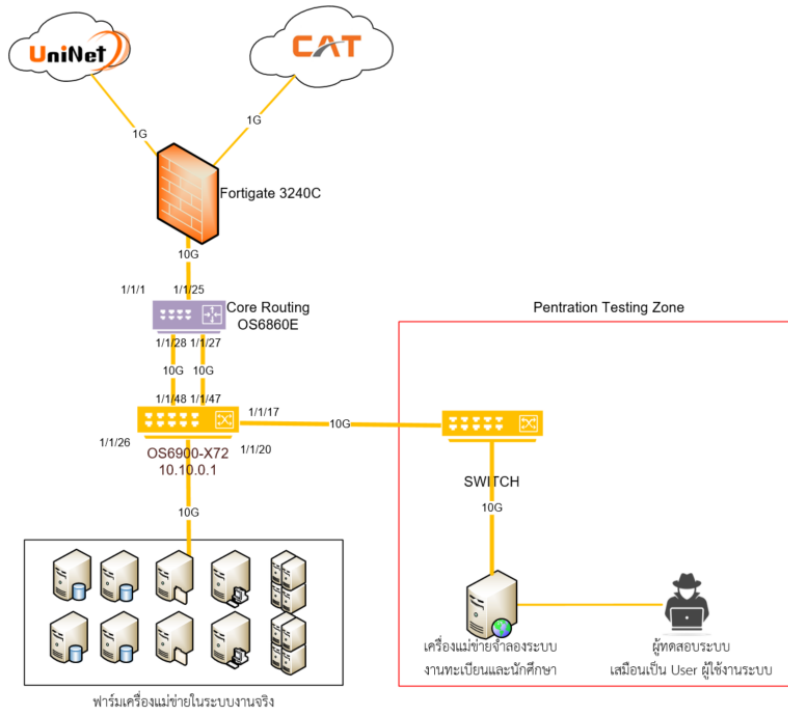


ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนและเครื่องมือในงานวิจัยประกอบด้วย

1. การวางแผนก่อนการดำเนินการ (Planning)

ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตเป้าหมายในการทดสอบด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Testing) ร่วมกับสำนักส่งเสริมและงานทะเบียน ที่เป็นเจ้าของระบบสารสนเทศ และงานพัฒนาระบบเครือข่าย สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และดำเนินการทำหนังสือบันทึกข้อความ เพื่อขออนุญาตทำการทดสอบด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Testing) ตลอดจนการเก็บรวบรวมข้อมูลอื่นๆ ที่จำเป็นเช่น ผังระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัย (Network Diagram) และข้อมูลของเครื่องแม่ข่าย โดยในการทดสอบผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทำสำเนา (Clone) ระบบงานทะเบียนนักศึกษาจากระบบจริงขึ้นมาอีก 1 ระบบ เพื่อดำเนินการทดสอบการเจาะระบบ โดยผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตไว้ระหว่างช่วงเวลาที่ทำการประเมินรักษาความมั่นคงปลอดภัยของระบบงานทะเบียนนักศึกษา ระหว่างวันที่ 12 พฤษภาคม 2565 เวลา 01.00 น. - วันที่ 18 พฤษภาคม 2565 เวลา 13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงวันหยุดภาคเรียนมีผู้เข้าใช้บริการไม่มาก และเพื่อเป็นการลดผลกระทบต่อผู้ใช้งานบนระบบเครือข่ายและด้านอื่นๆ โดยผู้วิจัยจะทำการทดสอบการเจาะระบบงานทะเบียนนักศึกษาที่ได้ติดตั้งบนเครื่องแม่ข่ายอีกหนึ่งเครื่อง ที่ไม่ได้เป็นเครื่องที่ใช้งานจริงในระบบ ซึ่งผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลที่ได้ระหว่างการทดสอบการเจาะระบบเป็นความลับ และจัดส่งรายงานที่ได้หลังการทดสอบส่งกลับไปให้สำนักส่งเสริมและงานทะเบียนที่เป็นผู้ดูแลรับผิดชอบ ได้พิจารณาและดำเนินการแก้ไขปรับปรุงระบบให้มีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้นต่อไป



ภาพที่ 2 แสดงผังการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย (Network Diagram) ที่ใช้ในการทดสอบ

## 2. การดำเนินการค้นหาช่องโหว่ของระบบ (Discovery)

ในขั้นตอนการค้นหาหรือตรวจหาช่องโหว่นี้ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องแม่ข่ายและทำสำเนา (Clone) ระบบงานทะเบียนนักศึกษาขึ้นมาอีก 1 ระบบ เพื่อให้การวิจัยครั้งนี้ ไม่มีการรบกวนหรือส่งผลกระทบต่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบที่ใช้งานจริง และการทดสอบด้านความมั่นคงปลอดภัย (Security Testing) ในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบผ่านระบบเครือข่ายภายในของมหาวิทยาลัยเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยนั้นเปรียบเสมือนเป็นผู้ใช้งานคนหนึ่งในระบบที่สามารถเข้าถึงระบบสารสนเทศดังกล่าวได้



ภาพที่ 3 การเข้าถึงเครื่องแม่ข่ายที่ได้ติดตั้งระบบงานทะเบียนนักศึกษา

การค้นหาช่องโหว่ของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการระบบงานทะเบียนนักศึกษาโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Kali Linux ที่ได้รับความนิยม (เอกชัย พ่วงพรพิทักษ์, 2565) และเครื่องมือ (Tool) ใช้ในการค้นหาช่องโหว่ของระบบต่างดังนี้

- Information Gathering
- Foot printing
- Port and Vulnerability Scanning
- Passive, Active Sniffing

- Privilege Escalation Attack
- Buffer Overflow
- Parameter Tampering Manipulation and Unsecure Configuration Attack
- Authentication Authorization and Accounting
- Cache Management Attack
- Data Validation
- Cross Site Scripting
- Error Handling
- Session Management and Hijacking
- Unauthorized Access and Broken Access Control Attack
- Exploit Attack
- Man in the Middle Attack
- Injection Flaws
- Insecure Direct Object Reference
- Broken and Bypass Authentication

3. การเก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องเป้าหมาย (Information Gathering)

โดยผู้วิจัยเริ่มต้นในการใช้เครื่องมือประเภท Information Gathering โดยใช้ Tool ที่ชื่อว่า Nmap (Network Mapper) เป็น free license และเป็น open source ทำหน้าที่ในการค้นหาเครือข่ายเป้าหมายและใช้ตรวจสอบความมั่นคงปลอดภัยของเครือข่ายและค้นหาเครื่องเป้าหมายเพื่อค้นหาและเก็บข้อมูลเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Extosoft company, 2563) ที่ให้บริการระบบงานทะเบียนของระบบงานทะเบียน นักศึกษา

จากการ Scan ด้วย Tool Namp ทำให้ผู้วิจัยได้ทราบถึงข้อมูลของระบบบางส่วนได้ว่าเครื่องเป้าหมายใช้ระบบปฏิบัติการใดในการทำงาน มีหมายเลขพอร์ตใดที่เปิดใช้งานอยู่ รวมไปถึงการค้นหาอุปกรณ์ที่กำลังทำงานอยู่ในระบบเครือข่าย

```
File Actions Edit View Help
SEE THE MAN PAGE (https://nmap.org/book/man.html) FOR MORE OPTIONS AND EXAMPLES
(kali@kali)-[~]
└─$ sudo nmap -v -A kpru.ac.th
[sudo] password for kali:
Starting Nmap 7.93 ( https://nmap.org ) at 2022-10-20 18:37 EDT
NSE: Loaded 155 scripts for scanning.
NSE: Script Pre-scanning.
Initiating NSE at 18:37
Completed NSE at 18:37, 0.00s elapsed
Initiating NSE at 18:37
Completed NSE at 18:37, 0.00s elapsed
Initiating NSE at 18:37
Completed NSE at 18:37, 0.00s elapsed
Initiating Ping Scan at 18:37
Completed Ping Scan at 18:37, 0.06s elapsed (1 total hosts)
Initiating Parallel DNS resolution of 1 host. at 18:37
Completed Parallel DNS resolution of 1 host. at 18:37, 0.04s elapsed
Initiating SYN Stealth Scan at 18:37
Scanning kpru.ac.th (202.129.39.214) [1000 ports]
Discovered open port 443/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 3389/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 80/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 3306/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 21/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 49154/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 5860/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 2000/tcp on 202.129.39.214
Discovered open port 8008/tcp on 202.129.39.214
Completed SYN Stealth Scan at 18:37, 4.34s elapsed (1000 total ports)
Initiating Service scan at 18:37
```

ภาพที่ 4 การใช้ระบบปฏิบัติการ Kali Linux สแกน (Scan) หาข้อมูลด้วยคำสั่ง Nmap



### 4. การค้นหาช่องโหว่ (Vulnerability Assessment)

จากการศึกษาผู้วิจัยสามารถค้นพบช่องโหว่ ซึ่งปรากฏรายละเอียดโหว่โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ช่องโหว่ Unauthorized Access Data (Missing Function Level Access Control)

ช่องโหว่นี้ทำให้ผู้ใช้งานทั่วไปสามารถทำการ Query ข้อมูลได้โดยไม่ต้องทำการ Login ในระบบ และระบบไม่มีการตรวจสอบสิทธิการใช้งานว่าผู้ใช้งานนั้นมีสิทธิใช้งานหรือไม่ ตัวอย่างเช่น

```
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/payment/updatestatust/122/2
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/register/trainingmaterial/1/1/2559
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/load/SearchLoad/5413211/1/2558
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/teacher/ShowListSentGrade/1/1/59/1/
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/teacher/ShowListAvgStudent/541321
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/teacher/showregis/1/2
https://test.kpru.ac.th/FrontEnd_Tabian/teacher/showfinish/2/5413
```

ภาพที่ 5 ภาพแสดงการ Query ข้อมูลได้โดยไม่ต้องทำการ Login

#### 4.2 ช่องโหว่ Weak cipher suite algorithm

ช่องโหว่นี้ที่เกิดจากเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายใช้งาน SSL/TLS โดยมีการใช้ Cipher Suite ที่ไม่แข็งแกร่งมากพอ ก่อให้เกิดช่องโหว่ที่จะนำไปสู่การโจมตีแบบคนที่อยู่ตรงกลาง (Man-in-The-Middle Attack) ทำให้ผู้ที่โจมตีสามารถดักจับและอ่านข้อมูลที่ถูกเข้ารหัสได้ ช่องโหว่ดังกล่าวผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบจากเว็บไซต์

<https://www.ssllabs.com/ssltest/analyze.html?d=test.kpru.ac.th&s=202.29.15.220>

<https://www.ssllabs.com/ssltest/analyze.html?d=test.kpru.ac.th>

#### 4.3 ช่องโหว่ Username Password via GET Method

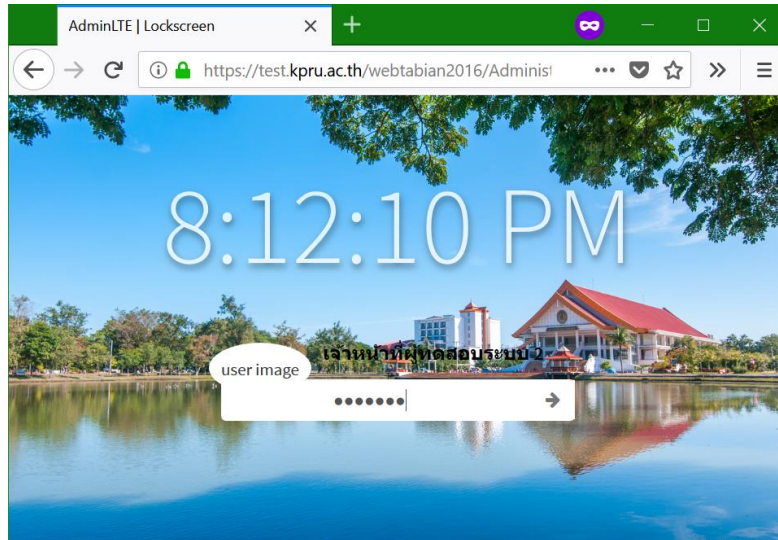
เป็นช่องโหว่ที่ผู้ใช้งานส่งข้อมูล Username Password ด้วยวิธีการ Get Method

ดังภาพที่ 6

```
GET /FrontEnd_Tabian/login/LoginsAdminTabian/tabian_test002/TC00001/fed7b893-ef02-4af0-bed6-fac1b7280ce9 HTTP/1.1
Host: test.kpru.ac.th
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:60.0) Gecko/20100101 Firefox/60.0
Accept: application/json, text/plain, */*
Accept-Language: th,en-US;q=0.7,en;q=0.3
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Referer: https://test.kpru.ac.th/webtabian2016/Administrator/lockscreen.html
DNT: 1
Connection: close
```

ภาพที่ 6 แสดงรายละเอียดช่องโหว่โดยใช้วิธีการ Get Method

โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการ Login โดยใส่ User Name จะพบว่ามีการส่ง Username Password ผ่าน GET Parameter



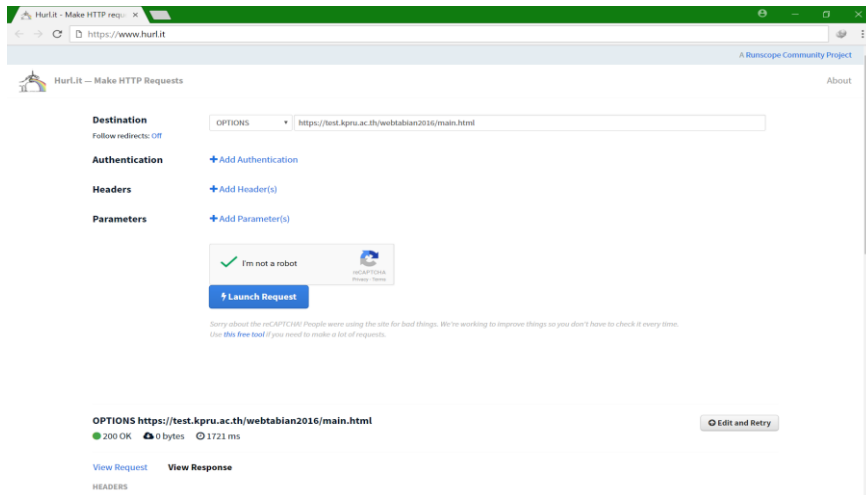
ภาพที่ 7 แสดงหน้าจอการ Login เข้าสู่ระบบ

#### 4.4 ช่องโหว่ jquery old version

เป็นช่องโหว่ที่เกิดจากการใช้งาน Version ของ JQuery ที่ไม่มีความมั่นคงปลอดภัยมีผลกระทบทำให้ผู้ที่ไม่หวังดีสามารถเข้าถึงข้อมูลหรือฐานข้อมูลที่ไม่ได้รับอนุญาตได้ โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <https://domstorn.skepticfx.com/modules?id=529bbe6e125fac0000000003>

#### 4.5 ช่องโหว่ HTTP Method Allowed

เป็นช่องโหว่ที่ทำให้เครื่องแม่ข่ายทำงานผิดพลาดส่งผลให้สามารถแสดงข้อมูลสำคัญที่ไม่ได้อนุญาตให้บุคคลภายนอกเข้าถึงได้ ดังนั้นจึงควรอนุญาตให้เครื่องแม่ข่ายใช้งานเฉพาะ Method ที่จำเป็นเช่น GET, POST ไม่ควรอนุญาตให้ใช้งาน Method อื่นๆ ที่ไม่จำเป็นเช่น OPTIONS, TRACR และ HEAD โดยสามารถตรวจสอบข้อมูลได้จาก [https://www.owasp.org/index.php/Test\\_HTTP\\_Methods\\_\(OTG-CONFIG-006\)](https://www.owasp.org/index.php/Test_HTTP_Methods_(OTG-CONFIG-006))



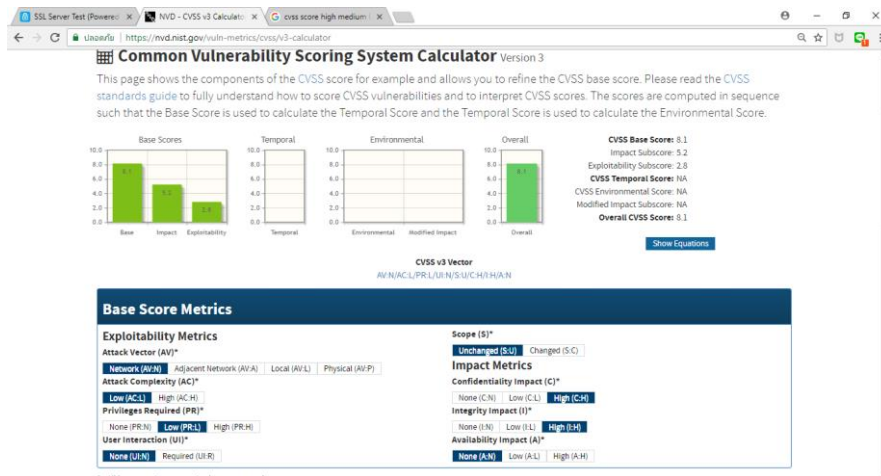
ภาพที่ 8 แสดงผลลัพธ์ของการใช้ Method ในรูปแบบต่างๆ

#### 4.6 ช่องโหว่ Application Technical Error And Information Disclosure

เป็นช่องโหว่ที่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการระบบงานทะเบียนแสดงรายละเอียดข้อมูล Error Message ที่มีโอกาสทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดหรือแสดงผลข้อมูลสำคัญ ที่ไม่อนุญาตให้บุคคลภายนอกเข้าถึงออกมาได้ เช่น Path Directory C:\inetpub\wwwroot ซึ่งทำให้ผู้ที่ไม่หวังดี สามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปวิเคราะห์เพื่อหาช่องโหว่ในการเจาะระบบต่อไปได้ โดยวิธีการตรวจสอบ สามารถตรวจสอบรายละเอียดได้จากการใส่ข้อมูลผิด หรือข้อมูลที่ไม่ได้กำหนดไว้ แล้วสังเกต Error ที่ Website ตอบกลับมาว่าเป็น Error ที่เหมาะสมกับผู้ใช้งานทั่วไปหรือไม่

#### 5. การจัดทำรายงานผลและการประเมินผล (Report)

ผู้วิจัยได้จัดทำรายงานผลการประเมินช่องโหว่และแนวทางในการแก้ไขและการป้องกันช่องโหว่ของระบบให้กับผู้บริหารและผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำไปแก้ไขต่อไปและจัดทำข้อมูลสรุปคะแนนระดับความเสี่ยงโดยใช้เกณฑ์มาตรฐานซีวีเอสเอส (CVSS) ซึ่งเป็นระบบการให้คะแนนช่องโหว่ที่เป็นมาตรฐานเปิดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก (ศิริขวัญ, 2559) ใช้ในการวัดความรุนแรงของช่องโหว่ของซอฟต์แวร์ตามค่าเมตริกที่กำหนด (Mera, et al, 2021) เวอร์ชัน 3 ซึ่งระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS) จะแสดงให้เห็นถึงความรุนแรงที่มีผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบงานทะเบียนนักศึกษา สามารถเข้าไปใช้งานได้ที่ Website <https://nvd.nist.gov/vuln-metrics/cvss/v3-calculator> โดยทำการระบุค่าตัวแปรต่างๆ ตามภาพที่ 9



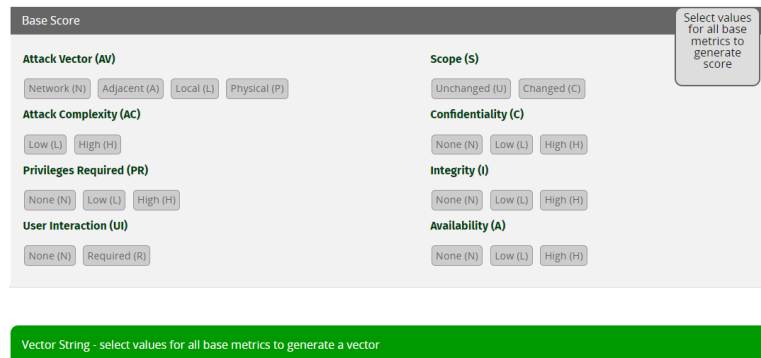
ภาพที่ 9 แสดงการใช้งานระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS)

หลักเกณฑ์การให้คะแนน Common Vulnerability Scoring System (CVSS) มีหลักการคิดคำนวณได้จาก 3 องค์ประกอบได้แก่

1. Base Score (คะแนนฐาน) - เป็นการประเมินระดับความรุนแรงของช่องโหว่ โดยอาศัยการใช้รายละเอียดทางเทคนิคของช่องโหว่ ที่ประกอบไปด้วย Exploit Metric และ Impact Metrics และสามารถอธิบายรายละเอียดของแต่ละประเภทได้ดังต่อไปนี้

1.1 Exploit Metrics หรือ ความรุนแรงของช่องโหว่ ประกอบไปด้วย Attack Vector (AV), Attack Complexity (AC), Privileges Required (PR), User Interaction (UI) และ Scope (S)

1.2 Impact Metrics หรือ ความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น ประกอบไปด้วย Confidentiality Impact (C), Integrity Impact (I) และ Availability Impact (A)



ภาพที่ 10 การคำนวณคะแนนฐาน (Base Score)

2. Temporal Score (คะแนนชั่วคราว) - เป็นการประเมินความรุนแรงของช่องโหว่ โดยพิจารณาปัจจัยสภาพแวดล้อม โดยมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- 2.1 Exploit Code Maturity (E)
- Unproven (ไม่มีหลักฐาน): ไม่มีหลักฐานให้สรุปว่าช่องโหว่ถูกโจมตี
  - Proof of Concept (มีหลักฐานประกอบ): มีหลักฐานแสดงให้เห็นว่าช่องโหว่สามารถถูกโจมตีได้
  - Functional (ความสามารถในการใช้งานได้): ช่องโหว่สามารถใช้งานได้แต่จำเป็นต้องมีความชำนาญและความรู้เฉพาะเจาะจง
  - High (สูง): ช่องโหว่สามารถใช้งานได้โดยมีความสะดวก
  - Not Defined (ไม่ได้กำหนด): ไม่ได้กำหนดระดับความชัดเจนของการโจมตี
- 2.2 Remediation Level (RL)
- Official Fix (แก้ไขอย่างเป็นทางการ): มีการออกเวอร์ชันแก้ไขปัญหาอย่างเป็นทางการ
  - Temporary Fix: มีการให้คำแนะนำหรือวิธีการแก้ไขชั่วคราวในกรอบรูปแบบ
  - Workaround (วิธีการหลีกเลี่ยง): มีวิธีการที่ผู้ใช้งานสามารถหลีกเลี่ยงช่องโหว่ได้โดยไม่ต้องแก้ไขโดยตรง
  - Unavailable (ไม่พร้อมใช้งาน): ไม่มีวิธีการแก้ไขหรือวัสดุที่ใช้ในการสร้างทดสอบ

### 2.3 Report Confidence (RC)

The screenshot shows a configuration interface for 'Temporal Score'. It is divided into three sections:

- Exploit Code Maturity (E):** Includes buttons for 'Not Defined (X)', 'Unproven (U)', 'Proof-of-Concept (P)', 'Functional (F)', and 'High (H)'. 'Not Defined (X)' is currently selected.
- Remediation Level (RL):** Includes buttons for 'Not Defined (X)', 'Official Fix (O)', 'Temporary Fix (T)', 'Workaround (W)', and 'Unavailable (U)'. 'Not Defined (X)' is currently selected.
- Report Confidence (RC):** Includes buttons for 'Not Defined (X)', 'Unknown (U)', 'Reasonable (R)', and 'Confirmed (C)'. 'Not Defined (X)' is currently selected.

A tooltip on the right side of the interface reads: 'Select values for all base metrics to generate score'.

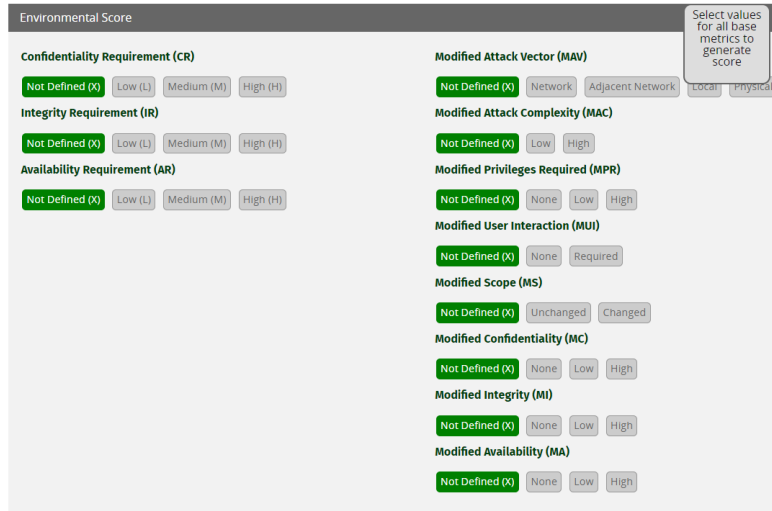
ภาพที่ 11 การคำนวณคะแนนชั่วคราว (Temporal Score)

3. Environmental Score (คะแนนด้านสภาพแวดล้อม) - เป็นการประเมินความรุนแรงของช่องโหว่ โดยพิจารณาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่เฉพาะเจาะจงตามสถานการณ์ โดยมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้

3.1 Exploitability Metrics - Attack Vector (MAV), Attack Complexity (MAC), Privileges Requires (MPR), User Interaction (MUI), Scope (MS)

3.2 Impact Metrics - Confidentiality Impact (MC), Integrity Impact (MI) และ Availability Impact (MA)

3.3 Impact Scuscore Modifiers - Confidentiality Requirement (CR), Integrity Requirement (IR) และ Availability Requirement (AR)



ภาพที่ 12 การคำนวณคะแนนด้านสภาพแวดล้อม (Environmental Score)

เมื่อบันทึกข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้วที่เรียบร้อย ระบบจะแสดงระดับคะแนน CVSS Score โดยที่ช่องโหว่ที่มีระดับความรุนแรงมาก จะทำให้ค่า CVSS Score ยิ่งมีค่ามากขึ้น โดยระดับคะแนน CVSS Score มีค่าระดับคะแนนสูงสุดระดับเท่ากับ 10 และระดับคะแนนต่ำสุด 0 เมื่อได้ค่าระดับคะแนน CVSS Score แล้วจะทำการแบ่ง ระดับความเสี่ยง (Risk Rating) ตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 1 แสดงระดับค่าความเสี่ยงกับระดับคะแนน CVSS Score

Rating	CVSS Score
Low	0.1 - 3.9
Medium	4.0 - 6.9
High	7.0 - 8.9
Critical	9.0 - 10.0

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจากการทดสอบการประเมินช่องโหว่ระบบงานทะเบียนนักศึกษาผู้วิจัยได้ค้นพบช่องโหว่ระดับความรุนแรงและระดับคะแนนซีวีเอสเอส ของช่องโหว่ที่ค้นพบได้จำนวน 7 รายการดังนี้

#### 1. ช่องโหว่ Unauthorized Access Data (Missing Function Level Access Control)

ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับสูง (High) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 8 ผู้วิจัยพบว่าระบบงานทะเบียนนักศึกษา ไม่ได้ทำการ Authorization ของผู้เข้ามาใช้งาน จะมีผลกระทบ (คือ ถ้าผู้ใช้งานทราบ Path การ Query หรือใช้งานข้อมูลที่ต้องการ จะทำให้สามารถ Query ข้อมูลได้โดยไม่ต้อง login เข้าสู่ระบบ เนื่องจาก Function หลัง path “https://test.kpru.ac.th/FrontEnd\_Tabian/\*” ระบบไม่ได้การตรวจสอบ Authorization ของผู้เข้ามาใช้งาน

```
POST /FrontEnd_Tabian/sendsms/sendsms/ HTTP/1.1
Host: test.kpru.ac.th
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64; rv:59.0) Gecko/20100101 Firefox/59.0
Accept: application/json, text/plain, */*
Accept-Language: th,en-US;q=0.7,en;q=0.3
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Referer: https://test.kpru.ac.th/webtabian2016/Administrator/?q=&seach?&q=ipconfig&seach?
Content-Type: application/x-www-form-urlencoded; charset=UTF-8
Content-Length: 45
Connection: close

{"txtemail":"0979956994","txtdetail":"tcst2"}
```

ภาพที่ 13 แสดงผลผลลัพธ์การ Query ข้อมูลได้โดยไม่ต้องใช้ UserName และ Password ในการ Login

การแก้ไขช่องโหว่ ให้ทำการตรวจสอบสิทธิของผู้ใช้งาน (Authorization) ก่อนทุกครั้งว่า ผู้ใช้งานมีสิทธิจะมีเรียกใช้งาน Function หรือรายการใดๆ หรือไม่เพื่อป้องกันการ Query ข้อมูลโดยตรง

#### 2. ช่องโหว่ Weak cipher suite algorithm

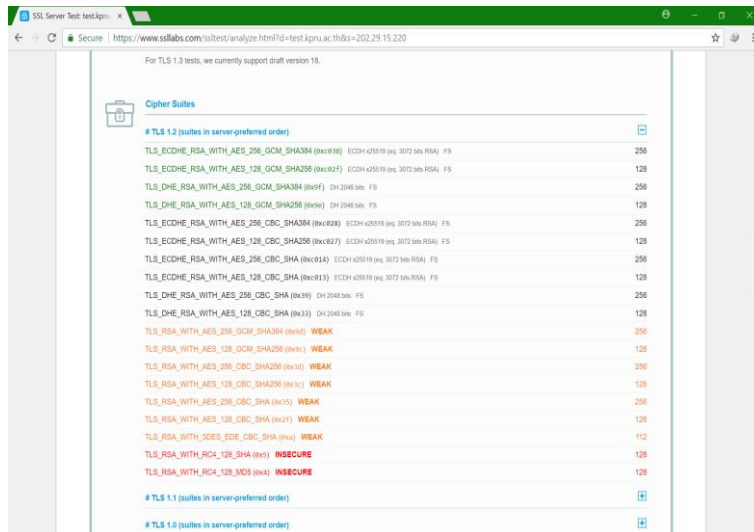
ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับสูง (High) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 7.4 ผู้วิจัยได้ตรวจพบการใช้งาน Cipher suite algorithm ที่ไม่ปลอดภัยตามตารางด้านล่าง

ตารางที่ 2 แสดงเวอร์ชัน TLS และ Cipher Suite ที่ไม่ปลอดภัย

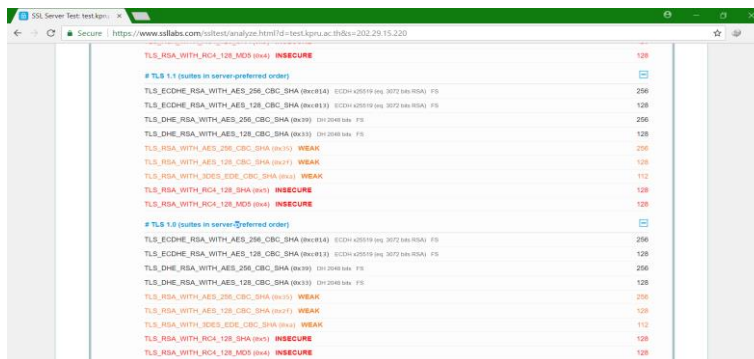
TLS ที่ตรวจพบ	Cipher suite ที่ไม่ปลอดภัย
TLS 1.2	TLS_RSA_WITH_AES_256_GCM_SHA384
	TLS_RSA_WITH_AES_128_GCM_SHA256
	TLS_RSA_WITH_AES_256_CBC_SHA256
	TLS_RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA256
	TLS_RSA_WITH_AES_256_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_MD5
TLS 1.1	TLS_RSA_WITH_AES_256_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_MD5
TLS 1.0	TLS_RSA_WITH_AES_256_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_AES_128_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_3DES_EDE_CBC_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_SHA
	TLS_RSA_WITH_RC4_128_MD5

โดยข้อมูลจากเว็บไซต์จะแสดงรายการ Cipher suite algorithm ที่เป็นช่องโหว่และไม่ปลอดภัยตามภาพด้านล่าง





ภาพที่ 14 แสดงผลช่องโหว่ TLS ที่มีการใช้งานในระบบงานทะเบียนนักศึกษา



ภาพที่ 15 แสดงผลช่องโหว่ TLS ที่มีการใช้งานในระบบงานทะเบียนนักศึกษา

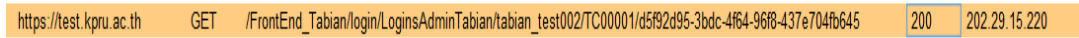
ผลกระทบคือ หากผู้โจมตีสามารถทำการถอดรหัสได้จะทำให้ดักฟังหรือทำการแก้ไขข้อมูลระหว่างการสื่อสารข้อมูล ก่อให้เกิดการโจมตีโดยบุคคลที่อยู่ตรงกลางได้ (Man-in-the-Middle Attack)

การแก้ไขช่องโหว่ การแก้ไขช่องโหว่ ให้ทำการ Disable การใช้งาน Cipher Suite ที่ไม่ปลอดภัย แต่อาจจะมีปัญหาส่งผลกระทบต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานที่ใช้ Internet Explorer ต่ำกว่าเวอร์ชัน 6 ลงมาให้ตรวจสอบก่อนดำเนินการและให้ใช้ TLS แทน ในกรณีที่ไม่สามารถ Disable ได้ ให้ใช้งานเฉพาะเครือข่ายภายในหรือมีการใช้งานกับข้อมูลที่สำคัญ หรือให้ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง Internet Explorer สูงกว่าเวอร์ชัน 6

### 3. ช่องโหว่ Username Password via GET Method

ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับสูง (High) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 7.1 จากรูปที่ xxx โดยหน้า Login ดังกล่าว ผู้วิจัยพบว่ามีการส่งผ่านข้อมูล Username password โดยใช้ GET Method

เมื่อใช้งานเมนู lock screen ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงผลการส่งผ่านข้อมูลโดยใช้ Parameter GET

ผลกระทบคือ การใช้ GET Method ส่งข้อมูลที่มีความสำคัญ เช่น Username Password นั้น อาจทำให้ข้อมูลถูกดักจับ (Sniff Traffic) ระหว่างทำการสื่อสารจากผู้ที่ไม่หวังดีได้

การแก้ไขช่องโหว่ เปลี่ยนการใช้งานจาก GET Method เป็น POST Method แทนเนื่องจาก POST Method เป็นการส่งข้อมูลบนส่วน Body ของ Package ซึ่งมีการใช้งานด้วย HTTPS ทำให้ยากต่อการดักจับข้อมูล

4. ช่องโหว่ jquery old version

ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับกลาง (Medium) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 6.8 จากการตรวจสอบระบบงานทะเบียนนักศึกษา ผู้วิจัยพบว่ามีการใช้งานเวอร์ชัน jQuery 1.7.2 และ 1.2.9 ซึ่งมีผลกระทบคือ ทำให้ผู้ที่ไม่หวังดีสามารถเข้าถึงข้อมูลต่างๆ ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึงได้

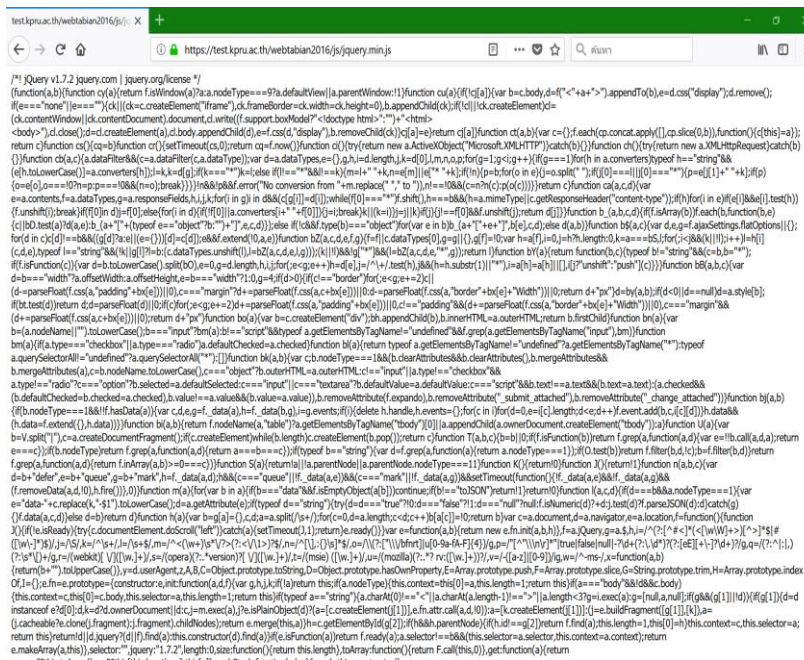
jQuery Version	Is it Vulnerable?
jQuery 2.0.2	Safe
jQuery 2.0.1	Safe
jQuery 2.0.0	Safe
jQuery 2.0.3	Safe
jQuery 1.10.2	Safe
jQuery 1.10.1	Safe
jQuery 1.10.0	Safe
jQuery 1.9.1	Safe
jQuery 1.9.0	Safe
jQuery 1.8.3	Vulnerable
jQuery 1.8.1	Vulnerable
jQuery 1.8.0	Vulnerable
jQuery 1.7.2	Vulnerable
jQuery 1.7.1	Vulnerable

ภาพที่ 17 แสดงเวอร์ชันของ jQuery ที่ไม่ปลอดภัย

มีผลกระทบคือ ผู้วิจัยหรือผู้ที่ไม่หวังดีสามารถเข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าถึงได้ดัง

ภาพที่ 18

การแก้ไขช่องโหว่ ให้ปรับปรุงเวอร์ชันของ JQuery ให้เป็นปัจจุบัน



ภาพที่ 18 แสดงการใช้งาน jQuery ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ไม่ได้รับอนุญาตได้

5. ช่องโหว่ HTTP Method Allowed

ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับกลาง (Medium) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 5.3 ผู้วิจัย

ได้ค้นพบช่องโหว่ผลคือมีการใช้งาน Method ที่ไม่จำเป็นเช่น OPTIONS, TRACE และ HEAD

```

Allow: OPTIONS, TRACE, GET, HEAD, POST
Content-Length: 0
Date: Fri, 11 May 2022 16:54:59 GMT
Public: OPTIONS, TRACE, GET, HEAD, POST
Server: Microsoft-IIS/10.0
X-Powered-By: ASP.NET

```

ภาพที่ 19 แสดงผลลัพธ์ของการใช้ Method ที่ไม่จำเป็น

มีผลกระทบ มีโอกาสทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการเว็บไซต์ ทำงานผิดพลาดหรือแสดงข้อมูลสำคัญที่ไม่อนุญาตให้บุคคลภายนอกเข้าถึงออกมา

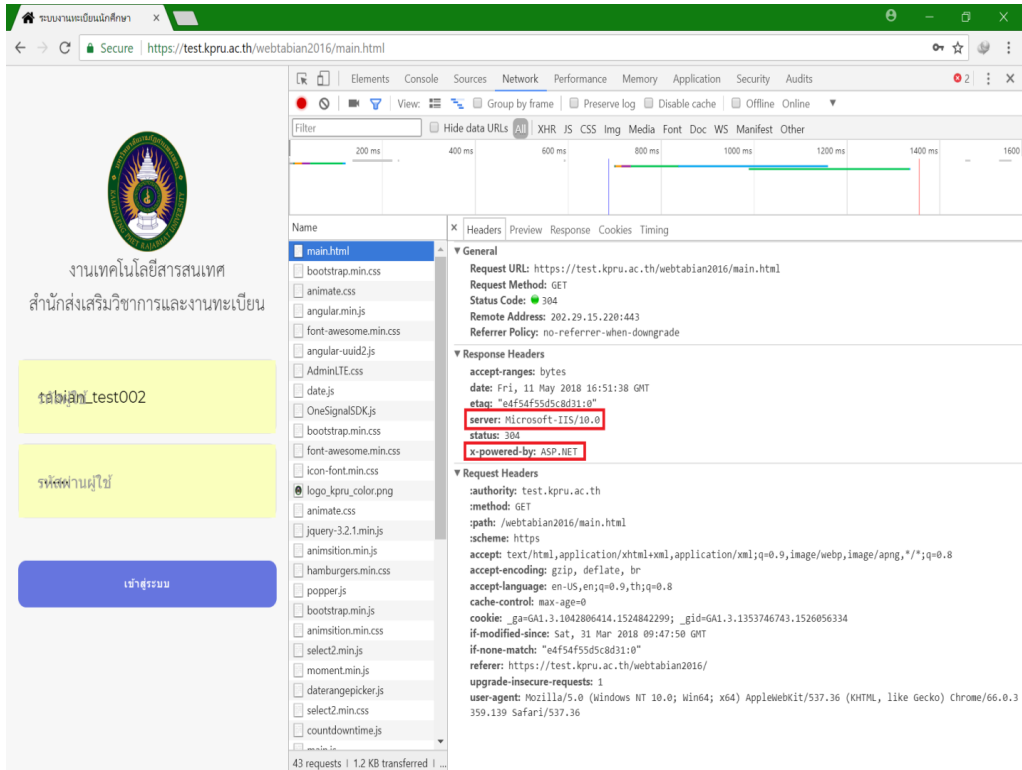
การแก้ไขช่องโหว่ ให้ยกเลิกการใช้งาน HTTP Method TRACE, HEAD และ OPTIONS ที่ไม่จำเป็น

6. ช่องโหว่ Application Technical Error And Information Disclosure

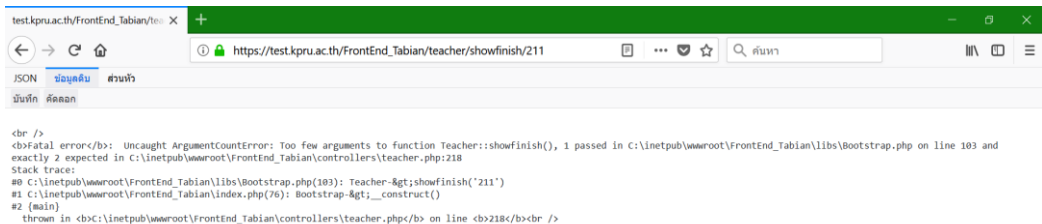
ระดับความรุนแรงอยู่ในระดับกลาง (Medium) ระดับคะแนนซีวีเอสเอส (CVSS Score) 5.3 ผู้วิจัย

พบ Error Message จากเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการและข้อมูลภายในต่างๆ เช่น Microsoft-IIS 10.0, ASP.NET, C:\inetpub\wwwroot, Server Error 500 ซึ่งแสดงรายละเอียดข้อมูล Error Message ซึ่งมี

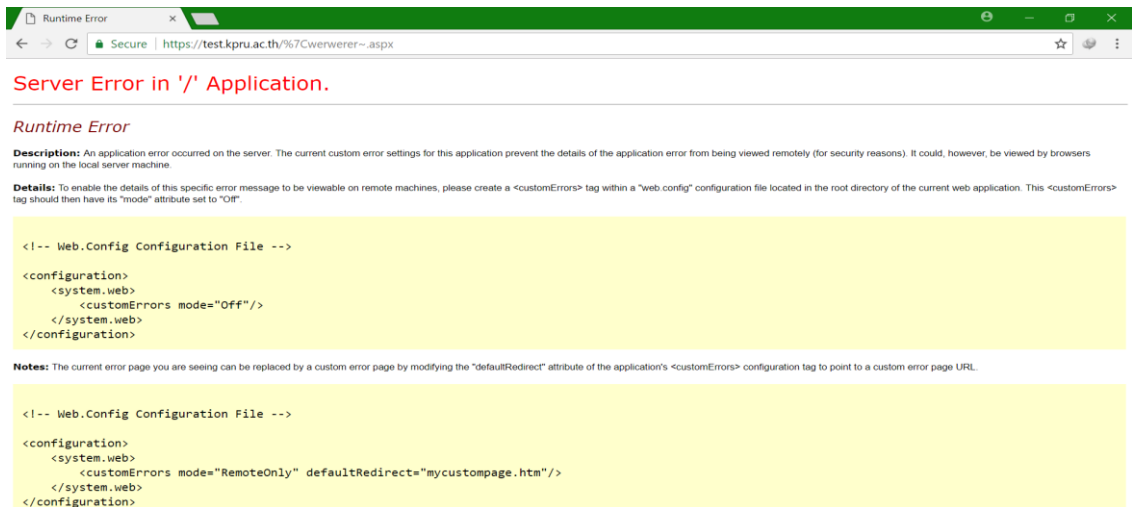
ผลกระทบคือมีโอกาสนำทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่ให้บริการ เกิดการทำงานผิดพลาด หรือแสดงผลข้อมูลสำคัญ ทำให้ผู้ที่ไม่หวังดี สามารถนำข้อมูลที่ได้รับไปวิเคราะห์เพื่อหาช่องโหว่ในการเจาะระบบต่อไปได้  
 ดึงภาพที่ 20



ภาพที่ 20 แสดงผลลัพธ์ Error Message ที่ส่งผลให้แสดงข้อมูลสำคัญออกมา



ภาพที่ 21 แสดงผลลัพธ์ Error Message ที่ส่งผลให้แสดงข้อมูลสำคัญออกมา



ภาพที่ 22 แสดงผลลัพธ์ Error Message ที่ส่งผลให้แสดงข้อมูลสำคัญออกมา

การแก้ไขช่องโหว่ ทำ Input Validation ในการรับตัวอักษรที่มีความผิดปกติ หรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ เช่น ช่องที่ควรใส่ได้แต่ตัวเลขไม่ควรอนุญาตให้ใส่ตัวอักษร และให้จัดทำหน้า Error Message หรือ Error Page ที่ไม่แสดงข้อมูลที่มีความสำคัญ หรือ Redirect ไปยัง หน้า Error page ที่สร้างขึ้นมาเตรียมไว้ เพื่อให้ข้อมูลหลุดออกมาน้อยที่สุด

#### 7. ช่องโหว่ Missing Basic Function

เป็นช่องโหว่เพื่อแจ้งให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้รับทราบ ที่อาจจะเกิดจากความต้องการทางธุรกิจ (Business Requirement) ของหน่วยงานหรือผู้ที่รับผิดชอบเอง โดยผู้วิจัยได้ตรวจพบว่า เมื่อทำการ login เข้าใช้งานในระบบแล้วไม่พบ function ในการเปลี่ยน Password หลังจากทำการ login เข้าใช้งานแล้ว ระบบไม่ทำการ logoff ให้อัตโนมัติเมื่อไม่มีการใช้งาน ไม่พบ Session timeout หรืออาจมีการตั้งค่า Session Timeout ยาวนานเกินไป และได้ทำการทดลองใส่ Password ผิดหลายครั้งโดยทำการ Login ด้วยวิธีการเดาสุ่ม Password) ระบบ แต่ระบบไม่ทำการ Lock Account ซึ่งจะมีผลกระทบคือไม่สามารถเปลี่ยน Password ได้ทันทีในกรณีที่ Password ถูกขโมย รวมไปถึงอาจจะถูกไม่หวังดีสวมรอยเข้ามาใช้งานได้ หากผู้ใช้งานไม่ได้อยู่ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และระบบอาจจะถูกโจมตี Password แบบ Brute Force Attack ได้

การแก้ไขช่องโหว่ ในกรณีที่ไม่ได้เป็นความต้องการของหน่วยงาน การแก้ไขช่องโหว่ สามารถทำได้ โดย เพิ่ม Function ในการเปลี่ยน Password ทำการตั้งค่า Session timeout เมื่อไม่มีการใช้งานตามเวลาที่เหมาะสม และตั้งค่าให้ Account ถูก Lock ไว้เมื่อมีการใส่ Password ผิดครบตามจำนวนครั้งที่กำหนด ทำการปลดล็อคอัตโนมัติเมื่อถึงเวลาที่กำหนด หรือสามารถปลดล็อคโดยผู้พัฒนาระบบเท่านั้น ในกรณีที่เป็นความต้องการของหน่วยงาน แนะนำให้แจ้งความเสี่ยง ผลกระทบดังกล่าวให้กับหน่วยงานหรือผู้ใช้งานทราบ เนื่องจากผู้ใช้งานอาจไม่ได้ตระหนักถึงความมั่นคงปลอดภัยในการใช้งานระบบทะเบียน

จากช่องโหว่ที่ค้นพบจำนวน 7 รายการ ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น ผู้วิจัยได้ทำการสรุประดับความรุนแรงและระดับคะแนนซีวีเอสเอส ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุประดับความรุนแรงและระดับคะแนนซีวีเอสเอส

ลำดับที่	รายการช่องโหว่ที่ตรวจค้นพบ	ระดับความเสี่ยง
1	Unauthorized Access Data (Missing Function Level Access Control)	High
2	Weak cipher suite algorithm	High
3	Username Password via GET Method	High
4	jQuery old version	Medium
5	HTTP Method Allowed	Medium
6	Application Technical Error And Information Disclosure	Medium
7	Missing Basic Function	Information

### อภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการประเมินช่องโหว่เว็บไซต์ระบบงานทะเบียนนักศึกษา โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน Open Web Application Security Project - OWASP Top 10 ประจำปี 2564 โดยใช้เครื่องมือที่เป็น OpenSource และเครื่องมือจากเว็บไซต์ของนักพัฒนาซอฟต์แวร์ ที่มีการเปิดเผยรายละเอียดช่องโหว่ของซอฟต์แวร์เวอร์ชันต่างๆ ผลจากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงช่องโหว่ของระบบงานนักศึกษาที่สามารถสรุปประเด็นได้ ดังนี้ 1) การใช้ชุดคำสั่งหรือไลบรารีที่ไม่ได้มีการปรับปรุงเวอร์ชันให้ทันสมัย ส่งผลกระทบทำให้ผู้ที่ไม่หวังดีสามารถเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลได้โดยไม่ต้องล็อกอินเข้าระบบ 2) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ในการรับส่งข้อมูลที่สำคัญที่ผิดพลาด ส่งผลกระทบที่จะทำให้ผู้ไม่หวังดีสามารถดักจับและอ่านข้อความนั้นได้ 3) การใช้ Cipher ที่ไม่แข็งแกร่งส่งผลกระทบที่ทำให้เกิดการโจมตีโดยบุคคลที่อยู่ตรงกลาง 4) ผลการกระทบจากความต้องการทางธุรกิจเช่น ไม่มีหน้าเปลี่ยน password หรือตัวระบบไม่จำกัดจำนวนครั้งที่ใช้ในการ Login ในกรณีที่ผู้ใช้งานใส่รหัสผ่านผิดก่อให้เกิดการโจมตีแบบคาดเดารหัสผ่าน (Brute Force) ซึ่งช่องโหว่ดังกล่าวสามารถแก้ไขให้ระบบมีความมั่นคงปลอดภัยมากขึ้นได้โดยการทำตามคำแนะนำจากเว็บไซต์ของนักพัฒนาชุดคำสั่งและจากรายงานการประเมินช่องโหว่

ในการหาช่องโหว่และการประเมินความเสี่ยงของระบบที่ศึกษานั้น มีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับที่ไม่น้อยไปกว่าการประเมินในลักษณะเดียวกับงานศึกษาวิจัยอื่น โดยโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานนั้นได้รับการพัฒนาและอัปเดตเวอร์ชันการใช้งานอย่างต่อเนื่องจนมีความสามารถที่จะตรวจจับความผิดปกติของระบบได้อย่างแม่นยำกว่าโปรแกรม Acunetix ในลักษณะเดียวกันกับงานศึกษาอื่นในอดีต (พัชรวัฒน์ และชัยพร, 2563; ณ์ชนภัทร และชัยพร, 2560)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

#### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักส่งเสริมและงานทะเบียน ที่สนับสนุนข้อมูลระบบงานทะเบียนนักศึกษาในการทำวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ งานพัฒนาระบบเครือข่าย สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้ความช่วยเหลือในการติดตั้งระบบและเป็นที่พักวิชา และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาที่คอยเป็นกำลังใจให้มาโดยตลอด คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- ณัชนภัทร ใจจดทน. (2560). การประเมินค่าช่องโหว่ของเว็บไซต์และการป้องกัน กรณีศึกษาเว็บไซต์, กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ. สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- ณัชนภัทร ใจจดทน และชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2560). การประเมินค่าช่องโหว่ของเว็บไซต์และการป้องกัน กรณีศึกษาเว็บไซต์. กรมควบคุมการปฏิบัติทางอากาศ. [Online]. Available : <https://cite.dpu.ac.th/ct/upload/content/filesณัชนภัทร%20%20ใจจดทน%20CT58.pdf> [2566, พฤษภาคม 16].
- พัชรวัฒน์ โกสิตงามตึงค์ และชัยพร เขมะภาคะพันธ์. (2563). การประเมินช่องโหว่ระบบบริหารจัดการทางการแพทย์ กรณีศึกษา โรงพยาบาลภูมิพลอดุลยเดช กรมแพทย์ทหารอากาศ. วารสารบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 9(1), 1-17.
- ศิริขวัญ ศิริพิทักษ์รักษ์. (2559). เครื่องมือช่วยประเมินช่องโหว่ด้านความมั่นคงเพื่อยกระดับเวอร์ชันของซอฟต์แวร์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกชัย พ่วงพรพิทักษ์. (2565). การพัฒนาแนวทางการสืบสวนอาชญากรรมทางไซเบอร์ต่อบริการธนาคารอิเล็กทรอนิกส์ และวิเคราะห์เทคนิคเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อสร้างต้นแบบที่เสริมสร้างความมั่นคง. รายงานการวิจัย กรมสอบสวนคดีพิเศษ กระทรวงยุติธรรม.
- Extosoft Company. (2563). ค้นหาเป้าหมายที่เราต้องการจะโจมตี หรือเจาะระบบ โดยใช้ Nmap (“Network Mapper”). [Online]. Available : <https://medium.com/extosoft/ค้นหาเป้าหมายที่เราต้องการจะโจมตี-หรือเจาะระบบ-โดยใช้-nmap-network-mapper-62ed41df940c> [2566, พฤษภาคม 16].
- Mera Saulaiman, Márta Takács, Miklos Kozlovszky & Akos Csilling. (2021). Fuzzy model for common vulnerability scoring system. [Online]. Available : <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9465614/authors#authors> [2566, May 16].
- Urshila Ravindran & Raghu Vamsi Potukuchi. (2022). A review on web application vulnerability assessment and penetration testing, *Review of computer engineering Studies*, 9(1), 1-22.







การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิตและแนวทางการลดพลังงานในกระบวนการผลิตหินปูน  
ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

Analysis of Specific Energy Consumption and Energy Reduction Approach for  
Limestone Production in Mae Moh Power Plant

ประกอบ ประมะ\*

Prakob Parama

พุทธิ อุบลสุข\*\*

Putthadee Ubolsook

ธนวรกฤต โอสารณพร\*\*\*

Tanaworakit Orantanaporn

สุรัตน์ เศษโพธิ์\*\*\*\*

Surat Sedpho

Received : March 10, 2022

Revised : August 26, 2022

Accepted : February 17, 2023

บทคัดย่อ

โรงไฟฟ้าถ่านหินแม่เมาะ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง มีการผลิตหินปูนเพื่อใช้สำหรับการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงหลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ทำให้มีปริมาณการใช้หินปูนกว่าปีละ 1,296,941 ton โดยกระบวนการผลิตหินปูนทำในพื้นที่เหมืองหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งจะใช้เครื่องจักรที่มีการใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลและไฟฟ้าเป็นหลัก ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) ของกระบวนการผลิตหินปูน ประกอบด้วย การใช้พลังงานทางตรง

\*นักศึกษาลัทธิศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีสมาร์ตกริด

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Doctor of Philosophy Program in Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and Environment, University of Phayao e-mail: prakob.parama@gmail.com

\*\*อาจารย์ประจำสาขาวิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

Lecture in Environmental Science, Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

\*\*\*อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

Lecture in Faculty of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University

\*\*\*\*อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการพลังงานและเทคโนโลยีสมาร์ตกริด คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา

Lecture in Energy Management and Smart Grid Technology, School of Energy and Environment,

University of Phayao

และการใช้พลังงานทางอ้อมจากการขนส่งทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่า การผลิตหินปูน 1 ton มีค่า SEC เท่ากับ 78.31 MJ แบ่งเป็นการใช้พลังงานทางตรง 76.52 MJ และพลังงานทางอ้อม 1.79 MJ มาจาก 4 กระบวนการ คือ กระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน ใช้พลังงานจากน้ำมันดีเซลสำหรับเครื่องจักรหนักมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 48.01 ของพลังงานทั้งหมด กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และกระบวนการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า มีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.83, 12.05 และ 5.11 ของการใช้พลังงานทั้งหมดตามลำดับ สำหรับมาตรการการลดพลังงานที่สามารถทำได้ ปัจจุบันของเหมืองหินปูน คือ การลดอัตราหินป้อนย้อนกลับในกระบวนการบดย่อยและการลดเวลาการจอดรอของรถขนส่งจะสามารถลดค่า SEC ลงได้ 5.51 MJ ต่อ 1 ton-หินปูน หรือคิดเป็นร้อยละ 7.03 ของกระบวนการผลิตทั้งหมด

**คำสำคัญ :** การวิเคราะห์พลังงาน / การผลิตหินปูน / ประสิทธิภาพพลังงาน / พลังงานต่อหน่วยการผลิต

#### ABSTRACT

Mae Moh Coal Power Plant, Mae Moh District, Lampang Province produces and use limestone to remove sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) from coal combustion, 1,296,941 tons of limestone are used yearly. In the production process, machines are used energy mainly from diesel and electricity. Specific Energy Consumption (SEC) is used to analysis energy consumption in limestone production process including direct energy consumption and indirect energy consumption from the transportation of resources used in the production process. It was found that the production of 1 ton of limestone has an SEC value of 78.31 MJ, divided into direct energy consumption of 76.52 MJ and indirect energy of 1.79 MJ. The open-pit mining and quarrying processes consumed the most energy from the diesel use of the heavy machinery accounting for 48.01 percent of the total energy consumption entire the limestone production. Limestone crushing, dumping and transportation to power plant have a proportion of SEC accounted for 34.83, 12.05 and 5.11 percent of total energy consumption, respectively. Current energy-saving implementations for limestone quarry are including decrease stone feedback in the crushing process and reduce waiting time of transport vehicles. It was found that both implementations can reduce the SEC by 5.51 MJ or 7.03 percent of the total energy consumption entire process.

**Keywords :** Energy Analysis / Limestone Production / Energy Efficiency / Specific Energy Consumption

## บทนำ

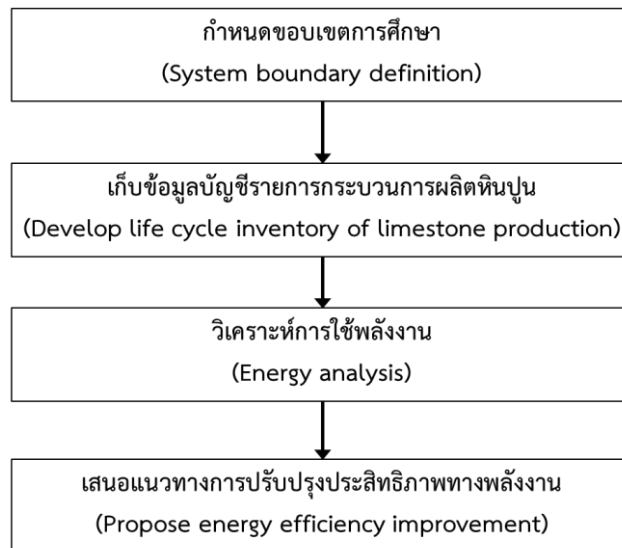
ไฟฟ้าจัดเป็นระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญในการดำเนินชีวิตและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจที่มีความต้องการใช้งานมากขึ้น ควบคู่ไปกับการพัฒนาประเทศ ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยส่วนใหญ่ยังคงใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลมากกว่าร้อยละ 70 (สำนักนโยบายและแผนพลังงาน, 2562) โดยเป็นเชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสัดส่วนราวร้อยละ 22 (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2564) การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ล้วนแต่ก่อให้เกิดมลพิษต่างๆ ทั้ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (NO<sub>2</sub>) รวมถึง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) ซึ่งเกิดมาจากการเผาไหม้ถ่านหินโดยโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหินลิกไนต์ ภายในพื้นที่ อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง ปัจจุบันมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 2,400 MW ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงปีละประมาณ 16 M-ton ซึ่งการเผาไหม้ถ่านหินที่ปราศจากการลด กำจัดหรือผ่านกระบวนการเคมีจะมีการปลดปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศและเมื่อรวมตัวกับไอน้ำจะทำให้เกิดเป็นฝนกรด ส่งผลกระทบต่อประชาชนรอบโรงไฟฟ้า ดังนั้นโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงได้ทำการติดตั้ง ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แยกก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกจากไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันปนอยู่ โดยระบบ FGD นี้จะใช้หินปูน (Calcium Carbonate, CaCO<sub>3</sub>) เป็นตัวดูดซับ (Absorbent) และจะได้ยิบซัม (Gypsum) เป็นผลผลิตตามมา ในแต่ละปีระบบ FGD มีความต้องการใช้หินปูนจำนวนมาก ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้มีพื้นที่ผลิตหินปูนที่เพียงพอให้ใช้ในระบบ FGD เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุที่หาง่ายและมีราคาถูก (สุภารัตน์ และคนอื่นๆ, 2557) ทำให้มีการใช้หินปูนทั้งในอุตสาหกรรมต่าง ๆ รวมถึงมีการใช้ในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ในแต่ละปีโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการใช้หินปูนราว 1,320,000 ton (Department of Primary Industries and Mines, 2018) ซึ่งเป็นการผลิตภายในพื้นที่ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยในกระบวนการผลิตหินปูน ประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน และ 4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า กระบวนการผลิตหินปูนแบบเปิดหน้าเหมืองนั้นจะมีการใช้เครื่องจักรหนักในการทำงาน เช่น รถเจาะ แบริดจ์ เป็นต้น จากนั้นมีการขนส่งเข้าโรงแต่งแร่ด้วยรถบรรทุกซึ่งส่วนแล้วแต่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงหลัก และในการบดย่อยให้ได้ขนาดตามความต้องการจะมีการใช้พลังงานจากไฟฟ้า ซึ่งการใช้พลังงานเหล่านี้ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Kittipongvises, S. & Polprasert, C., 2016; Attavanich, W., et al., 2019) นอกจากนี้ยังมีของเหลือทิ้งที่มาจากการผลิต มลภาวะต่างๆ ซึ่งผลกระทบเหล่านี้ไม่ได้เกิดเฉพาะในส่วนที่นำมาใช้งานเท่านั้น แต่ยังมีมาจากการขุดเจาะ ขนส่ง เพื่อนำแร่ธาตุต่างๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ลิกไนต์ หรือ หินปูน (Niyomthai, S. & Wattanawan, A., 2014) เหล่านี้มาใช้งาน ส่งผลให้สูญเสียทรัพยากรมากขึ้นไปอีกด้วยเช่นกัน

งานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการประเมินการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน ซึ่งเป็นทรัพยากรหลักในกระบวนการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตและเสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนกระบวนการเพื่อลดในการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด

ลำปาง โดยวิเคราะห์ในรูปแบบการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) จากการใช้พลังงานของทรัพยากรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ประกอบด้วย การใช้พลังงานทางตรง (Direct Energy Consumption) จากการใช้ น้ำมันและไฟฟ้า และการใช้พลังงานทางอ้อม (Indirect Energy Consumption) จากการผลิตทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิต แยกแต่ละกระบวนการย่อยเพื่อชี้จุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญพร้อมทั้งเสนอแนวทางในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตโดยใช้ค่า SEC เป็นเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) ในการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนซึ่งจะนำไปสู่การผลิตหินปูนที่มีประสิทธิภาพและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

### วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบแนวคิดสำหรับการวิจัยเพื่อประเมินการใช้พลังงานต่อหน่วยของกระบวนการผลิตหินปูนสำหรับเป็นข้อมูลสำคัญในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐาน (Benchmark) ในการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนในอนาคต โดยการศึกษาการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต ของการผลิตหินปูนของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง สำหรับใช้ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization; FGD) มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีดำเนินการดำเนินงานวิจัย

การกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต ในกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton โดยใช้ข้อมูลในรอบการผลิตหินปูน ปี พ.ศ. 2561 ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง การเก็บข้อมูลบัญชีรายการกระบวนการผลิตหินปูน โดยสารขาเข้าในกระบวนการผลิตประกอบด้วย ทรัพยากร พลังงาน สารขาออกประกอบด้วยหินปูนขนาดไม่เกิน 10 mm ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ใช้ป้อนในระบบ FGD ที่เกิดจากการผลิตหินปูน 4 กระบวนการ ดังนี้

1. การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน เจาะหลุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว เพื่อบรรจุวัตถุระเบิดและจี้ระเบิดหินปูนหน้างาน หินปูนที่ได้จากการระเบิดจะต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 80 cm หากเกินกว่านี้จะใช้รถแบคโฮติดเบรกเกอร์ (Hydraulic Breaker) ทบย่อยหินปูนให้มีขนาดเหมาะสมตามกำหนด

2. กระบวนการขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่หินปูนที่ได้จากการระเบิดและทบย่อยจากกระบวนการข้อที่ 1 จะถูกขุดและตักใส่รถบรรทุก 10 ล้อ โดยรถแบคโฮ และขนส่งจากหน้าเหมืองไปยังโรงแต่งแร่

3. กระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน เมื่อหินปูนจากหน้าเหมืองมายังโรงแต่งแร่ ขนาดกำลังการผลิต 360 ton/hr./station หินปูนจะถูกลำเลียงโดยสายพานเพื่อเข้าเครื่องบดย่อยหินปูนชั้นที่ 1 ซึ่งหินปูนที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน 150 mm หลังจากนั้นจะส่งเข้าเครื่อง Vibrating Grizzly Feeder เพื่อบดย่อยให้มีขนาดเล็กกว่า 25 mm และบดย่อยชั้นสุดท้ายให้มีขนาดเล็กกว่า 10 mm สำหรับเศษหินปูนที่ไม่เป็นไปตามกำหนดจะถูกส่งไปกองรวมกันที่อุโมงค์รับหินใหญ่เพื่อรอกำจัดต่อไป

4. กระบวนการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า หินปูนที่มีขนาดเล็กกว่า 10 mm จะถูกลำเลียงโดยสายพานเข้าสู่เครื่องโพรยแร่ (Stacker) ทำกองเพื่อเตรียมการลำเลียงโดยสายพานป้อนเข้าสู่ไซโลรอการบรรจุลงรถบรรทุกเพื่อขนส่งไปใช้ในระบบ FGD ของโรงไฟฟ้าแม่เกาะต่อไป

การวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) เป็นค่าที่สะท้อนถึงการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพทางพลังงานของกระบวนการผลิต โดยทั่วไปค่า SEC สามารถคำนวณได้จากปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหน่วยการผลิต โดยประเมินการใช้ทรัพยากรที่เป็นพลังงานโดยตรง (Direct Energy Consumption; ED) เช่น ไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น (Srimod, P. & Promwattanapakdee, T., 2015) (วิจิตร และคนอื่นๆ, 2562) แต่ไม่ได้รวมถึงพลังงานทางอ้อม (Indirect Energy Consumption; EI) จากการขนส่ง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิตจาก 2 ส่วน คือ การใช้พลังงานทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (1) (พศรีวีร์ และ ธนภัทร, 2558)

$$SEC = \sum_i (ED_i + EI_i) \tag{1}$$

โดยที่

$SEC$	คือ	ค่าพลังงานการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ของทรัพยากร $i$ (MJ/Unit)
$ED_i$	คือ	ค่าพลังงานทางตรงที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร $i$ (MJ/Unit)
$EI_i$	คือ	ค่าพลังงานทางอ้อมที่ใช้ในการผลิตของทรัพยากร $i$ (MJ/Unit)

ค่าพลังงานทางตรงสามารถหาได้จากปริมาณพลังงานของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตคูณกับค่าพลังงานจำเพาะของทรัพยากรนั้น ๆ ส่วนพลังงานทางอ้อมสามารถหาได้จากการนำปริมาณของทรัพยากรที่ใช้คูณกับค่าพลังงานในการขนส่งทรัพยากรนั้น ๆ เช่นกัน ซึ่งพลังงานดังกล่าวได้จากฐานข้อมูล Ecoinvent ในโปรแกรม

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

สำเร็จรูป SimaPro 9.0 (Ecoinvent, 2014) และวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญและหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

## ผลการศึกษา

การวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและพลังงานต่อหน่วย

ข้อมูลการผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนภายในพื้นที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะในปี พ.ศ. 2561 จาก 4 กระบวนการ มีผลการศึกษาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารขาเข้า-สารขาออกในกระบวนการผลิตหินปูนปี พ.ศ. 2561

สารขาเข้า			กระบวนการ	สารขาออก		
รายการ	ปริมาณ	หน่วย		รายการ	ปริมาณ	หน่วย
พื้นที่เปิดหน้าเหมือง	150,579.56	m <sup>2</sup>	1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	เศษหินจากการเปิด	694,271.778	ton
วัตถุระเบิดแรงสูง	11,620.00	kg		หน้าเหมือง		
แอมโมเนียมไนเตรด	194,970.00	kg		หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton
แก๊บไฟฟ้า (ทองแดง)	43,480.65	kg				
น้ำมันดีเซล (ผสมระเบิด)	10,561.00	l				
น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	722,002.00	l				
น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l				
			2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	เศษหิน รากไม้	498,432.95	ton
น้ำรดถนน	150,579.56	m <sup>3</sup>		หินปูนขนาด 60-80	1,431,100.00	ton
น้ำมันดีเซล	292,409.00	l		mm.		
น้ำมันหล่อลื่น	11,195.45	l				
หิน (เข้าโรงแต่งแร่)	1,929,532.95	ton				
			3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	หิน Waste	122,881.60	ton
น้ำใช้ในโรงโม่	62,266.00	m <sup>3</sup>		หิน Reject	11,277.30	ton
ไฟฟ้า	3,312,160.00	kWh		หินปูนขนาด 10	1,296,941.10	ton
จารบี	1,961.00	kg		mm.		
หินปูนขนาด 60-80 mm.	1,431,100.00	ton				
			4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	หินปูน 10 mm.	122,761.53	ton
น้ำมันดีเซล	123,978.00	l		(เก็บในไซโล)		
จารบี	1,922.42	kg		หินปูน 10 mm.	1,174,179.57	ton
หินปูนขนาด 10 mm.	1,296,941.10	ton		(ส่ง FGD)		

ในปี พ.ศ. 2561 เหมืองผลิตหินปูนต้องใช้หินปูน 1,929,532.95 ton เพื่อผลิตหินปูนขนาด 10 mm ให้ได้ 1,296,941.10 ton โดยจากการวิเคราะห์แยกกระบวนการ พบว่า กระบวนการ 1) เป็นกระบวนการหลักที่มีการใช้ทรัพยากรจากน้ำมันดีเซลมากที่สุดถึง 732,563 l คิดเป็นร้อยละ 63.75 ของการใช้น้ำมันดีเซล

ทั้งหมด ลำดับถัดมาคือกระบวนการ 2) และ 4) มีการใช้น้ำมันดีเซลร้อยละ 25.46 และ 10.79 ตามลำดับ สำหรับการไฟฟ้าจะใช้ในกระบวนการ 3) เพียงกระบวนการเดียว โดยมีปริมาณ มากถึง 3,312,160 kWh หรือ คิดเป็นอัตราการไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตเป็น 2.55 kWh/tonหินปูน ซึ่งเป็นการใช้ในเครื่องบดย่อยหินปูน นอกจากนี้จะมีการใช้ทรัพยากรอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น วัสดุระเบิดแรงสูง แอมโมเนียมไนเตรต แก๊บไฟฟ้า น้ำมันหล่อลื่น และจารบี

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพทางพลังงานด้วย SEC จะทำการวิเคราะห์เพื่อหาจุดที่มีค่าการใช้พลังงาน อย่างมีนัยสำคัญที่จะนำไปสู่การการแสดงผลการใช้พลังงานอย่างในแต่ละกระบวนการ ซึ่งค่าพลังงานในการผลิต หินปูนขนาด 10 mm ปริมาณ 1 ton แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานจากการใช้ทรัพยากรในการผลิตหินปูน 1 ton ของรอบการผลิตปี พ.ศ. 2561

กระบวนการผลิต	รายการ	พลังงานทางตรง		พลังงานทางอ้อม		SEC	
		LCI*		LCI*		SEC	
		(Unit/ton)	(MJ)	(Unit/ton)	(MJ)	(MJ)	%
1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	วัสดุระเบิดแรงสูง	8.96E-03	0.57	1.00E-05	0.03	0.60	0.77
	แอมโมเนียมไนเตรต	0.15	9.72	1.50E-04	0.29	10.01	12.78
	แก๊บไฟฟ้า (ทองแดง)	0.03	3.25	3.00E-05	0.10	3.35	4.28
	น้ำมันดีเซล (สำหรับผสมระเบิด)	8.14E-03	0.32	1.00E-05	0.01	0.33	0.42
	น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร)	0.56	21.72	4.50E-04	0.85	22.57	28.82
	น้ำมันหล่อลื่น	8.63E-03	0.72	1.00E-05	0.01	0.74	0.94
	<b>ผลรวมพลังงานกระบวนการ 1</b>		<b>36.30</b>		<b>1.29</b>	<b>37.59</b>	<b>48.01</b>
2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	น้ำมันดีเซล	0.23	8.80	1.00E-05	0.34	9.14	11.67
	น้ำมันหล่อลื่น	3.50E-03	0.29	1.50E-04	0.01	0.30	0.38
	<b>ผลรวมพลังงานกระบวนการ 2</b>		<b>9.09</b>		<b>0.35</b>	<b>9.44</b>	<b>12.05</b>
3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	ไฟฟ้า	2.55	27.15	2.55382	-	27.15	34.67
	จารบี	1.51E-03	0.13	1.40E-06	2.60E-03	0.13	0.17
	<b>ผลรวมพลังงานกระบวนการ 3</b>		<b>27.27</b>		<b>2.60E-03</b>	<b>27.28</b>	<b>34.84</b>
4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	น้ำมันดีเซล	0.10	3.73	8.00E-05	0.15	3.88	4.95
	จารบี	1.48E-03	0.12	1.30E-06	2.55E-03	0.13	0.16
	<b>ผลรวมพลังงานกระบวนการ 4</b>		<b>3.85</b>		<b>0.15</b>	<b>4.00</b>	<b>5.11</b>
<b>ผลรวมพลังงาน</b>			<b>76.52</b>		<b>1.79</b>	<b>78.31</b>	<b>100.00</b>

หมายเหตุ: \*LCI (Life Cycle Inventory) คือ ปริมาณทรัพยากรที่ใช้ต่อการผลิตหินปูน 1 ton

ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ โดยพบว่ามาจากการใช้พลังงานทางตรงเท่ากับ 76.52 MJ คิดเป็นร้อยละ 97.71 และมาจากพลังงานทางอ้อมเท่ากับ 1.79 MJ คิดเป็นร้อยละ 2.29 จะเห็นได้ว่ามีการใช้พลังงานจากทางตรงเป็นหลัก กระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิด



พื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหินมีการใช้พลังงาน 37.59 MJ รองลงมาคือการบดย่อยและการคัดแยก หินปูน ใช้พลังงาน 27.28 MJ การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้าใช้พลังงาน 9.44 MJ และการขนส่งหินเข้าโรงแต่ง แร่ใช้พลังงาน 4.00 MJ เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานแยกรายทรัพยากร พบว่า พลังงานในการใช้ไฟฟ้าของ กระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน 27.15 MJ มีค่ามากที่สุด ลำดับถัดมาคือ พลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซล (เครื่องจักร) ในกระบวนการ 1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน 21.72 MJ และ ลำดับที่ 3 คือ พลังงานจากการใช้แอมโมเนียมไนเตรต 9.72 MJ ในกระบวนการ 1) เช่นเดียวกัน

แนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตหินปูน

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดย SEC พบว่า กิจกรรมที่ทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานและเหมืองผลิตหินปูนสามารถดำเนินการลดการใช้พลังงาน ได้แก่ การใช้ไฟฟ้าในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยก หินปูน การใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องจักรในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน และการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า โดยแนวทางในการลดการใช้พลังงานของกิจกรรมต่าง ๆ แสดงดัง ตารางที่ 3 และผลของการดำเนินกิจกรรมการลดการใช้พลังงานแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 แนวทางการลดการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูน

กระบวนการ	กิจกรรม	ปัญหาและแนวทางการแก้ไข
การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	การใช้น้ำมันดีเซล	ในการขนส่งหินขนาด 10 mm. จากไซโลไปยังระบบ FGD ต้องใช้รถบรรทุกโดยมีขนาด 25 ton (อัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 12 l) ซึ่งรถบรรทุกต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 30 นาที ทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง แนวทางการลดการจอดรอของรถขนส่งหินให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 7,600 l/yr.
การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	การใช้น้ำมันดีเซล	การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จะใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 25 ton (น้ำหนักบรรทุกหินจริง 22.5 ton) ในการขนส่งหินที่ขุดเจาะได้เข้าโรงแต่ง พบว่า ในปี 2561 มีการขนส่งหินทั้งหมดปริมาณกว่า 1,929,532 ton และมีจำนวนการขนส่งหินมากกว่า 85,758 เที่ยว โดยรถขนส่งหินนั้นจะต้องมีการจอดรอเฉลี่ย 20 นาที ซึ่งเหมือนได้มีการบริหารจัดการการเดินทางและมีเป้าหมายในการลดเวลาจอดรอให้เหลือไม่เกิน 10 นาที โดยการจัดการคิวรถให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถลดการใช้น้ำมันดีเซลลงได้ประมาณ 85,758 l/yr.
การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	การใช้ไฟฟ้า	อัตราหินที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ (ขนาดใหญ่กว่า 10 mm.) ของรอบการผลิตปี 2561 มีอัตราหินป้อนย้อนกลับ (Return) ร้อยละ 30 -40 เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของค้อนบดย่อยลดลงเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยอย่างสม่ำเสมอ ควบคุมการอัตราหินป้อนย้อนกลับ ให้อยู่ในระดับร้อยละ 20 - 25 จะทำให้สามารถลดการใช้ไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต จาก 2.55 kWh/ton เหลือเพียง 2.30 kWh/ton

ตารางที่ 4 ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูนก่อนและหลังลดการใช้พลังงาน

กระบวนการ	SEC		
	ก่อน ลดการใช้พลังงาน (MJ)	หลัง ลดการใช้พลังงาน (MJ)	อัตราการลด* (%)
1) การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน	37.59	37.59	-
2) การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่	9.44	6.86	27.33%
3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน	27.28	24.58	9.89%
4) การขนส่งหินปูนเข้าสู่โรงไฟฟ้า	4.00	3.77	5.75%
<b>รวม</b>	<b>78.31</b>	<b>72.80</b>	<b>7.03%</b>

\*เป็นอัตราการลดเทียบกับค่าเดิมของกระบวนการนั้นๆ

เมื่อมีการปรับปรุงการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตหินปูนทั้ง 3 กระบวนการ พบว่า กระบวนการผลิตหินปูนมีค่า SEC ลดลงจาก 78.31 MJ เหลือ 72.80 MJ คิดเป็นร้อยละ 7.03 โดยในกระบวนการ 2) เมื่อลดการจอดรอของรถขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่จาก 20 นาที ให้เหลือระยะเวลาจอดรอไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 27.33 เช่นเดียวกับกับกระบวนการ 4) หากบริหารเวลาสำหรับการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้าให้ลดการจอดรอจาก 30 นาที ให้ไม่เกิน 10 นาที สามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 5.75 สำหรับกระบวนการ 3) การบดย่อยและการคัดแยกหินปูน ควรมีการบำรุงรักษาค้อนบดย่อยให้ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพจะทำให้ลดอัตราหินปูนย้อนกลับและสามารถลดอัตราการใช้พลังงานลงได้ถึงร้อยละ 9.89

### อภิปรายผล

การวิเคราะห์การผลิตหินปูนของเหมืองหินปูนด้วยการวิเคราะห์พลังงานต่อหน่วยการผลิต (Specific Energy Consumption; SEC) พบว่า ค่า SEC ของกระบวนการผลิตหินปูน 1 ton มีค่าเท่ากับ 78.31 MJ มีการใช้พลังงานทางตรงมากถึงร้อยละ 97.71 ส่วนพลังงานทางอ้อมร้อยละ 2.29 โดยค่าพลังงานรวมของการศึกษานี้เมื่อมีค่าใกล้เคียงกับการวิจัยของ (Kittipongvises, S., 2017) ที่ทำการศึกษากลยุทธ์ทางสิ่งแวดล้อมจากการระเบิดหินปูนในประเทศไทย ในปริมาณ 1 ton ต้องการพลังงาน 79.60 MJ โดยกระบวนการที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด คือ การเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน มีการใช้พลังงานร้อยละ 48.01 การบดย่อย การขนส่งหินเข้าโรงแต่งแร่ และการขนส่งหินปูนเข้าโรงไฟฟ้า มีการใช้พลังงานคิดเป็นร้อยละ 34.84, 12.05 และ 5.11 ตามลำดับ ส่วนทรัพยากรที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดในกระบวนการบดย่อยและการคัดแยกหินปูน คือ การใช้ไฟฟ้า คิดเป็นร้อยละ 34.67 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ (Liu, F., et al., 2015) ที่ศึกษาการใช้พลังงานในการผลิตหินปูนพบว่าไฟฟ้าเป็นพลังงานที่ใช้ในกระบวนการมากที่สุดเช่นกัน

มาตรการการลดการใช้พลังงานที่ตรงประเด็น คือ การลดการใช้พลังงานในกระบวนการเปิดพื้นที่ทำเหมืองและการเจาะระเบิดหิน แต่เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สามารถควบคุมการทำงานได้ยากและกิจกรรมต่างๆ ขึ้นอยู่กับสภาพพื้นที่เป็นหลัก ดังนั้น มาตรการการลดการใช้พลังงานที่เหมาะสม คือ การลดหินป้อนกลับในกระบวนการบดย่อยเพื่อลดการใช้ไฟฟ้าและการลดเวลาการรอของรถขนส่งเพื่อลดการใช้น้ำมันดีเซล พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานของกระบวนการได้มากถึงร้อยละ 7.03 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการในขนาดผู้ผลิตหินปูนสามารถใช้ค่า SEC ตั้งเป็นเกณฑ์เป้าหมาย (Benchmark) สำหรับลดการใช้พลังงานในกระบวนการย่อยต่างๆ รวมถึงตลอดกระบวนการผลิตได้ เพื่อให้การผลิตหินปูนมีประสิทธิภาพทางพลังงานสูงขึ้น ลดต้นทุน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง

#### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ทำวิจัย ขอขอบพระคุณ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) แม่เมาะ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2564. [Online]. Available : <http://www.gat.co.th/index.php>. [2564, สิงหาคม 15].
- นโยบายและแผนพลังงาน, สำนัก. (2558). รายงานสถิติการใช้พลังงานของประเทศไทย 2558. กรุงเทพฯ : กระทรวงพลังงาน.
- พศวีร์ ศรีโหมด และธนภัทร พรหมวัฒน์ภักดี. (2558). การวิเคราะห์หัตถ์ชันการใช้พลังงานในอาคารเรียนของ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. ในการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ครั้งที่ 10. วันที่ 22 ธันวาคม 2558(หน้า 1137-1145). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- วิจิตร ไสยาศรี, พงศกร คชาพงศ์กุล และชานนท์ บุญมีพิพิธ. (2562). ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก. ใน การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ครั้งที่ 4 และการประชุมระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 1. วันที่ 26-28 มิถุนายน 2562(หน้า 1-12). กรุงเทพฯ : โรงแรมรอยัลริเวอร์.
- สุดารัตน์ ผาสุกโก นินพธั ดังคณานุรักษ์ และคณิตา ดังคณานุรักษ์. (2557). การบำบัดน้ำเสียของโรงงานข้าวแคบ ด้วยการลดความเป็นกรดโดยใช้หินปูนและการบำบัดแบบธรรมชาติ ของโครงการศึกษาวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 14(3), 12-23.
- Attavanich, W., Chantararat, S., Chenphuengpaw, J., Mahasuweerachai, P., & Thampanishvong, K. (2019). Farms, Farmers and Farming: a Perspective through Data and Behavioral Insights. [Online]. Available : [https://www.pier.or.th/wp-content/uploads/2019/09/paper2\\_paper\\_Sommarat-Jirath-Phumsit-Witsanu-Kannika.pdf](https://www.pier.or.th/wp-content/uploads/2019/09/paper2_paper_Sommarat-Jirath-Phumsit-Witsanu-Kannika.pdf) [2021, August 15].
- Department of Primary Industries and Mines. (2019). Mineral Statistics of Thailand 2014-2018. [Online]. Available : <http://www1.dpim.go.th/dt/pper/000001567147580.pdf> [2021, August 15].
- Ecoinvent. (2014). Ecoinvent V 3.1 Database. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Kittipongvises, S. & Polprasert, C. (2016). GHGs Emissions and Sustainable Solid Waste Management. [Online]. Available : [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-0150-5\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-0150-5_3) [2021, August 15].
- Kittipongvises, S. (2017). Assessment of Environmental Impacts of Limestone Quarrying Operations in Thailand. Environmental and Climate Technologies, 20(20), 67-83.
- Liu, F., Cai, Q., Chen, S. & Zhou, W. (2015). A comparison of the energy consumption and carbon emissions for different modes of transportation in open-cut coal mines. International Journal of Mining Science and Technology, 25(2), 261-266.

- Niyomthai, S. & Wattanawan, A. (2014). Sustainable Mining in Thailand : Paradigm Shift in Environmental Management. **Applied Environmental Research**, 36(1), 55-63.
- Pasukko, S., Tungkananuruk, N. & Tungkananuruk, K. (2014). Wastewater Treatment of Khaew Kaeb Factory by Deacidification Using Limestone and The Natural Treatment of The King's Royally Initiated Laem Phak Bia Environmental Research and Development Project. **KKU Research Journal**, 14(3), 12-23.
- Srimod, P. & Promwattanapakdee, T. (2015). Specific Energy Consumption Analysis in Lecture Building Sripatum University. In **10<sup>th</sup> International and National Sripatum University. 22 December 2015**(pp.1137-1145). Bangkok : Sripatum University.



ประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าวและแกลบข้าวที่ถูกปรับปรุงด้วยกรด  
Adsorption Efficiency of Cyanide by Rice Husk and Acid Modified Rice Husk

นภดล ศรีหิรัญ\*

Noppadon Srihirun

คณิตา ตั้งคณานุรักษ์\*\*

Kanita Tungkananruk

วัชรพงษ์ วาระรัมย์\*\*

Watcharapong Wararam

Received : November 1, 2022

Revised : February 24, 2023

Accepted : March 25, 2023

บทคัดย่อ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของแกลบข้าว และแกลบข้าวที่ถูกปรับปรุงเป็นวัสดุดูดซับในการกำจัดไซยาไนด์ในสารละลายสังเคราะห์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ ได้แก่ ประเภทตัวดูดซับ ความเข้มข้นของสารละลายไซยาไนด์ ปริมาณตัวดูดซับ ค่า pH และระยะเวลาสัมผัส และนำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 5 และระยะเวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง พบว่าแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์เท่ากับ 42.01 และ 95.03 ความจุการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ เท่ากับ 0.90 และ 1.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การศึกษาดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนัมเบอร์) เท่ากับ 620 และ 840 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การศึกษาจลนศาสตร์ของกลไกการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับ Pseudo-second order model และไอโซเทอร์มการดูดซับสอดคล้องกับสมการแลงเมียร์ พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ค่าร้อยละของการดูดซับไซยาไนด์เท่ากับ 40.90 และ 91.79 ตามลำดับ ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีคุณลักษณะที่ดีในการเป็นตัวดูดซับ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอีกด้วย

คำสำคัญ : ไซยาไนด์/ แกลบข้าว/ การดูดซับ

\*นักศึกษาลัทธิสุตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Students of Environmental Science Faculty of Environmental Kasetsart University

e-mail: nop.srihirun@gmail.com

\*\*อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Lecturer in Environmental Science Faculty of Environmental Kasetsart University

### ABSTRACT

The efficiency of rice husk and acid modified rice husk as sorbent for cyanide removal in solution was studied. The adsorption study was performed in aqueous solution. The factors of adsorption including activated rice husk by various acids concentration of  $CN^-$  solution, quantity of adsorbents, volume of adsorbents, pH and contact time and the application was the removal of cyanide in industrial wastewater, it was found the optimum condition of that adsorption of rice husk (RH) and modified rice husk by HCl (HCl-RH) was adsorbent dose of 0.1 g, initial cyanide concentration of 0.05 mg/L at pH 5 and contact time of 72 hour. The cyanide adsorption percentages were 42.01 and 95.03. The adsorption capacity of cyanide were 0.90 and 1.92 mg  $L^{-1}$  respectively. The adsorption capacity of iodine were 620 and 840 mg/g respectively. The kinetics modeling of adsorption of both adsorbents were corresponds to Pseudo-second order model and adsorption isotherm were consistent with the Langmuir isotherm. The cyanide removal percentages of RH and HCl-RH in the industrial wastewater were 40.90 and 91.79 respectively. The results demonstrated rice husks have a good characteristic as adsorbent and adding value to agricultural waste material.

**Keywords :** Cyanide / Rice Husk / Adsorption

### บทนำ

ไซยาไนด์ (cyanide) เป็นชื่อเรียกกลุ่มสารประกอบที่ประกอบด้วยคาร์บอน (Carbon: C) 1 อะตอมและไนโตรเจน (Nitrogen: N) 1 อะตอม เป็นสารเคมีที่สามารถเกิดขึ้นเองจากการทำปฏิกิริยาของสารเคมีต่างๆ ในธรรมชาติหรือจากการขับถ่ายของเสียหรือจากการสลายตัวของสารประกอบบางชนิดในธรรมชาติโดยจุลินทรีย์พืช และสัตว์ (Newmon, 2012) แต่การปนเปื้อนไซยาไนด์ในสิ่งแวดล้อมส่วนมากมาจากการใช้สารประกอบไซยาไนด์ในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานเคลือบสีโลหะด้วยไฟฟ้า (electroplating) โรงงานสกัดทองคำ โรงงานผลิตสารฆ่าแมลง โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสี ฯลฯ (Rajesh, Abhinav & Chandrajit, 2009) โรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีการกำจัดไซยาไนด์ก่อนปล่อยน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม (Cope, 2016) โดยมาตรฐานของประเทศไทยกำหนดปริมาณไซยาไนด์สำหรับสัตว์น้ำจัดไว้ไม่เกิน 5.2 ไมโครกรัมต่อลิตร และสำหรับสัตว์น้ำเค็มและสัตว์ป่าไม่เกิน 1.0 ไมโครกรัมต่อลิตร มาตรฐานของประเทศไทยกำหนดปริมาณไซยาไนด์ในแหล่งน้ำเสีย/น้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดินไว้ไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Pollution Control Department, 2012) ทั้งนี้ ระบบบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย (Young & Jordan, 1995) ที่ยอมรับและใช้โดยทั่วไปเป็นการบำบัดไซยาไนด์ทางเคมี คือ การเติมสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ เพื่อรับอิเล็กตรอนจากไซยาไนด์และได้ไซยาเนทซึ่งมีความเป็นพิษที่น้อยกว่าไซยาไนด์เป็นผลจากปฏิกิริยา ตัวอย่างสารออกซิไดซ์ที่นิยมใช้ เช่น ออกซิเจน (Oxygen:  $O_2$ ), โอโซน (Ozone:  $O_3$ ), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogenperoxide:  $H_2O_2$ ), คลอรีน (Chlorine:  $Cl_2$ ), ไฮโปคลอไรต์

(Hypochlorite:  $\text{ClO}^3$ ) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphurdioxide:  $\text{SO}_2$ ) อย่างไรก็ตามการบำบัดไซยาไนด์ทางเคมีแม้ว่าจะเป็นวิธีการบำบัดที่ได้รับการยอมรับ แต่มีข้อเสียที่เด่นชัดคือ การใช้สารเคมีเป็นส่วนประกอบหลักในการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการบำบัด ทั้งยังเกิดการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาในน้ำเสียอีกด้วย จากผลกระทบที่รุนแรงของไซยาไนด์ในสิ่งแวดล้อมนำมาสู่การค้นคว้าวิจัยเพื่อหาแนวทางการบำบัดหลากหลายวิธี โดยการบำบัดที่นำสนใจอีกทางเลือก คือ การดูดซับ มีศึกษาการดูดซับไซยาไนด์ด้วยวัสดุต่างๆ กัน เช่น ใช้วัสดุดูดซับเชิงพาณิชย์ (Paula, et al., 2020) ใช้วัสดุเหลือใช้ภายในครัวเรือน อาทิ เปลือกไข่ (Ghorban & Alireza, 2018) วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร อาทิ เปลือกถั่วพิสตาชิโอ (Gholamreza & Rasoul, 2020)

โดยวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำสนใจอีกประเภท ได้แก่ แกลบข้าว (rice husk) แกลบข้าวเป็นเปลือกนอกของเมล็ดข้าวที่ได้จากการสีข้าว เป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ได้การผลิตข้าวสาร ซึ่งในอดีตไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก ต่างจากปัจจุบันที่ได้นำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ทำปุ๋ยพืช ใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและใช้เป็นวัสดุในการผลิตสิ่งก่อสร้างในโรงงานอุตสาหกรรม และที่สำคัญแกลบประกอบด้วยสารอินทรีย์ (เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า) และซิลิกาซึ่งจัดเป็นสารดูดซับ (Adsorbent) ที่ดีชนิดหนึ่ง โดยในองค์ประกอบของแกลบมีซิลิกาประมาณ 18.8-22.3 เปอร์เซ็นต์ (งามชื่น, 2546) ส่งผลให้แกลบมีความคงตัวทางเคมีทนทานต่อแรงกระทำและไม่ละลายน้ำถือเป็นคุณลักษณะที่ดีของตัวดูดซับ จึงนำไปศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสารมลพิษทางน้ำ ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำแกลบมาศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับในหลากหลายงานวิจัย อาทิ การดูดซับโครเมียม (VI) (Usman, et al., 2020) การดูดซับนิเกิล (Nitit, Panjai & Thayukorn, 2017) การดูดซับตะกั่ว (Pakkarada, 2019) และการดูดซับสี (Suchada, Hathairat & Prachart, 2017)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าแกลบข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีคุณลักษณะที่ดีในการเป็นตัวดูดซับ ซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบจัดเป็นสารดูดซับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาคูณลักษณะเฉพาะของแกลบที่มีการปรับสภาพเป็นตัวดูดซับในสถานะต่างกันเพื่อการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียอุตสาหกรรม เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร และศึกษาปัจจัยที่เหมาะสม รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของแกลบที่มีการปรับสภาพเป็นตัวดูดซับเพื่อใช้ในการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 1. การเตรียมตัวดูดซับจากแกลบข้าว

1.1 นำแกลบข้าว (Rice husk, RH) ล้างด้วยน้ำประปาแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง นำ มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเก็บใส่ตู้ดูดความชื้น

1.2 นำแกลบข้าวที่เตรียมได้จากข้อ 1.1 มาต้ม (Pakkarada, 2019) ในสารละลายกรด 5 ชนิดได้แก่ ไฮโดรคลอริก (HCl), กรดซัลฟิวริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ), กรดแอซติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส



(Nitit, Panjai & Thayukorn, 2017) ที่งัวไว้ให้เย็น และนำมาอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยไฮโดรคลอริก (Hydrochloric-Rice husk, HCL-RH) แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรดซัลฟิวริก (Sulfuric-Rice husk, S-RH) แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรดไนตริก (Nitric-Rice husk, HNO<sub>3</sub>-RH), แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรดแอซิติก (Acetic-Rice husk, A-RH), และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide Rice husk, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-RH), ที่งัวไว้ให้เย็น นำไปบดให้ละเอียดร่อนด้วยตะแกรงขนาด 120 mesh และเก็บใส่ตู้ดูดความชื้น

## 2. การศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์

นำตัวอย่างแกลบข้าวที่เตรียมได้มาวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายด้วยการทดลองแบบแบทช์ (batch) โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ตัวดูดซับแกลบข้าวที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดชนิดต่างๆ ได้แก่ (HCL-RH, S-RH, HNO<sub>3</sub>-RH, A-RH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-RH) ความเข้มข้นของสารละลาย ปริมาณตัวดูดซับ ค่า pH และระยะเวลาสัมผัส ดังนี้

### 2.1 ตัวดูดซับแกลบข้าวที่ถูกกระตุ้นด้วยกรด

ทำการศึกษานิตของตัวดูดซับแกลบข้าวที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับไซยาไนด์ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) ความเข้มข้น 10 ppm สำหรับใช้ในการศึกษา

2) ใช้ตัวดูดซับแกลบที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดทั้ง 5 ชนิด ปริมาณ 0.5 กรัม ใส่ลงในสารละลายข้อ 1) กวนด้วย Magnetic Bars ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 180 นาที กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณของไซยาไนด์ในสารละลายที่กรองได้ด้วยเครื่อง Segment Flow Automate Analyzer ยี่ห้อ SKALAR รุ่น SAN++ System ทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ย (mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของการดูดซับ (%) ดังสมการที่ (1) ทั้งนี้ จากการศึกษเบื้องต้นพบว่า แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCL (HCL-RH) เหมาะสมที่สุด จึงนำมาศึกษาในขั้นตอนถัดไป

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

เมื่อ  $C_0$  หมายถึง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_e$  หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลาย ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

### 2.2 ความเข้มข้นของสารละลาย

ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสม โดยกำหนดความเข้มข้นของสารละลายไซยาไนด์ที่ทำการศึกษา คือ 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 โดยใช้ตัวดูดซับแกลบที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดที่มีประสิทธิภาพของการดูดซับที่ดีที่สุดในช่วงข้อ 2.1

2.3 ปริมาณตัวดูดซับ

ทำการศึกษ ปริมาณตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยกำหนดปริมาณของตัวดูดซับที่ทำการศึกษ คือ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0 และ 3.0 กรัม ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.2 โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่มีร้อยละของการดูดซับที่ดีที่สุดข้อ 2.2

2.4 ค่า pH

ทำการศึกษค่า pH ที่เหมาะสมของตัวดูดซับ โดยช่วง pH ที่ศึกษ คือ 4-8 ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับแบบกลับที่มีร้อยละของการดูดซับที่ดีที่สุดข้อ 2.3

2.5 ระยะเวลาการดูดซับ

ทำการศึกษระยะเวลาการดูดซับ ได้แก่ 0.5, 1, 2, 3, 6, 9, 24, 72 และ 96 ชั่วโมง ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.4 โดยใช้ค่า pH ที่มีร้อยละของการดูดซับที่ดีที่สุดข้อ 2.4 และนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าความจุของการดูดซับ ดังสมการที่ (2)

$$q = \left( \frac{C_0 - C_e}{m} \right) \times V \tag{2}$$

เมื่อ q หมายถึง ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_0$  หมายถึง ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$C_e$  หมายถึง ความเข้มข้นของสารละลาย ณ สภาวะสมดุลของการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

m หมายถึง ปริมาณตัวดูดซับ (กรัม)

v หมายถึง ปริมาณของสารละลาย (มิลลิตร)

3. การศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

ศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับโดยการใช้แบบจำลอง pseudo-first order และ pseudo-second order ดังสมการ (3) และ (4) (Nitit, Panjai & Thayukorn, 2018; Suchada, Hathairat & Prachart, 2017)

โดยสมการ pseudo-first order เป็นสมการที่อธิบายภายใต้สมมติฐานของการดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า (Electrostatic interaction) ระหว่างผิวที่ดูดซับโมเลกุลกับตัวถูกดูดซับ แสดงดังสมการ

$$\log ( q_e - q_t ) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \tag{3}$$

เมื่อ  $k_1$  หมายถึง ค่าคงที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง (นาที่<sup>-1</sup>)

$q_t$  หมายถึง ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ ณ เวลาใดๆ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$q_e$  หมายถึง ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ ณ สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

t หมายถึง เวลาที่ใช้ในการดูดซับ (นาที่)

สมการ pseudo-second order เป็นสมการที่อธิบายภายใต้สมมติฐานการดูดซับของตัวดูดซับบนผิวตัวดูดซับที่เป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้า และเป็นการดูดซับทางเคมีที่มีผลมาจากตำแหน่งการเกิดปฏิกิริยา (active site) จากปฏิกิริยาการดูดซับ แสดงดังสมการ

$$\frac{1}{Q_0} = \frac{1}{Q_2} \frac{1}{Q_0^2} \left( \frac{1}{Q_0} \right) + \frac{1}{Q_0} \quad (4)$$

เมื่อ  $k_2$  หมายถึง ค่าคงตัวที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (มิลลิกรัมต่อกรัม-นาทึ)

#### 4. การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณตามแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich ดังสมการที่ (5) และ (6) (Nitit, Panjai & Thayukorn, 2018; Suchada, Hathairat & Prachart, 2017) ดังนี้

$$\frac{Q_0}{Q_0} = \frac{1}{Q_0} \frac{1}{Q_0} + \frac{Q_0}{Q_0} \quad (5)$$

เมื่อ  $q_e$  หมายถึง ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ ณ ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_e$  หมายถึง ความเข้มข้นหลังจากเข้าสู่ภาวะสมดุลของสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$K_L$  หมายถึง ค่าคงที่ Langmuir (ลิตรต่อมิลลิกรัม)

$q_m$  หมายถึง ความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่เกิดขึ้นแบบขั้นเดียว (มิลลิกรัมต่อลิตร)

$$\log Q_0 = \log Q_0 + \frac{1}{Q_0} \log Q_0 \quad (6)$$

เมื่อ  $q_e$  หมายถึง ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับ ณ ภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$\frac{1}{Q_0}$  หมายถึง ความเข้มข้นของการดูดซับ

$K_f$  หมายถึง ค่าคงที่ Freundlich (มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_e$  หมายถึง ความเข้มข้นหลังจากเข้าสู่ภาวะสมดุลของสารที่ถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

#### 5. ศึกษาการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนมเบอร์)

ศึกษาการดูดซับไอโอดีน (Katsiri, 2008) โดยชั่งตัวดูดซับแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) 1.0 กรัม เติมด้วยสารละลาย HCl เข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก 10 มิลลิลิตร แล้วต้มให้เดือด 30 วินาที และเติมสารละลายไอโอดีน 0.10 โมล 100 มิลลิลิตร นำเข้าเครื่องเขย่าด้วยอัตราเร็ว 300 รอบต่อนาที ระยะเวลา 1 นาที นำไปกรอง เติมน้ำแบ่ง 2 มิลลิลิตร และไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต 0.10 นอร์มอล จนสารละลายสีน้ำเงินกลายเป็นสีใสไม่มีสี

#### 6. ศึกษาลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับ

การตรวจพื้นผิวของตัวดูดซับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ยี่ห้อ Philips: XL30 & EDAX รุ่น SU3500 ด้วยกำลังขยาย 5000 เท่า เพื่อศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH)

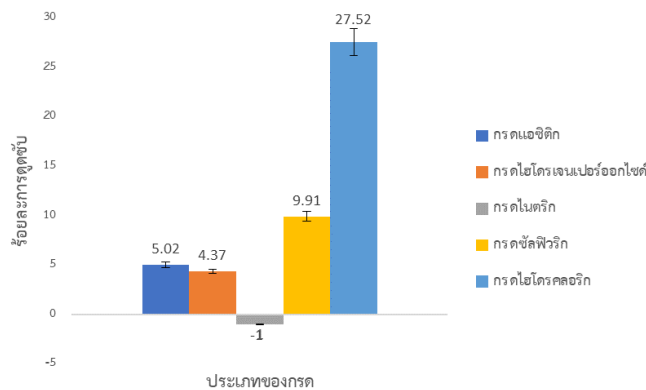
7. ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียด้วยตัวดูดซับ

ทดลองโดยใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทโรงงานเคลือบสีโลหะ โดยวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ด้วยวิธีมาตรฐาน Standard Method for Examination of Water and Wastewater, AWWA, APHA, 23<sup>rd</sup> Ed, 2017. ปริมาณแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) ที่คำนวณได้จากการศึกษาข้อ 2.3 คือ 1.0 กรัม ต่อน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 1 ลิตร วิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์

ผลการวิจัย

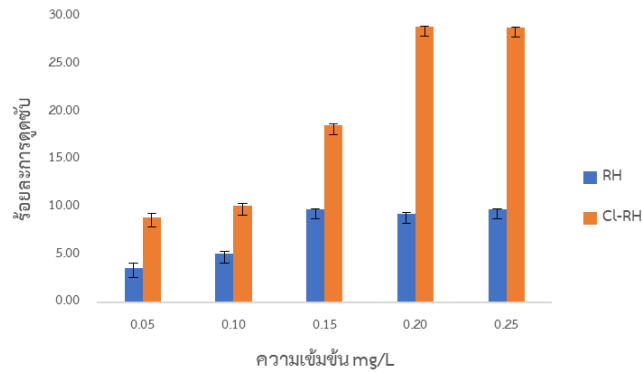
1. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าวและแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรดชนิดต่างๆ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบที่ถูกกระตุ้นด้วยกรดต่างชนิดกันที่ความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที พบว่า แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl มีประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์สูงสุด เท่ากับ 27.52 รองลงมา คือ แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรด  $H_2SO_4$ ,  $CH_3COOH$  และ  $H_2O_2$ , เท่ากับ 9.91, 5.02 และ 4.37 ตามลำดับ และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรด  $HNO_3$ -RH ไม่สามารถดูดซับ  $CN^-$  ได้ ดังภาพที่ 1 ทั้งนี้ จากการผลศึกษาข้างต้น จึงนำเฉพาะแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มาศึกษาในขั้นตอนถัดไป



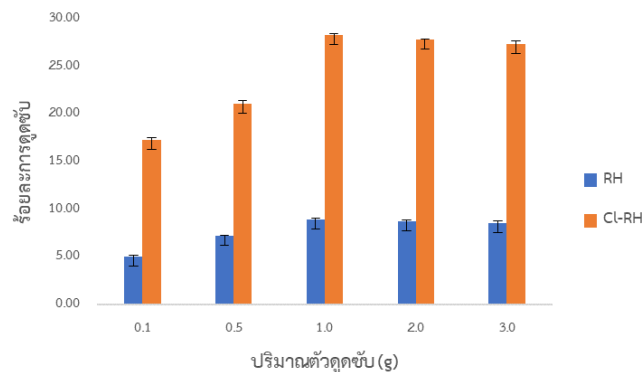
ภาพที่ 1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับไซยาไนด์ (%) ด้วยแกลบที่กระตุ้นด้วยกรดชนิดต่างกันในการละลายไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 180 นาที

เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายเข้มข้น 0.05-0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ได้ดีที่สุดที่ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) เท่ากับ 6.22 และ 12.59 ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 นอกจากนี้พบว่า ร้อยละการดูดซับลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นขณะที่ตัวดูดซับเท่าเดิม เนื่องจากพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีจำกัด จึงทำให้ร้อยละการดูดซับมีค่าลดลง



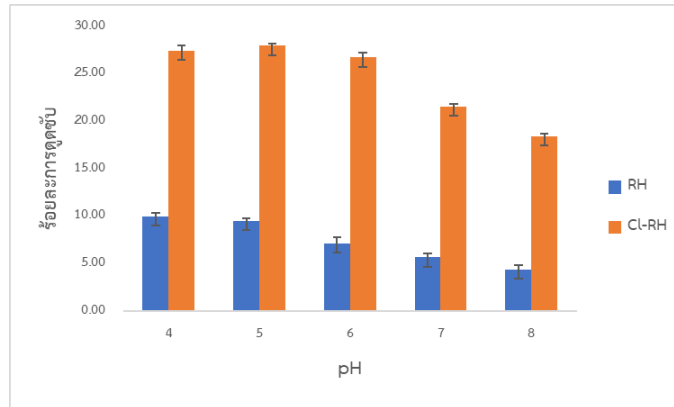
ภาพที่ 2 ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ RH และ HCl-RH

เมื่อทำการศึกษาปริมาณของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) 0.1-3.0 กรัม ในสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด ที่ปริมาณ 1.0 กรัม สามารถดูดซับไซยาไนด์ได้ดีที่สุดร้อยละการดูดซับไซยาไนด์เท่ากับ 8.95 และ 28.29 ตามลำดับ ดังภาพที่ 3 เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเท่ากับการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลาย จึงทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับของไซยาไนด์เพิ่มขึ้น แต่ขณะเดียวกันถ้าเพิ่มปริมาณตัวดูดซับมากกว่าที่สภาวะสมดุลส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (สี) ของสารละลาย



ภาพที่ 3 ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ ของ RH และ HCl-RH ปริมาณ 0.1-3.0 กรัม

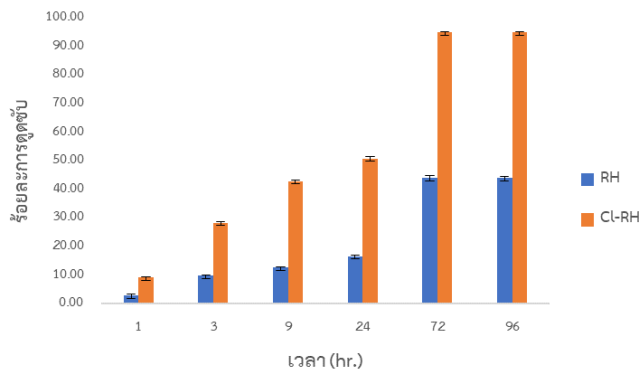
เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายที่มีค่า pH ในช่วง 4-8 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ได้ดีที่สุดที่ pH 5 ซึ่งร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) เท่ากับ 27.96 และ 9.47 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4 โดยเมื่อ pH สูง ประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลงเนื่องจากมีไฮดรอกไซด์ไอออนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดการแย่งจับกับตัวดูดซับ และเมื่อ pH ต่ำลงประสิทธิภาพการดูดซับก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว



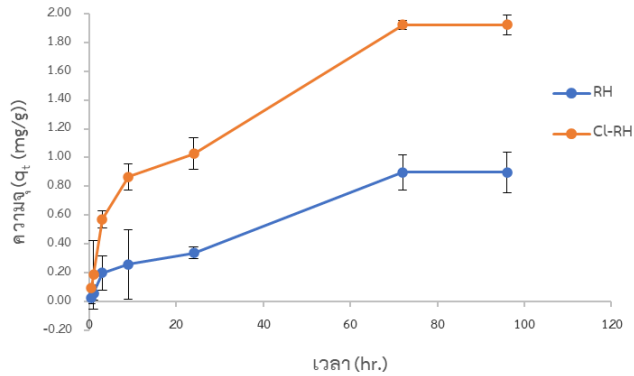
ภาพที่ 4 ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ ของ RH และ HCl-RH

เมื่อทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับไซยาไนด์ พบว่าที่ระยะเวลา 72 ชั่วโมง ประสิทธิภาพในการดูดซับไซยาไนด์ของตัวดูดซับทั้ง 2 ชนิด สามารถดูดซับได้สูงที่สุด ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) เท่ากับ 42.01 และ 95.03 ตามลำดับ ดังภาพที่ 5 โดยช่วง 30 นาทีแรก ประสิทธิภาพการดูดซับเกิดขึ้นในอัตราที่สูงและมีแนวโน้มลดลงเริ่มคงที่โดยคงที่เมื่อระยะเวลา 72 ชั่วโมง เนื่องจากตอนเริ่มต้นพื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมากส่งผลให้ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์สูง และการดูดซับจะลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น จนถึงจุดอิ่มตัวเมื่อพื้นที่ผิวลดลง

ทั้งนี้ สภาวะที่ดีที่สุดของค่าความจุของการดูดซับของ RH และ HCl-RH ที่สภาวะสมดุลของการดูดซับไซยาไนด์ 72 ชั่วโมง เท่ากับ 0.90 และ 1.92 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 5 ร้อยละการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ ของ RH และ HCl-RH ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน



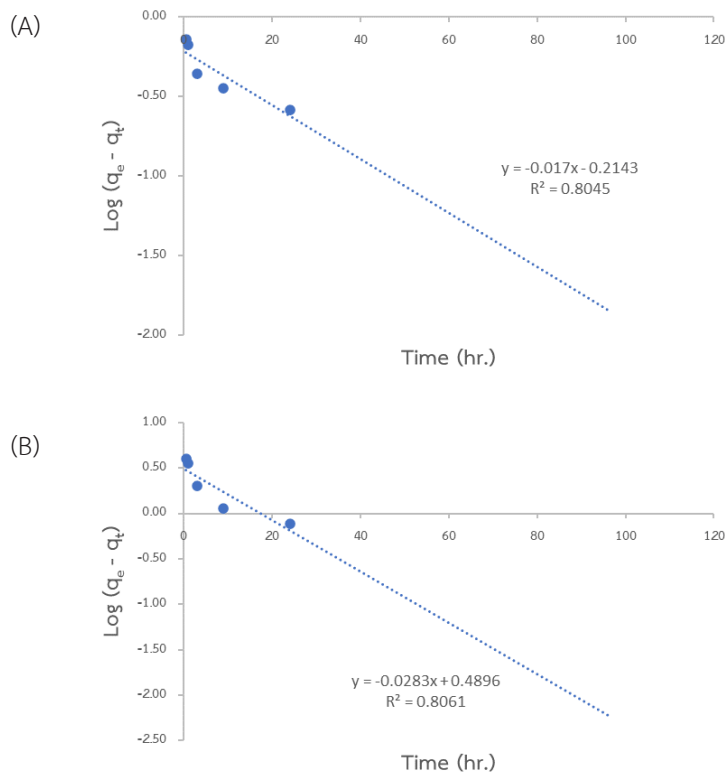
ภาพที่ 6 ความจุการดูดซับไซยาไนด์ในสารละลายไซยาไนด์ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน ของ RH และ HCl-RH

## 2. ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์การดูดซับ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) กลไกการดูดซับสอดคล้องกับสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับที่สอง (Pseudo-second order) มากกว่าสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo-first order) ดังตารางที่ 1 แสดงว่า กลไกการดูดซับไซยาไนด์ของวัสดุทั้ง 2 ชนิด เกิดแรงดูดซับทางเคมีที่มีการใช้ไอเล็กตรอนร่วมกัน โดยมีค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับสองของแคลบซาว (RH) และแคลบซาวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) พิจารณาจากค่า  $k_2$  เท่ากับ 0.04 และ 0.03 กรัมต่อมิลลิกรัม-นาที่ตามลำดับ และสามารถอธิบายกลไกการดูดซับโดยการใช้แบบจำลองจลนพลศาสตร์การดูดซับ 2 แบบ คือ สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (Pseudo-first order) และสมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับที่สอง (Pseudo-second order) เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log(q_e - q_t)$  กับ  $t$  และ  $t/q_t$  กับ  $t$  ตามลำดับ ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์จลนพลศาสตร์การดูดซับไซยาไนด์ของ RH และ HCl-RH

ตัวดูดซับ	Cyanide			
	$q_e$ (mg/g)	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$K_2$ ( $\text{mg/g}^* \text{min}^{-1}$ )	$R^2$
Pseudo-first order				
RH	0.81	0.02	-	0.80
CL-RH	1.63	0.03	-	0.81
Pseudo-second order				
RH	1.12	-	0.04	0.88
CL-RH	2.17	-	0.03	0.97



ภาพที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์การดูดซับไซยาไนด์ ของ RH (A) และ HCl-RH (B) ตามสมการอัตราเร็วของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง

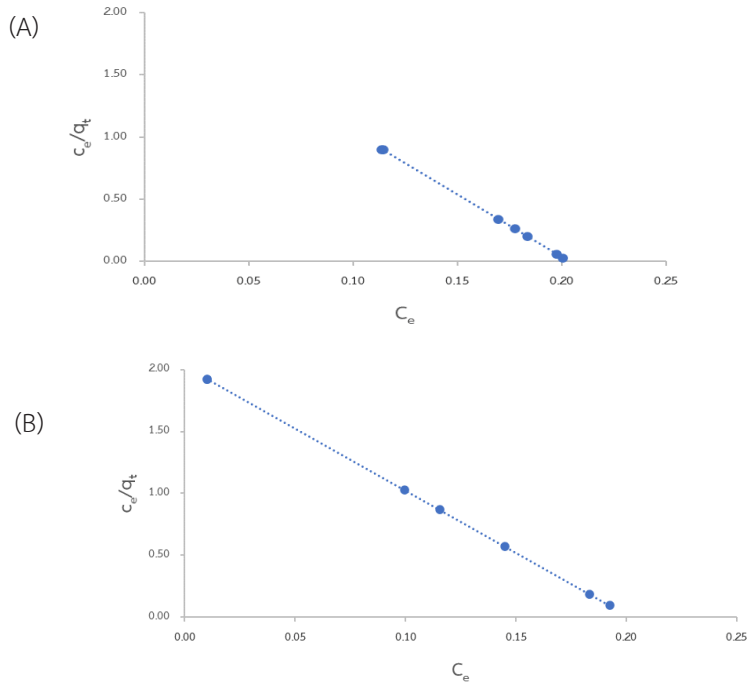
### 3. ผลการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับไซยาไนด์ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) พบว่า การดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีค่า  $R^2$  เข้าใกล้ 1 ดังตารางที่ 2 โดยสอดคล้องกับสมการ Langmuir ดังภาพที่ 8 มากกว่าสมการ Freundlich ดังภาพที่ 9 ซึ่งพิจารณาได้ว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด (Homogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับแบบชั้นเดียว พื้นที่ผิวมีจำกัด โดยโมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน

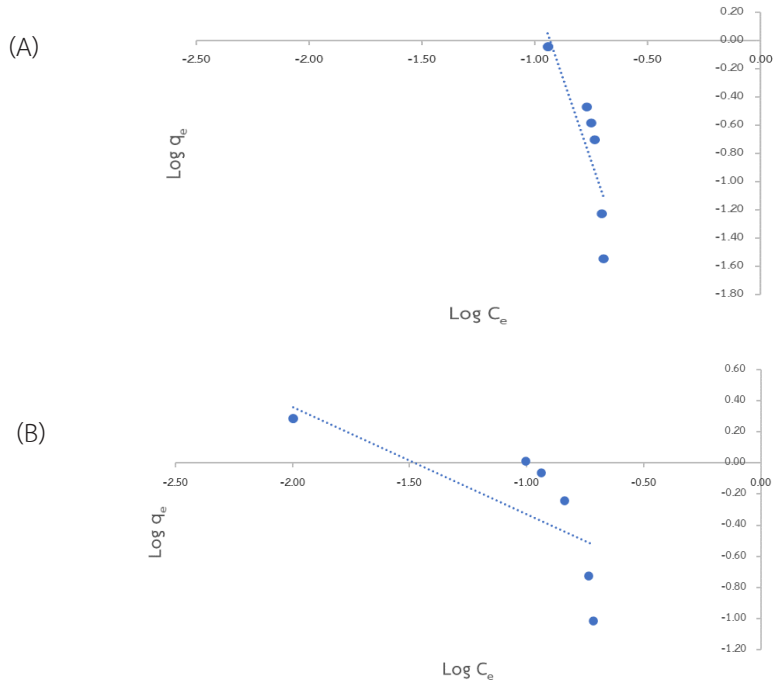
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการดูดซับไซยาไนด์ของ RH และ HCl-RH

ตัวดูดซับ	Langmuir			Freundlich		
	$q_{max}$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	$R^2$	$K_F$ (mg/g)	1/n	$R^2$
RH	0.09	2.05	0.99	-	4.36	0.77
Cl-RH	0.10	820.78	1.00	-	1.02	0.63





ภาพที่ 8 กราฟสมการการดูดซับของ Langmuir ในการดูดซับไซยาไนด์ของ RH (A) และ HCl-RH (B)



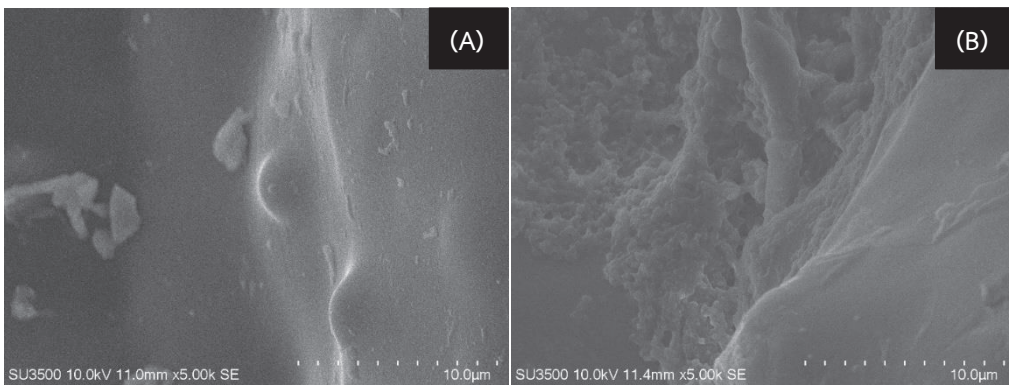
ภาพที่ 9 กราฟสมการการดูดซับของ Freundlich ในการดูดซับไซยาไนด์ของ RH (A) และ HCl-RH (B)

4. ผลการศึกษาการดูดซับไอโอดีน (ไอโอดีนนมเบอร์)

ผลการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนนมเบอร์ ตามมาตรฐาน ASTM D4607-94 ของแกลบข้าว (RH) ได้เท่ากับ 620 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของแกลบข้าว และค่าไอโอดีนนมเบอร์ของแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) ได้เท่ากับ 840 มิลลิกรัมของไอโอดีนต่อกรัมของแกลบข้าวที่ถูกกระตุ้นด้วย HCl ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แกลบข้าว และแกลบข้าวที่ถูกกระตุ้นด้วย HCl มีปริมาณรูพรุนขนาดเล็ก (micropores 0.4-1.0 นาโนเมตร) จำนวนมาก จึงสามารถดูดซับโมเลกุลไอโอดีนซึ่งมีขนาดเล็กได้ดี ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาถึงมาตรฐานของ American Water Works Association (APHA , 2017) ที่กำหนดไอโอดีนนมเบอร์ต้องไม่น้อยกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัม พบว่าของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีค่าเกินมาตรฐานของ AWWA

5. ผลการศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า แกลบข้าว (RH) มีลักษณะพื้นผิวที่หยาบและมีรูพรุนน้อย จึงส่งผลให้มีการดูดซับไซยาไนด์ที่น้อยด้วย แต่แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีลักษณะพื้นผิวแบบขรุขระ และมีรูพรุนกระจายทั่วพื้นผิวซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับไซยาไนด์ จึงส่งผลให้มีการดูดซับไซยาไนด์ที่มากขึ้น ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ภาพถ่ายลักษณะพื้นที่ผิวของตัวดูดซับด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) (A) แกลบข้าว (RH) และ (B) แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

6. ผลการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ด้วยตัวดูดซับในน้ำเสีย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ของวัสดุดูดซับทั้ง 2 ชนิด ทดลองกับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทโรงงานเคลือบสีโลหะ ที่มีปริมาณความเข้มข้นของไซยาไนด์ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเกินมาตรฐานที่กำหนดในแหล่งน้ำเสียของประเทศไทย พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ของแกลบข้าว (RH) และแกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) เท่ากับ ร้อยละ 40.90 และ 91.79 แสดงให้เห็นว่า แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วย HCl (HCl-RH) มีความสามารถในการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณความเข้มข้นของไซยาไนด์เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด

### อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยแกลบข้าว ซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบถือเป็นคุณลักษณะที่ดีในการเป็นตัวดูดซับ และจากการทบทวนวิจัย (สุปรียา, 2543; Nitit, Panjai & Thayukorn, 2018; Pakkarada, 2019) พบว่า ขั้นตอนการเตรียมแกลบข้าวหากเพิ่มอุณหภูมิระหว่างการต้ม อบ หรือเผา จะส่งผลให้แกลบข้าวมีลักษณะพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนที่ค่อนข้างกว้าง ทั้งยังเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของซิลิกาที่เป็นองค์ประกอบของแกลบ จึงมีแนวโน้มสูงที่สามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ รวมถึงยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาการดูดซับไซยาไนด์ด้วยแกลบข้าว จึงทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับไซยาไนด์ที่ปริมาณตัวดูดซับ 0.1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของไซยาไนด์ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ pH 5 และระยะเวลาสัมผัส 72 ชั่วโมง พบว่า แกลบข้าวที่กระตุ้นด้วยกรด HCl (HCl-RH) มีประสิทธิภาพการดูดซับไซยาไนด์สูงถึงร้อยละ 91.79 แสดงให้เห็นว่า HCl-RH มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวดูดซับไซยาไนด์ อีกทั้งยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมโมเดลทางเศรษฐกิจใหม่ด้วยการนำเอาเทคโนโลยี นวัตกรรม และวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการขับเคลื่อนประเทศ (BCG model) ทั้งนี้ แกลบข้าวและแกลบข้าวที่ถูกปรับปรุงซึ่งเป็นวัสดุหลังการดูดซับ ควรนำไปฝังกลบอย่างถูกหลักและปลอดภัย เพราะเป็นแนวทางที่จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รวมถึงศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นประสิทธิภาพของแกลบที่มีการปรับสภาพเป็นตัวดูดซับเปรียบเทียบกับตัวดูดซับในท้องตลาด

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ร.ศ. คณิตา ตังคณานุรักษ์ และผศ.ดร. วุชรพงษ์ วาระรัมย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- งามชื่น คงเสรี. (2546). **ข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว**. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร.
- สุปรียา สุขเกษม. (2543). การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันปาล์มโอสีอินที่ใช้ทอดแล้วด้วยเถ้าแกลบ. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยน้ำมันพืชและสารธรรมชาติที่เกิดจากพืช กองเกษตรเคมี.
- Cope, R.B. (2016). **Overview of cyanide poisoning-toxicology veterinary manual**. [Online]. Available : <https://www.msdsvetmanual.com/toxicology/cyanide-poisoning/cyanide-poisoning-in-animals> [2020, December 20].
- Gholamreza, M. & Rasoul, K. (2010) Removal of cyanide from wastewater by adsorption onto pistachio hull wastes: parametric experiments, kinetics and equilibrium analysis. **J Hazard Mater**, **183**(1-3), 724-730.
- Ghorban, A. & Alireza, D. (2018) Experimental dataset on acid treated eggshell for removing cyanide ions from synthetic and industrial wastewaters. **Data Brief**, **16**, 442-452.
- Katsiri, L. (2008, October-December). A Comparative Study of Adsorption Capacity of Activated Carbons Prepared from Rice Straw, Rice Husk Shell and Sugarcane Bagasse by a Chemical Activation Method with H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. **University of the Thai Chamber of Commerce Journal Science and Technology**, **4**, 84-98.
- Newmont. (2012) **Cyanide**. [Online]. Available : <https://cyanidecode.org/> [2020, December 14].
- Nitit, N., Panjai, S. & Thayukorn, P. (2018, May-June). Adsorption of Nickel (Ni<sup>2+</sup>) by rice husk and modified rice husk. **J Sci Technol MSU**, **37**(3), 363-371.
- Pakkarada, S. (2018, August). Lead removal onto adsorbent from black rice husk and white rice husk ash. **KUSRC Annual Conference 2018**, 193-198.
- Paula, A., Marcello. M.V., Bruce, G.M., Tatiana, S. & Denise, C.R.E. (2020). Investigation of mercury cyanide adsorption from synthetic wastewater aqueous solution on granular activated carbon. **Journal of Water Process Engineering**, **34**.
- Ministry of Pollution Control Department. (2012). **Water quality standards. pollution control Department**. (4 th ed.). Bangkok : Ministry of Natural Resources and Environment. [In Thai]
- Rajesh, R.D., Abhinav, G. & Chandrajit, B. (2009). Cyanide in industrial wastewaters and its Removal : a review on biotreatment. **J Hazard Mater**, **163**(1), 1-11.
- Suchada, S., Hathairat, J. & Prachart, W. (2017). Adsorption of dyestuff in household-scale dyeing onto rice husk. **Energy Procedia**, **138**, 1159-1164.
- Usman, K., Muhammad, B.S., Shafaqat, A., Muhammad, R., Muhammad, N.A. & Leonard W. (2020). Adsorption-reduction performance of tea waste and rice husk biochars for Cr (VI) elimination from wastewater. **Journal of Saudi Chemical Society**, **24**(11), 799-810.

Young, C.A. & Jordan, T.S. (1995). Cyanide remediation: current and past technologies.  
Proceeding of the 10<sup>th</sup> Annual Conference on Hazardous Waste Research.  
May 23-24 1995(pp.104-129). United States of America : Kansas State University.



ประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุข  
อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดิล

Efficiency of Public Health Implementation Support System of  
Muang Sam Sib District Public Health Office Ubon Ratchathani Province with  
Moodle

ยุภาพร คชพรม\*

Yupaphorn Kotchaporm

อัจฉรีย์ พิมพ์มูล\*\*

Ajcharee Pimpimool

สุวัฒน์ บรรลือ\*\*\*

Suwat Banlue

Received : October 16, 2022

Revised : November 23, 2022

Accepted : January 18, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุข อำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดิล 2) หาประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย คือผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน คัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย คือ ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอม่วงสามสิบ และแบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัยพบว่า 1) ผลการพัฒนา ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดิล

\*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการศึกษา

คณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Master of Science Program in Computer and Information Technology for Education, Faculty of

Computer Science, Ubon Ratchathani Rajabhat University e-mail: yupaphorn.kg64@ubru.ac.th

\*\*อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Lecturer in digital technology for education, Faculty of Education, Ubon Ratchathani Rajabhat

University

\*\*\*อาจารย์ประจำคณะวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

Lecturer in Faculty of Computer Science Ubon Ratchathani Rajabhat University

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

มีการพัฒนาตามรูปแบบ ADDIE MODEL ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ผู้ดูแลระบบ หัวหน้าฝ่าย และเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล 2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.43 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20

**คำสำคัญ :** ประสิทธิภาพ / ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข / สำนักงานสาธารณสุขอำเภอ  
ม่วงสามสิบ / มูเดิล

#### ABSTRACT

The objectives of this research were to 1) develop of a public health implementation support system, Muang Sam Sip District Public Health Office, Ubon Ratchathani Province with Moodle, 2) To find the efficiency of the public health implementation support system. The samples used in research were 5 experts selected by the purposive sampling tools were public health implementation support system, Muang Sam Sip District Public Health Office and questionnaire. The statistics used in the research were mean and standard deviation. The research results were found that 1) The results of the development of a support system for public health operations. Muang Sam Sip District Public Health Office, Ubon Ratchathani Province with Moodle. It is developed according to the model ADDIE MODEL, consisting of 3 parts : administrators, department heads and officers in sub-district health hospitals. 2) The results of the quality assessment of the system by experts have opinions is highly, with an average of 4.43. and standard deviation of 0.20.

**Keywords :** Efficiency / Public Health Implementation Support System / Muang Sam Sib District Public Health Office / Moodle

#### บทนำ

การเข้าสู่ระบบเศรษฐกิจและสังคมดิจิทัล เทคโนโลยีดิจิทัลส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งโครงสร้างและรูปแบบกิจกรรมการดำเนินงานในทุกภาคส่วน และยังส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิต หรือการบริการ ระบบบริการสุขภาพจึงจำเป็นต้องปรับตัวอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและนวัตกรรมสุขภาพมาใช้ในการบริหารจัดการและสนับสนุนการดำเนินงาน เพื่อเพิ่มโอกาสให้กับประชาชนในการได้รับบริการทางการแพทย์และสุขภาพที่ทันสมัย อย่างทั่วถึงและเท่าเทียมกัน รวมถึงรับรองการเข้าสู่สังคมสูงวัยด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล เป็นการเพิ่มโอกาสในการพัฒนาระบบบริการสุขภาพอย่างมีประสิทธิภาพตามกรอบยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี (พ.ศ. 2560-2579) กระทรวงสาธารณสุขในฐานะที่เป็นองค์กรหลักในการพัฒนาระบบสุขภาพของประเทศ จึงได้ผลักดันการขับเคลื่อนระบบสุขภาพด้วยเทคโนโลยีดิจิทัล ผ่านยุทธศาสตร์เทคโนโลยีสารสนเทศสุขภาพ (eHealth Strategy) มุ่งเน้นการพัฒนาที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและ

สังคม (Digital Economy) และยังพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งสังเคราะห์ความสอดคล้องกับ ยุทธศาสตร์เทคโนโลยีดิจิทัลและยุทธศาสตร์เทคโนโลยีสารสนเทศสุขภาพ ในระดับสากลเพื่อตอบปัญหาความท้าทายด้านสาธารณสุขในหลายๆ ด้าน โดยกำหนดให้หน่วยบริการในสังกัดกระทรวงสาธารณสุขสามารถเชื่อมโยงกันด้วยเครือข่ายภายใน (MoPH Intranet) ได้อย่างปลอดภัยและได้มาตรฐาน (พลวรรณ, 2560) จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างมากในทุกภาคส่วนทั้งทางด้านสังคม วัฒนธรรม การแพทย์ หรือ การศึกษา

จากบทบาทสำคัญของการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลส่งผลกระทบต่อองค์กรต่างๆ มีการนำแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมสำเร็จรูปต่างๆ เข้ามาประยุกต์ใช้ในการทำงาน โปรแกรมมูเดิล (Moodle : Modular Object Oriented Dynamic Learning Environment) เป็นระบบการจัดการเรียนรู้ หรือ LMS (Learning Management System) ประเภทซอฟต์แวร์เปิด (Open Source) ที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านลิขสิทธิ์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายโดยเฉพาะนำไปสร้างเป็นระบบการเรียนอิเล็กทรอนิกส์ หรือ อีเลิร์นนิ่ง (e-Learning) ใช้ในหน่วยงานหรือศูนย์เก็บคลังความรู้ของหน่วยงาน โดยที่มูเดิลได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั่วโลกในปัจจุบัน และในแวดวงการศึกษาในเมืองไทย (อาณัติ, 2558) มูเดิลมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ ที่ง่ายและสะดวก ปัจจุบันสามารถใช้งานได้ในรูปแบบโปรแกรมเสริม (Plugin) ที่ช่วยการทำงานของโปรแกรมหลัก ซึ่งมีให้เลือกเป็นจำนวนมาก ทั้งนี้ยังรองรับการใช้งานผ่านโทรศัพท์มือถือหรือสมาร์ทโฟน ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Google Play หรือ Apple store จุดเด่นของมูเดิล เป็นระบบที่ใช้งานง่ายไม่ว่าจะเป็น คุณครู นักเรียน หรือผู้บริหารงานด้านต่างๆ นำมาออกแบบเว็บไซต์ส่วนตัวได้ด้วยตนเอง เพื่อขยายขอบเขตการเรียนการสอนของตนเองได้ทุกที่ ทุกเวลา ความสามารถในการทำงานของมูเดิลมีหลายส่วน อาทิเช่น การบริหารจัดการระบบ มีการรักษาความปลอดภัยที่มีคุณภาพ มีระบบจัดการสิทธิการเข้าใช้งาน การติดต่อสื่อสารที่ทันสมัยใช้งานง่าย การตั้งกระทู้ถาม-ตอบ การพูดคุยแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การมอบหมายงาน ระบบจัดการไฟล์ ระบบการแจ้งเตือน การติดตามความก้าวหน้าของงาน ระบบการสำรองข้อมูล จัดการกลุ่มให้แก่ผู้ใช้งาน เป็นต้น จากคุณสมบัติสำคัญต่างๆ ของมูเดิล สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแต่ละองค์กรได้เป็นอย่างดี

สำนักงานสาธารณสุขอำเภอม่วงสามสิบในฐานะผู้ประสานงานระหว่างหน่วยงานระดับจังหวัดกับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ ได้นำระบบสารสนเทศประเภทสื่อสังคมออนไลน์ มาใช้ในติดต่อสื่อสารกำกับ ดูแล ประเมินผล และสนับสนุนการปฏิบัติงาน แต่เนื่องจากระบบสารสนเทศมีความหลากหลาย ทำให้ประสบปัญหาความล่าช้าในการติดต่อสื่อสาร การรับส่งข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูลประมวลผล ไม่มีช่องทางเฉพาะสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล ปัจจุบันรับ-ส่งข้อมูลผ่านสื่อสังคมออนไลน์ ประเภทการสนทนาแบบกลุ่มทำให้เกิดความยุ่งยากในค้นหาข้อมูล เพราะเป็นการส่งข้อมูลผสมผสานกับการสนทนาทำให้ต้องเลื่อนอ่านข้อความเพื่อค้นหาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทำให้ข้อมูลสูญหาย ข้อมูลมีความเสี่ยงต่อการถูกเผยแพร่ข้อมูลออกไปนอกหน่วยงาน ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของงาน งานที่มอบหมายให้กับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ขาดความถูกต้องและความสมบูรณ์ต้องมีการติดตามซ้ำหลายครั้ง และมีต่อระดับผลงานในภาพรวมอำเภอ



จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการพัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี จังหวัดอุบลราชธานี โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมมูเดลมาเป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ โดยนำผลการวิจัยไปใช้เป็นเครื่องมือในสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุขในการประสานงาน การติดต่อสื่อสาร การกำกับ ติดตาม การถ่ายทอดนโยบายและองค์ความรู้จากส่วนกลางสู่ผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ให้บรรลุเป้าหมายตามนโยบายของกระทรวงสาธารณสุข ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการทำงาน

การศึกษาค้นคว้ามีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดล และหาประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี 2) การประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข

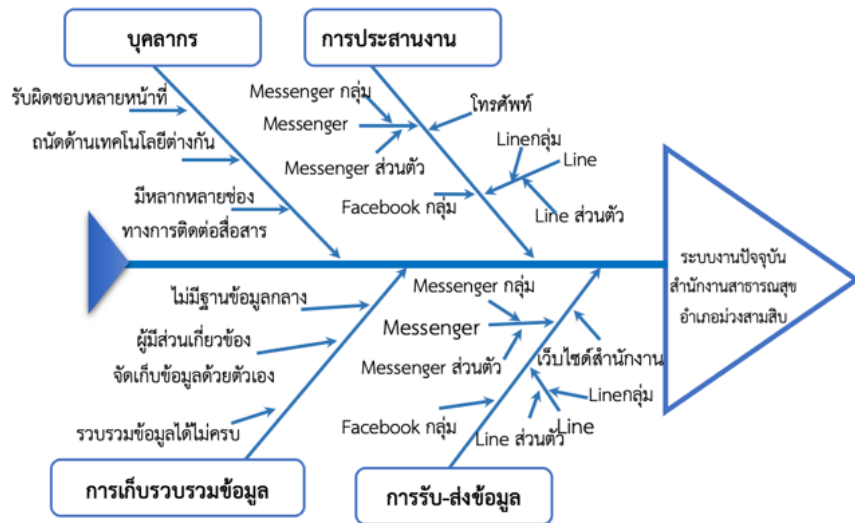
### วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้วิธีการออกแบบระบบของ ADDIE ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้ (มนต์ชัย, 2554)

#### ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์ (Analysis)

ผู้วิจัยได้ศึกษาบริบทของหน่วยงาน โดยสำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี เป็นหน่วยบริหารงานด้านสาธารณสุขในระดับอำเภอ ที่อยู่ภายใต้สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี มีหน่วยงานในสังกัดในระดับตำบลคือโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 23 แห่ง มีบทบาทหน้าที่ในการประสานงานระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีกับโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ถ่ายทอดนโยบายจากส่วนกลางสู่ผู้ปฏิบัติ การฝึกอบรมให้ความรู้ กำกับ ติดตาม ประเมินผลการดำเนินงาน การรวบรวมผลงานเพื่อรายงานต่อสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด ศึกษาปัญหาของหน่วยงานด้วยวิธีการสังเกตการทำงานของเจ้าหน้าที่รับฟังการสะท้อนผลจากผู้ปฏิบัติงาน และประสบปัญหาด้วยตนเอง ผลการดำเนินการพบประเด็นปัญหาในการดำเนินงาน ดังนี้ 1) ปัญหาด้านการประสานงานภายในองค์กรมีความล่าช้า 2) ปัญหาด้านการรับ-ส่งข้อมูลและการเก็บรวบรวมข้อมูล 3) ปัญหาด้านความปลอดภัยของข้อมูล 4) ปัญหาด้านประสิทธิภาพของงาน จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบันเพื่อสังเคราะห์ให้เกิดแนวทางการสร้างระบบงานใหม่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. วิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน เพื่อหาสาเหตุปัญหา โดยการศึกษาปัญหาร่วมกับการใช้แผนภูมิแกงปลา พบสาเหตุของปัญหาของระบบงานปัจจุบัน เกิดจากปัจจัย 4 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านบุคลากร คือ บุคลากร 1 คน มีหลายหน้าที่ และมีหลากหลายช่องทางการติดต่อสื่อสาร 2) ด้านการประสานงาน ผ่านสื่อสังคมออนไลน์ที่หลากหลายทำให้เกิดความสับสน 3) ด้านการรับ-ส่งข้อมูล การรับส่งข้อมูลทางราชการผ่านสื่อสังคมออนไลน์ทำให้ไม่ปลอดภัย และ 4) ด้านการเก็บรวบรวมข้อมูล ไม่มีระบบจัดเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิกำงปลาเพื่อค้นหาปัญหาของระบบงานปัจจุบัน

2. วิเคราะห์ข้อมูลผู้ใช้งานระบบ จากศึกษาข้อมูลด้านบุคลากรและบทบาทหน้าที่ ของแต่ละคน ในระบบงานปัจจุบัน จึงจำแนกบุคลากรออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ 1) หัวหน้าฝ่ายงานหรือเจ้าหน้าที่ในสำนักงานสาธารณสุขอำเภอ 2) เจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล 3) เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคโนโลยีสารสนเทศ

3. กำหนดคุณสมบัติของระบบใหม่ จากการศึกษาปัญหา วิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน และข้อมูลบุคลากร จึงทำให้ทราบถึงกระบวนการทำงานที่ทำให้เกิดปัญหา และมองเห็นแนวทางแก้ไขปัญหา โดยการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อมาสนับสนุนการทำงาน โดยระบบใหม่จะต้องมีคุณสมบัติของระบบ ดังนี้

- 1) สามารถจัดการกลุ่มผู้ใช้งานให้ตรงกับงาน
- 2) มีความสามารถในการติดต่อสื่อสาร
- 3) มีความสามารถการจัดการข้อมูล
- 4) มีความสามารถการมอบหมายงาน และการติดตามประเมินผลการทำงาน
- 5) มีความสามารถการสะท้อนผล และ
- 6) มีทรัพยากรแหล่งเรียนรู้

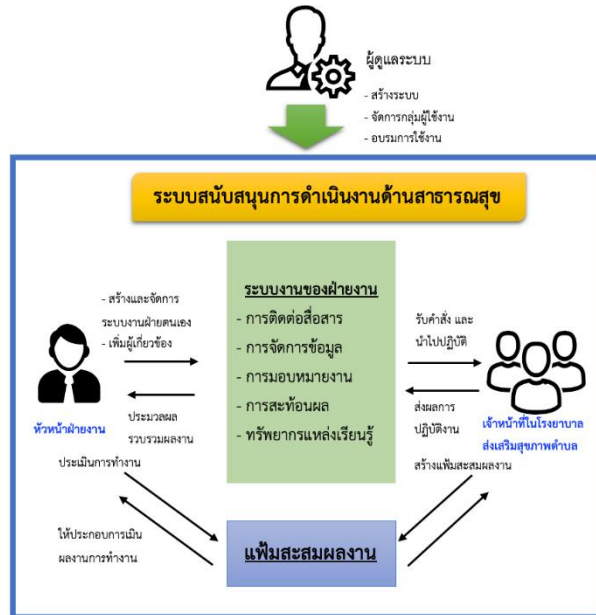
ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบ (Design) ประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้

1. ออกแบบระบบ จากขั้นตอนการวิเคราะห์ซึ่งได้ข้อกำหนดคุณลักษณะของระบบใหม่ ผู้วิจัยจึงออกแบบระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยแนวคิดของการออกแบบ คือ เป็นระบบสารสนเทศที่จะช่วยให้การทำงานระหว่างสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สามสิบกับหน่วยงานในสังกัดให้มีความเชื่อมโยงกัน โดยได้นำเทคโนโลยีสารสนเทศด้านการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต สามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา ในรูปแบบเทคโนโลยีเว็บแอปพลิเคชัน สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต โดยระบบประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 3 ส่วน ดังนี้ 1) ผู้ดูแลระบบ 2) หัวหน้าฝ่าย คือเจ้าหน้าที่ในสำนักงานสาธารณสุขอำเภอแม่สามสิบ โดยแต่ฝ่ายจะมีหน้าเว็บไซต์งานของตนเอง 3) บุคลากรสาธารณสุขที่ปฏิบัติงานในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

2. ออกแบบโครงสร้างระบบงานของแต่ละฝ่าย ให้มีรูปแบบพื้นฐานเหมือนกัน โดยออกแบบข้อกำหนดคุณสมบัติ ประกอบด้วยระบบต่างๆ ดังนี้ 1) การออกแบบการติดต่อสื่อสาร ประกอบด้วย กระดาน

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

ถามตอบ ห้องสนทนาออนไลน์ ห้องประชุมออนไลน์ 2) การออกแบบการจัดการข้อมูล ประกอบด้วย ช่องทางการรับ-ส่งข้อมูล 3) การมอบหมายงาน และการติดตามประเมินผลการทำงาน 4) การสะท้อนผล เป็นระบบการสร้างแบบสอบถาม การสำรวจความคิดเห็น และ 5) ทรรศการแหล่งเรียนรู้ ระบบจัดการ คู่มือ และเว็บไซต์ตามแบบจำลองของระบบงานใหม่ ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แบบจำลองกระบวนการพัฒนาระบบงานใหม่

3. ออกแบบหน้าจอของระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยการจัดพื้นที่และองค์ประกอบของหน้าจอภาพเพื่อใช้ในการนำเสนอเนื้อหา ภาพ และส่วนประกอบต่างๆ ให้สอดคล้องกับเป้าหมายวัตถุประสงค์ของระบบ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนา (Development) โดยแบ่งขั้นตอนการพัฒนาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. การพัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข มีขั้นตอนดังนี้

1.1 ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และเครื่องมือในการสร้างระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข พบว่า โปรแกรมมูเดล เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่เป็นระบบการจัดการเรียนรู้ ที่มีคุณสมบัติและเครื่องมือในการสร้างระบบใกล้เคียงกับความต้องการของระบบงาน ประกอบกับมูเดลเป็นซอฟต์แวร์เปิด ทำให้สามารถพัฒนาเพิ่มเติมให้สมบูรณ์ได้ เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจะใช้เวลาสั้นในการพัฒนาระบบ ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยและการประมวลผลที่แม่นยำ ส่วนการพัฒนาแบบสารสนเทศขึ้นมาใหม่จะใช้เวลานาน ประกอบกับสำนักงานสาธารณสุขอำเภอยังไม่มีทีมพัฒนาระบบ

1.2 ติดตั้งระบบ ดำเนินการเช่าเซิร์ฟเวอร์ และจดทะเบียนโดเมนในการติดตั้งโปรแกรมมูเดลบนเซิร์ฟเวอร์จริง ภายใต้โดเมนคือ <http://www.nang-it.com/sso>

1.3 สร้างระบบในส่วนของผู้ดูแลระบบ โดยการสร้างในส่วนภาพรวมของระบบ การออกแบบและตกแต่งเว็บไซต์ในหน้าแรก และการตั้งค่าต่างๆ

1.4 สร้างระบบงานของฝ่ายงานโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือในโปรแกรมมูเดิล ซึ่งระบบประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงาน ดังนี้ 1) ฟังก์ชันการติดต่อสื่อสาร ซึ่งประกอบด้วย กระดานถามตอบ ห้องสนทนาออนไลน์ ห้องประชุมออนไลน์ 2) ฟังก์ชันทรัพยากรแหล่งเรียนรู้ 3) ฟังก์ชันการมอบหมาย 4) ฟังก์ชันการจัดการข้อมูล และ 5) ฟังก์ชันการสะท้อนผล

1.5 สร้างระบบงานของเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เป็นการสร้างแฟ้มสะสมงานส่วนตัวและสร้างห้องเก็บเอกสารส่วนตัวของผู้ใช้งาน

2. การสร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข มีขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาเอกสาร งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี

2.2 ร่างแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ประกอบด้วย 5 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ (Functional Requirement Test) 2) ด้านความถูกต้องในการทำงานของฟังก์ชันต่างๆ ในระบบ (Functional Test) 3) ด้านความสะดวกในการใช้ระบบ (Usability Test) 4) ด้านการตรวจสอบและความปลอดภัยในการใช้งานระบบ (Security Test) และ 5) ด้านเอกสารคู่มือประกอบการใช้งานระบบ (Documentation Test)

2.3 นำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อตรวจสอบความเหมาะสม ถูกต้อง ครบถ้วน และปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะ

2.4 คัดเลือกกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประเมินความเที่ยงตรงของแบบสอบถามประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) มีประสบการณ์สอนและวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาด้านคอมพิวเตอร์ และการพัฒนาระบบสารสนเทศไม่น้อยกว่า 5 ปี มีวุฒิการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาโทขึ้นไป จำนวน 5 คน

2.5 นำเสนอต่อผู้เชี่ยวชาญเพื่อประเมินความเที่ยงตรงของแบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ในการทดสอบดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา โดยใช้เกณฑ์ของดัชนีความเที่ยงตรงของเนื้อหาประเด็นด้านความสอดคล้องค่าดัชนีความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาด้วยวิธีการ Content Validity Index: CVI) ได้ค่าความเที่ยงตรงจากการประเมินของผู้เชี่ยวชาญเท่ากับ 0.92

ขั้นตอนที่ 4 การทดลองใช้ (Implementation) มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. จัดทำคู่มือการใช้งานระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) คู่มือการใช้งานสำหรับผู้ดูแลระบบ 2) คู่มือการใช้งานสำหรับหัวหน้าฝ่าย 3) คู่มือการใช้งานสำหรับเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2566

2. คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยการเลือกตัวอย่างแบบเจาะจง มีวุฒิการศึกษาตั้งแต่ระดับปริญญาโทขึ้นไป มีประสบการณ์ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศในงานด้านสาธารณสุข ไม่น้อยกว่า 5 ปี จำนวน 5 คน

3. จัดส่งแบบสอบถามและคู่มือการใช้ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ที่อยู่เว็บไซต์ และรหัสผู้ใช้งานให้ผู้เชี่ยวชาญ ผ่านทาง Line Facebook email หรืออื่นๆ ที่ผู้เชี่ยวชาญสะดวก

4. ปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินผล (Evaluation)

เป็นขั้นตอนของการนำแบบสอบถามจำนวน 5 ด้าน ที่ได้รับจากผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพระบบมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแล้วนำค่าที่ได้มาแปลความหมาย โดยใช้เกณฑ์แปลความหมายดังนี้ (บุญชม, 2560)

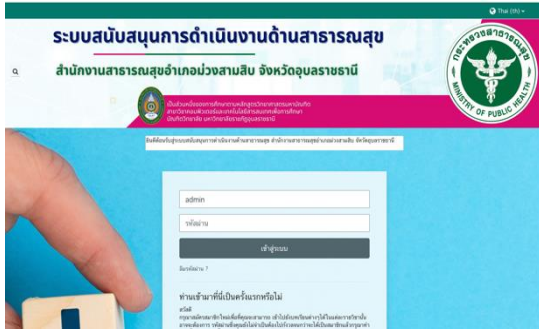
ค่าเฉลี่ย	การแปลความหมาย
4.51-5.00	มีประสิทธิภาพระดับมากที่สุด
3.51-4.50	มีประสิทธิภาพระดับมาก
2.51-3.50	มีประสิทธิภาพระดับปานกลาง
1.51-2.50	มีประสิทธิภาพระดับน้อย
1.00-1.50	มีประสิทธิภาพระดับน้อยที่สุด

## ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามวิธีการออกแบบระบบของ ADDIE โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ศึกษาบริบทของหน่วยงานการวิเคราะห์ระบบงานปัจจุบัน วิเคราะห์ผู้ใช้งานระบบ ทำให้ได้ข้อมูลและได้กำหนดคุณสมบัติของระบบงานใหม่ จากนั้นนำข้อมูลมาใช้ในขั้นตอนการออกแบบ โดยได้ออกแบบระบบ ออกแบบโครงสร้างระบบงานของแต่ละฝ่าย และออกแบบหน้าจอของระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข การจัดพื้นที่ และองค์ประกอบของหน้าจอภาพเพื่อใช้ในการนำเสนอเนื้อหา ภาพ และส่วนประกอบต่างๆ ให้สอดคล้องกับเป้าหมายวัตถุประสงค์ของระบบ จากนั้นดำเนินการในขั้นตอนการพัฒนา ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบตามที่ได้ออกแบบ โดยใช้โปรแกรมมูเดลเป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ ผลที่ได้คือ

ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดล ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. ส่วนของผู้ดูแลระบบ เป็นส่วนที่ใช้ในการบริหารจัดการระบบและรายละเอียดต่างๆ ทั้งหมด

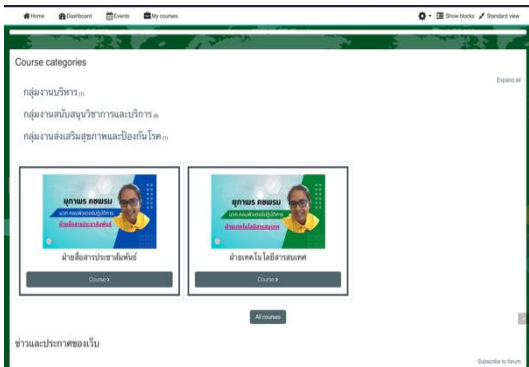


ภาพที่ 3 การลงชื่อเข้าใช้งานระบบ

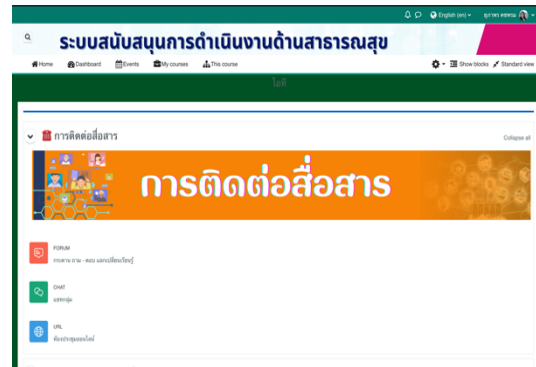


ภาพที่ 4 หน้าหลักของระบบ

2. ส่วนของหัวหน้าฝ่าย เป็นส่วนทำงานของแต่ละฝ่ายงานในการบริหารจัดการข้อมูลการทำงาน ประกอบด้วยฟังก์ชันของระบบงาน 5 ฟังก์ชัน และการกำหนดสิทธิให้เจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

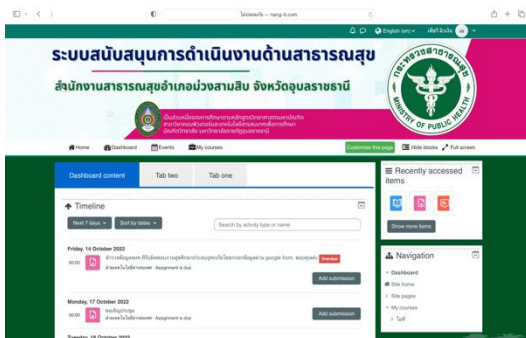


ภาพที่ 5 ระบบงานของหัวหน้าฝ่าย

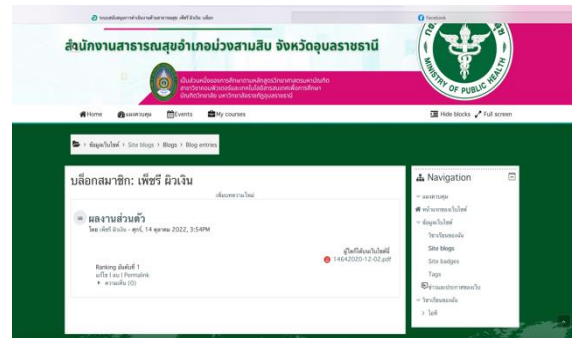


ภาพที่ 6 ฟังก์ชันของระบบงาน

3. ส่วนของเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล มีระบบแจ้งเตือนงานและสามารถสร้างแฟ้มสะสมงาน และเก็บผลงานส่วนตัว



ภาพที่ 7 การแจ้งเตือนงาน



ภาพที่ 8 แฟ้มสะสมงานส่วนตัว

เมื่อได้ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมุเตล แล้ว ผู้วิจัยได้สร้างแบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ในขั้นตอนการทดลองใช้ ผู้วิจัยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญประสบการณ์ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศในงานด้านสาธารณสุข จำนวน 5 คน เพื่อเป็นผู้ทดลองใช้งานระบบ และประเมินประสิทธิภาพของระบบระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมุเตล ในขั้นตอนการประเมินผล โดยมีผลการประเมิน ดังนี้

ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอวังสามสี จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมุเตล โดยผลการประเมินระบบจากผู้เชี่ยวชาญ 5 คน พบว่าในภาพรวมมีประสิทธิภาพในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.43 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
<b>ด้านการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้</b>			
1. ความเหมาะสมในด้านการบริหารจัดการผู้ใช้งานระบบ	4.20	0.75	มาก
2. ความเหมาะสมในด้านการบริหารจัดการข้อมูล	4.40	0.49	มาก
3. ความเหมาะสมของระบบงานสำหรับเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล	4.40	0.49	มาก
4. ความเหมาะสมของระบบงานสำหรับหัวหน้าฝ่าย ผู้รับผิดชอบงานในสำนักงานสาธารณสุขอำเภอ	4.20	0.40	มาก
5. ความเหมาะสมของระบบกิจกรรมเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล	4.60	0.49	มากที่สุด
6. ความเหมาะสมของระบบสร้างกิจกรรมของหัวหน้าฝ่าย	4.20	0.75	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.33</b>	<b>0.15</b>	<b>มาก</b>
<b>ด้านความถูกต้องในการทำงานของฟังก์ชันต่างๆ ในระบบ</b>			
1. ความถูกต้องในการบริหารจัดการกลุ่มผู้ใช้	4.60	0.49	มากที่สุด
2. ความถูกต้องของการติดต่อสื่อสาร เช่น กระดานถามตอบปัญหา การสนทนากลุ่ม การประชุมออนไลน์	4.40	0.80	มาก
3. ความถูกต้องของการมอบหมายงาน	4.60	0.49	มากที่สุด
4. ความถูกต้องของระบบทรัพยากรแหล่งเรียนรู้	4.80	0.40	มากที่สุด
5. ความถูกต้องของการจัดการข้อมูล เช่น การรับ-ส่งไฟล์ข้อมูล	4.80	0.40	มากที่สุด
6. ความถูกต้องของการสะท้อนผล	4.20	0.75	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.57</b>	<b>0.18</b>	<b>มากที่สุด</b>

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความคิดเห็น
<b>ด้านความสะดวกในการใช้ระบบ</b>			
1. ความเหมาะสมในการวางตำแหน่งของส่วนประกอบจอภาพ	4.20	0.75	มาก
2. ความเหมาะสมของการใช้พื้นหลัง สีของตัวอักษร และรูปภาพประกอบต่างๆ	4.60	0.49	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้	4.20	0.40	มาก
4. ความเหมาะสมในการเข้าใช้งานตามรายการต่าง ๆ ได้สะดวก	4.60	0.49	มากที่สุด
5. ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่อการสื่อความหมาย	4.20	0.75	มาก
6. ความเหมาะสมของคำแนะนำการใช้งานระบบ	4.20	0.40	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.33</b>	<b>0.16</b>	<b>มาก</b>
<b>ด้านการตรวจสอบและความปลอดภัยในการใช้งานระบบ</b>			
1. ความเหมาะสมในการบริหารจัดการผู้ใช้งานระบบ	4.60	0.49	มากที่สุด
2. ความเหมาะสมในการบริหารจัดการสิทธิ์ในการใช้งานระบบ	4.40	0.80	มาก
3. ความเหมาะสมด้านความปลอดภัยในการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคล	4.40	0.49	มาก
4. ความเหมาะสมด้านความปลอดภัยในการเข้าถึงฐานข้อมูลของระบบ	4.60	0.49	มากที่สุด
<b>รวม</b>	<b>4.50</b>	<b>0.16</b>	<b>มาก</b>
<b>ด้านเอกสารคู่มือประกอบการใช้งานระบบ</b>			
1. ความสอดคล้องของคู่มือกับวัตถุประสงค์ในการจัดทำคู่มือประกอบการใช้งานระบบ	4.40	0.49	มาก
2. ความสอดคล้อง ความชัดเจนของเนื้อหาในคู่มือประกอบการใช้งานระบบ	4.20	0.40	มาก
3. ความเหมาะสมของการใช้ภาษาสำหรับสื่อสารในคู่มือประกอบการใช้งานระบบ	4.40	0.49	มาก
4. ความเหมาะสมของรูปแบบการจัดพิมพ์คู่มือประกอบการใช้งานระบบ	4.80	0.40	มากที่สุด
5. ความสะดวกในการนำคู่มือประกอบการใช้งานระบบไปใช้	4.40	0.49	มาก
<b>รวม</b>	<b>4.44</b>	<b>0.05</b>	<b>มาก</b>
<b>ค่าเฉลี่ยโดยรวม</b>	<b>4.43</b>	<b>0.20</b>	<b>มาก</b>



## อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

1. การพัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข สำนักงานสาธารณสุขอำเภอม่วงสามสิบ จังหวัดอุบลราชธานี ด้วยมูเดล โดยแบ่งการทำงานของระบบออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ 1) ส่วนของผู้ดูแลระบบ 2) ส่วนของหัวหน้าฝ่าย และ 3) ส่วนของเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ทั้งนี้การประยุกต์ใช้โปรแกรมมูเดล เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข ทำให้เกิดระบบงานที่สามารถบริหารจัดการจัดการโดยหัวหน้าฝ่าย ประกอบด้วย การกำหนดสิทธิ์การใช้ระบบ การรักษาความปลอดภัย การบริหารจัดการข้อมูล การติดต่อสื่อสาร การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การมอบหมายงาน หรือการติดตามผลการดำเนินงาน เป็นต้น จึงทำให้ระบบสามารถนำมาสนับสนุนงานได้เป็นอย่างดี
2. การประเมินประสิทธิภาพของระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยผู้เชี่ยวชาญ ในภาพรวมความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.43 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ (Functional Requirement Test) ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.15 เนื่องจากผู้วิจัยได้ดำเนินการตามวิธีการออกแบบระบบของ ADDIE ตั้งแต่การวิเคราะห์ปัญหาของระบบงานเดิม วิเคราะห์ความต้องการของระบบงานใหม่ให้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านความถูกต้องในการทำงานของฟังก์ชันต่างๆ ในระบบ (Functional Test) ความคิดเห็นอยู่ในระดับมากที่สุด ค่าเฉลี่ย 4.57 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.18 เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุข โดยใช้โปรแกรมมูเดลเป็นเครื่องมือในการพัฒนาระบบ จึงทำให้การฟังก์ชันการทำงานต่างๆ ในระบบมีความถูกต้องและสมบูรณ์ในตัวโปรแกรมอยู่แล้ว ด้านความสะดวกในการใช้ระบบ (Usability Test) ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.16 เนื่องจากการออกแบบโครงสร้างการทำงานของแต่ละฝ่ายให้มีรูปแบบพื้นฐานเดียวกัน ทำให้การทำงานมีความสะดวก รวมถึงการนำเสนอเนื้อหาด้วยข้อความ ภาพ กราฟิก ที่สวยงามให้เหมาะกับผู้ใช้งานแต่ละส่วน ด้านการตรวจสอบและความปลอดภัยในการใช้งานระบบ (Security Test) ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.16 เนื่องจากระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุขมีระบบบริหารจัดการผู้ใช้งานและมีการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าใช้งานระบบและการเข้าถึงข้อมูลส่วนบุคคล และด้านเอกสารคู่มือประกอบการใช้งานระบบ (Documentation Test) ความคิดเห็นอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย 4.44 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.20 เนื่องจากผู้วิจัยได้จัดทำคู่มือการใช้งานระบบที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การใช้งานระบบ ซึ่งมีการนำเสนอเนื้อหาด้วยข้อความ ภาพ กราฟิก ที่สวยงามและชัดเจน จากผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่าด้านการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้และด้านความสะดวกในการใช้ระบบ มีระดับความคิดเห็นน้อยกว่าด้านอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจาก ระบบสนับสนุนการดำเนินงานด้านสาธารณสุขได้ประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เป็นระบบจัดการเรียนรู้ ภาษาที่ใช้ในแต่ละเมนูจึงเป็นภาษาทางด้านการศึกษา ซึ่งอาจจะเข้าใจได้ยากสำหรับบุคลากรสาธารณสุข ดังนั้นผู้พัฒนาระบบจึงควรปรับภาษาในแต่ละเมนูให้มีความเข้าใจได้ง่ายสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป ส่วนประสิทธิภาพระบบ ด้านความถูกต้องในการทำงานของฟังก์ชันต่างๆ มีระดับ

ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญมากกว่าด้านอื่นๆ เนื่องจากฟังก์ชันการใช้งานมีความถูกต้องและสมบูรณ์ในตัวโปรแกรมอยู่แล้ว เพราะโมเดลมีการพัฒนาแต่ละรุ่น (version) อย่างต่อเนื่อง ทำให้โปรแกรมมีประสิทธิภาพและสนองตอบความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างสมบูรณ์ สอดคล้องกับสุทธาสินี (2557) ได้ทำวิจัยเรื่อง ระบบช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาการใช้งานเว็บไซต์สำหรับบุคลากรสายวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยใช้เทคนิคการให้เหตุผลตามกรณีเป็นหลัก (Case-Based Reasoning) โดยได้ใช้โปรแกรมโมเดลในการพัฒนาเช่นกัน ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ พบว่า ภาพรวมอยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่า ด้านที่มีคะแนนเฉลี่ยน้อยกว่าด้านอื่นๆ คือ ด้านความสามารถของระบบตรงตามความต้องการของผู้ใช้ (Functional Requirement Test) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.26 การยอมรับในคุณภาพระดับดี และด้านที่มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าด้านอื่นคือ ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ (Functional Test) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.60 การยอมรับในคุณภาพระดับดีมาก

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าภาพรวมระบบอยู่ในระดับดี เนื่องจากผู้วิจัยได้ดำเนินการตามวิธีการออกแบบระบบของ ADDIE ตั้งแต่การวิเคราะห์ปัญหาของระบบงานเดิม วิเคราะห์ความต้องการของระบบงานใหม่ นำมาออกแบบโครงสร้างการทำงานของแต่ละฝ่ายให้มีรูปแบบพื้นฐานเดียวกัน ทำให้การทำงานมีความสะดวก รวมถึงการนำเสนอเนื้อหาด้วยข้อความ ภาพ กราฟิก ที่สวยงาม จากนั้นนำไปใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ และผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ในงานสาธารณสุข ประเมินประสิทธิภาพระบบ จึงทำให้ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบอยู่ในระดับมาก ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริง และเกิดประสิทธิภาพต่อองค์กร

### กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญทั้ง 2 กลุ่ม คือ ผู้เชี่ยวชาญประเมินความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของแบบสอบถาม และผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพของระบบ จากอาจารย์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตเพชรบูรณ์ และบุคลากร สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี โรงพยาบาลม่วงสามสิบ และสำนักงานสาธารณสุขอำเภอโพธิ์ไทร ที่ให้ข้อเสนอแนะ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- บุญชม ศรีสะอาด. (2560). การวิจัยเบื้องต้น. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- พลวรรธน วิฑูรกลชิต. (2560). ยุทธศาสตร์เทคโนโลยีสารสนเทศสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข (2560-2569). นนทบุรี : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศฯ.
- มนต์ชัย เทียนทอง. (2554). การออกแบบและพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : พี ที เอ เบสท์ ซัพพลาย.
- สุธาสิณี ยกระดับขั้น. (2557). ระบบช่วยเหลือและแก้ไขปัญหาการใช้งานเว็บไซต์สำหรับบุคลากรสายวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยใช้เทคนิคการให้เหตุผลตามกรณีเป็นหลัก (Case-Based Reasoning). ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- อาณัติ รัตนธิรกุล. (2558). ติดตั้งและบริหารระบบ e-Learning ด้วย Moodle (ฉบับสมบูรณ์). กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

## คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชรมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์ ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ปีละ 2 ฉบับ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารจะต้องผ่านการตรวจพิจารณาจาก กองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน/บทความ โดยใช้การ Peer-review เป็นแบบ double blinded หากมีความเห็นว่าจะต้องมีการปรับ แก้ไขทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเพื่อแก้ไขและขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาไม่ลงพิมพ์เมื่อไม่ผ่านการพิจารณา ผู้ที่มีความประสงค์จะส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ให้ ปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังต่อไปนี้

### การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

#### หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์ตามรูปแบบและข้อแนะนำในการเขียนบทความของวารสารนี้เท่านั้น
2. ต้นฉบับที่ส่งมาให้พิจารณาจะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน และจะต้องไม่ ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน
3. การตีพิมพ์บทความลงในวารสาร จะเรียงตามลำดับก่อนหลังตามวันที่ได้รับเรื่อง
4. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่องรวมทั้งการปรับปรุง บทความบางส่วนตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้อ่านบทความ
5. กรณีเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร กองบรรณาธิการจะคัดเลือกบทความที่นักศึกษาส่งซึ่งอาจไม่ได้ตีพิมพ์ทุกบทความ
6. บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร ถือว่าเป็นผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยของคณะผู้เขียนไม่ใช่ ความคิดเห็นของกองบรรณาธิการ ผู้เขียนและคณะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน
7. บทความที่ได้ผ่านการพิจารณาแล้ว ทางกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบเป็น ายลักษณ์อักษร

#### การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับเอกสารพร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่ [http://research.kpru.ac.th/old/journal\\_science/](http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/) และสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา อาคาร 1 ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกาแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกาแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0 5572 1879, 0 5572 2500 ต่อ 1760 หรือนายทวิช ปิ่นวิเศษ โทรศัพท์ 08 4593 9223


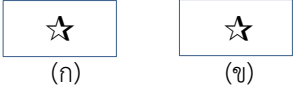
## รูปแบบการพิมพ์บทความ

1. ให้พิมพ์ลงบนกระดาษ ตั้งค่ากระดาษเป็น B5 (JIS) โดยจำนวนหน้าของเนื้อหาและเอกสารอ้างอิง รวมทั้งสิ้นไม่เกิน 10 หน้า ใช้ตัวอักษร TH Sarabun PSK และแต่ละหน้าไม่เกิน 30 บรรทัด

2. ข้อปฏิบัติการพิมพ์แต่ละหัวข้อ/ส่วนประกอบ มีดังนี้

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
1	ชื่อบทความ	ระบุชื่อบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ <b>ขนาดตัวอักษร 16 พอยท์ ตัวหนา</b> ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2	ชื่อผู้เขียนบทความ	ระบุชื่อผู้วิจัย, ผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา</b> ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
3	สังกัดผู้เขียนบทความ	ระบุวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา ตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานที่สังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 12 พอยท์</b> ไว้ที่เชิงอรรถท้ายหน้า
4	บทคัดย่อ (Abstract)	บทคัดย่อมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อความของบทคัดย่อไม่เกิน 10 บรรทัดและภาษาอังกฤษไม่เกิน 300 คำ เป็นการเขียนข้อสรุปหลักของผลการวิจัยทั้งหมดแบบสรุป กระชับ และได้ใจความ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์</b>
5	คำสำคัญ (Keywords)	ระบุคำสำคัญ 2-5 คำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไว้ท้ายบทคัดย่อ <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์</b>
6	เนื้อหา (Content)	ทุกหัวข้อ <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์</b> ตัวหนา วางไว้ชิดขอบซ้าย ส่วนรายละเอียด <b>ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์</b> ประกอบด้วย <ol style="list-style-type: none"><li><b>บทนำ (Introduction)</b> เขียนแสดงที่มาและความสำคัญของปัญหา แนวคิดและทฤษฎี วัตถุประสงค์ ไม่ควรคัดลอกข้อความ เนื้อหาของเอกสารอื่นมาอ้างอิงทั้งข้อความ และไม่ควรรีใช้เอกสารอ้างอิงที่เกิน 10 ปี</li><li><b>วิธีดำเนินการวิจัย (Objectives)</b> อธิบายเกี่ยวกับประชากร และกลุ่มตัวอย่างหรือแหล่งข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเขียนให้กระชับและชัดเจน</li></ol>

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย						
	เนื้อหา (Content) (ต่อ)	<p><b>3. ผลการวิจัย (Conclusion)</b> รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ควรมีตารางและภาพประกอบได้ ใช้คำที่เข้าใจง่าย และชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน ภาพเป็นไฟล์ .JPEG</p> <p><b>4. อภิปรายผล (Discussion)</b> วิเคราะห์ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหลักวิชาการ อาจมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์</p> <p><b>5. บทสรุป</b> สรุปประเด็นที่พบและประเด็นการศึกษาและหากเป็นบทความวิชาการจะมี 3 หัวข้อ คือ บทนำ เนื้อหา และการอ้างอิงแหล่งสารสนเทศ และสรุป</p>						
7	กิตติกรรมประกาศ	ควรมีเพื่อแสดงคำขอบคุณ สำหรับแหล่งทุนสนับสนุนหรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัยและเตรียมเอกสาร						
8	รูปภาพ ตาราง และสมการ (ถ้ามี)	<p><b>รูปภาพ</b></p> <p>คำอธิบายรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพและอยู่กึ่งกลางคอลัมน์หรือกึ่งหน้ากระดาษ หากรูปภาพแบ่งเป็น 2 ส่วน ให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วน โดยใช้ตัวอักษรในการวงเล็บเรียงลำดับ เช่น (ก) (ข) หรือ (A) (B)</p> <p>ตัวอย่างรูปภาพ</p> <div style="text-align: center;"> ภาพที่ 1 .....</div> <div style="text-align: center;"> ภาพที่ 2 .....</div> <p><b>ตาราง</b></p> <p>ตารางที่แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ตารางแบบเส้นคู่เปิด-ปิดตาราง ดังตัวอย่าง</p> <p>ตารางที่ 1 .....</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"><tbody><tr><td>A</td><td>B</td><td>C</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr></tbody></table>	A	B	C	1	2	3
A	B	C						
1	2	3						

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
		การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความควรระบุเป็นภาพที่ และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1 และตารางที่ 1 <b>สมการ</b> การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์ เว้นบรรทัดบนและล่างอย่างละ 1 บรรทัดและมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1) (2) ตำแหน่งของหมายเลขสมการจะต้องอยู่ชิดด้านขวาของคอลัมน์ ดังตัวอย่าง $A + B = C \qquad (1)$
9	การอ้างอิงในเนื้อหา	ลงรายการ (ชื่อผู้แต่ง, ปี) ตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)
10	เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในเนื้อหาทุกรายการต้องนำไปใส่ไว้ในเอกสารอ้างอิงท้ายบทความในรูปแบบการลงรายการบรรณานุกรมที่กำหนดไว้ในวารสารนี้ (ยึดรูปแบบ APA)

## รูปแบบการอ้างอิงในเนื้อหาและบรรณานุกรม

### หนังสือ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือ

อ้างอิง	ภาษาไทย	(ชื่อ, ปี)
	ภาษาอังกฤษ	(นามสกุล, ตัวอักษรแรกของชื่อ., ปี)
บรรณานุกรม	ภาษาไทย	ชื่อ/นามสกุล./ (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อเรื่อง./ (ครั้งที่พิมพ์)/ สถานที่พิมพ์:/ สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.
	ภาษาอังกฤษ	นามสกุล./ อักษรย่อชื่อแรก ชื่อกลาง (ปีที่พิมพ์)/ ชื่อเรื่อง/ครั้งที่พิมพ์./ สถานที่พิมพ์:/ สำนักพิมพ์ หรือโรงพิมพ์.

### 1. ผู้แต่งคนเดียว

(สมพงษ์, 2548)

สมพงษ์ ชูมาก. (2548). กฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีเมือง. (พิมพ์ครั้งที่ 3).

กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

(สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยาณิวัฒนา, 2531)

กัลยานิวัฒนา, สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้า. (2531). **เจ้านายเล็กๆ ยุวกษัตริย์.**

(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : ด่านสุทธาการพิมพ์.

(Wilson, 2007)

Wilson, K. (2007). **Smart choice.** (2 nd ed). London : Oxford University Press.

## 2. ผู้แต่งมากกว่า 3 คน

(อวยพร และคนอื่นๆ, 2548)

อวยพร พานิช และคนอื่นๆ. (2548). **ภาษาและหลักการเขียนเพื่อการสื่อสาร.**

กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

(Crouhy, et al., 2006)

Crouhy, M., et al. (2006). **The essentials of risk management.** New York :

McGraw-Hill.

## 3. ผู้แต่งเป็นหน่วยงาน

(มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2546)

สุโขทัยธรรมาธิราช, มหาวิทยาลัย. (2546). **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาการ**

**วิจัยการบริหารการศึกษา.** นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2541)

การศึกษาแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ. (2541). **การปฏิรูปการเรียนรู้ตามแนวคิด**

**5 ทฤษฎี.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไอดีเอสแควร์,

(Ministry, 2002)

Education, Ministry of. (2002). **Chiangmai : Nop Bueri Si Nakon Ping.**

Bangkok : Ministry of Education.

## 4. วิทยานิพนธ์

(เขวงศักดิ์, 2543)

เขวงศักดิ์ เขียวเงิน. (2543). **การดำเนินงานการประกันคุณภาพการศึกษาของ**

**สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต**

**บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.**

(โอภามา, 2550)

โอภามา จำเแะ. (2550). **การจัดการตลาดทางเลือกเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษา**

**สหกรณ์การเกษตรยั่งยืนแม่ทาจำกัด ตำบลแม่ทา กิ่งอำเภอแม่อน**

**จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์พัฒนาชุมชนมหาบัณฑิต**

**คณะสังคมสงเคราะห์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.**



(Almeida, 1990)

Almeida, D.M. (1990). **Father's participation in family work : Consequences for fathers' stress and father child relation.** Master's thesis, University of Victoria.

#### 5. รายงานการประชุม

(นิทัศน์, 2540)

นิทัศน์ ภัทรโยธิน. (2540). **ตลาดซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า ในการประชุม นักบัญชีทั่วประเทศ ครั้งที่ 15 วิสัยทัศน์นักบัญชีไทย.** วันที่ 27-28 มิถุนายน พ.ศ. 2540 (หน้า 19-35). กรุงเทพฯ : สมาคมนักบัญชีและผู้สอบบัญชีรับอนุญาตแห่งประเทศไทย.

(Paitoon, 1995)

Paitoon Sinlarat. (1995). Success and failure of facility in Thai university. In Somwang Pitiyanuwat, et al. (Eds), **Preparing teachers for All the World's Children: An Era of Transformation Proceedings of International Conference, Bangkok 1992.** (pp. 217-233). Bangkok : UNICEF.

#### วารสาร

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสาร การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

**อ้างอิง** (ชื่อ/ปีที่พิมพ์)

**บรรณานุกรม** ชื่อ/นามสกุล/(ปี/เดือน/วัน)/ชื่อบทความ/**ชื่อวารสาร**,/ปีที่(ฉบับที่)/หน้า (มัลลวีร์, นิตย และวิลาวลัย, 2549)

มัลลวีร์ อุดลวัฒน์ศิริ, นิตย บุษงามงคล และวิลาวลัย จตุรอำรง. (2549, กรกฎาคม-ธันวาคม). การศึกษาและพัฒนาพฤติกรรมทางจริยธรรมของเยาวชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. **วารสารศึกษาศาสตร์**, 29(3-4), 83-92.

(Bekerian, 1993)

Bekerian, D.A. (1993, June). In search of the typical eyewitness. **American Psychologist**, 48, 574-576.

## หนังสือพิมพ์

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์ การลงรายการชื่อผู้แต่งเหมือนหนังสือ

อ้างอิง (ชื่อ/ปี)

บรรณานุกรม ชื่อ/นามสกุล./ (ปี, เดือน/วัน). ชื่อบทความหรือพาดหัวข่าว./  
ชื่อหนังสือพิมพ์./ หน้า.

(สมศรี, 2550)

สมศรี หาญอนันตสุข. (2550, มิถุนายน 26). ภาครัฐธรรมนุญใหม่จะสร้าง  
มิติใหม่ให้สังคมพุทธ. **มติชน**, หน้า 7.

(Krishman, 2007)

Krishman, E. (2007, June 26). Rebuilding self-esteem

**Bangkok post**, p.1, 12.

## จุลสาร

รูปแบบการอ้างอิงและบรรณานุกรมจุลสาร แผ่นพับ แผ่นปลิว

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต./ (ปี)./ชื่อเรื่อง./ [แผ่นพับ]./สถานที่พิมพ์:/  
ผู้แต่งหรือหน่วยงานที่ผลิต.

(การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย, 2541)

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2541). **ท่องเที่ยวสงขลา**. [แผ่นพับ].

สงขลา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย.

(Research and Training Center on Independent Living, 1993)

Research and Training Center on Independent Living. (1993).

**Guidelines for reporting and writing about**

**people with disabilities**. [Brochure]. Lawrence :

Research and Training Center on Independent Living.

## โสตทัศนวัสดุ

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมโสตทัศนวัสดุ

อ้างอิง (ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้สร้างหรือผู้ผลิต./ (ปี)./ชื่อเรื่อง./ [ประเภทโสตทัศนวัสดุ]./สถานที่ผลิต:/  
หน่วยงานหรือบริษัทที่ผลิต.

(ยุพดี, 2530)

ยุพดี พยัฆพันธ์ (ผู้บรรยาย). (2530). **ยาสมุนไพร**. [แถบบันทึกเสียง].

กรุงเทพฯ : องค์การวิทยาศาสตร์การแพทย์.

## ซีดีรอม

รูปแบบการลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมซีดี-รอม (CD-ROM)

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[CD-ROM]./Available:/แหล่งที่มา./[ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].  
(อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร, 2543)

อุทยานประวัติศาสตร์กำแพงเพชร. (2543). [CD-ROM]. Available :  
ฐานข้อมูลไปคูให้เต็มดล้าค่าความเป็นไทย. [2544, มิถุนายน 23].  
(Social Science Index, 1999)

Social Science Index. (1999). [CD-ROM]. Available : UMI/Social  
Science Index. [2005, June 26].

## เอกสารอิเล็กทรอนิกส์

1. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสืออิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./ชื่อเรื่อง./[Online]. Available : แหล่งที่มา./  
[ปี, เดือน/วันที่สืบค้น].

(อรรถศิษฐ์, 2542).

อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์. (2542). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน. [Online].

Available : [http://158.108.200.11/soil/009421/  
chap1.htm#era1](http://158.108.200.11/soil/009421/chap1.htm#era1). [2550, กุมภาพันธ์ 20].

(Abell, 2002)

Abell, S.K. (2002). **Science teacher education : An international  
perspeetive**. [Online]. Available : [http://ebook.Springerlink.  
com/Search/Search Results.aspx?](http://ebook.Springerlink.com/Search/Search Results.aspx?) [2007, June 30].

2. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมวารสารอิเล็กทรอนิกส์

อ้างอิง (ชื่อผู้แต่ง./ปี)

บรรณานุกรม ชื่อผู้แต่ง./ปี./บทความ./ชื่อวารสาร [Online], /ปีที่./ฉบับที่).

Available:/แหล่งที่มา./[ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].

(Kenneth, 1998)

Kenneth, I. (1998). A Buddhist response to the nature of human  
rights. **Journal of Buddhist Ethies** [Online], 2, (9).

Available : <http://www.cac.psu.edu/Jbe/twocont.html>.  
[2006, August 12].

### 3. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมหนังสือพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์

- อ้างอิง** (ชื่อผู้แต่ง, วัน/เดือน/ปี)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้แต่ง./ (ปี./เดือน/วัน)./บทความหรือพาดหัวข่าว ใน **ชื่อหนังสือพิมพ์**  
[Online]. Available : แหล่งที่มา [ปี, เดือน วันที่สืบค้น].  
(ชุม, (นามแฝง), 25 ตุลาคม 2542)  
ชุม. (นามแฝง). (2542, ตุลาคม 25). บุญของคนไทย ใน **ไทยรัฐ**. [Online].  
Available : <http://www.thairath.co.th>. [2542, ตุลาคม 25].  
(ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2, 2550)  
ศธ. ยุติการถ่ายโอนสถานศึกษาบัญชี 2. (2550, มิถุนายน 23). ใน **ไทยรัฐ**.  
[Online]. Available : <http://www.thairath.co.th>. [2550, มิถุนายน 30].

### 4. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากเว็บไซต์เว็บ (www.)

- อ้างอิง** (ชื่อผู้แต่ง./ปี)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้แต่ง./ (ปี)./ชื่อเรื่องหรือหัวข้อเรื่อง./[Online]./Available:/แหล่งที่มา./  
[ปี./เดือน/วันที่สืบค้น].  
(ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ม.ป.ป.)  
เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ศูนย์. (ม.ป.ป.).  
**การจัดการศึกษาทางไกล**. [Online]. Available : <http://www.nectec.or.th/courseware/cai/0015.htm>. [2550, กรกฎาคม 1].  
(Ministry of Education, 2005)  
Education, Ministry of. (2005). **The Regional Seminar on Higher Education in Southeast Asian Countries**. [Online].  
Available : <http://www.inter.mua.go.th/news/News%20January%202005.htm>. [2006, January 5].

### การสัมภาษณ์

#### การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากการสัมภาษณ์

- อ้างอิง** (ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ปี/เดือน/วันที่สัมภาษณ์)
- บรรณานุกรม** ชื่อผู้ให้สัมภาษณ์./ (ปี./เดือน/วันที่สัมภาษณ์)./ตำแหน่ง./สัมภาษณ์.  
(ดิลก, 2543)  
ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏ  
สวนสุนันทา. สัมภาษณ์.  
(Page, 1991)  
Page, O. (1991, March 5). President, Austin Peay State University. Interview.

แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....
2. ระดับการศึกษาสูงสุด.....ตำแหน่งทางวิชาการ.....
3. สถานะภาพของผู้ส่งบทความ  อาจารย์  บุคคลทั่วไป
4. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก  
.....  
โทรศัพท์.....E-mail.....
5. ประเภทบทความ  บทความวิจัย  บทความวิชาการ
6. ชื่อบทความ  
(ภาษาไทย).....  
(ภาษาอังกฤษ).....
7. บทความฉบับนี้มีการอ้างอิงบทความจาก สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน.....บทความ โดยเป็นบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จำนวน.....บทความ หรืออ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จากวารสารอื่นๆ จำนวน.....บทความ
8. บทความฉบับนี้มิได้คัดลอกผลงาน มิได้ละเมิดลิขสิทธิ์ และไม่ขัดต่อกฎหมายใดๆ ซึ่งผู้เขียนบทความเขียนโดยใช้ความรู้ ความสามารถและการสังเคราะห์ของตนเอง
9. ผู้เขียนบทความยินยิตดใช้ค่าเสียหายใดๆ ที่อาจมีผู้เรียกร้องหรือฟ้องร้องตามกฎหมายทุกประการ โดยไม่เกี่ยวข้องกับพิจารณาตีพิมพ์บทความของกองบรรณาธิการหรือเจ้าของวารสาร
10. กรณีบทความที่มีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ผู้เขียนบทความทุกคนได้ลงชื่อยืนยันการเป็นผู้เขียนบทความ โดยยอมรับและปฏิบัติตามเงื่อนไขของวารสารนี้ทุกประการ  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสาร รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการ รวมทั้งไม่อยู่ระหว่างยื่นขอตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียนบทความที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตามรายการตรวจสอบบทความ และข้าพเจ้าได้ส่งบทความในระบบ Online ที่ <http://research.kpru.ac.th/sendjournal/> เป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้ส่งบทความ

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้ส่งบทความ

ลงชื่อ.....  
(.....)

ผู้ส่งบทความ

- หมายเหตุ**
- 1.ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้ส่งบทความทุกคน
  - 2.บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ จะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก [http://research.kpru.ac.th/old/journal\\_science/](http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/)

## แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร

### “สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

- เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นๆ
- ไฟล์ที่ส่งได้จัดทำตามรูปแบบที่ระบุในคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ

Word และใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK เท่านั้น

- รูปภาพประกอบเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .JPEG เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- เนื้อหา
- สรุป
- เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- วิธีดำเนินการวิจัย
- ผลการวิจัย
- อภิปรายผล
- กิตติกรรมประกาศ
- เอกสารอ้างอิง

แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

1. ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว).....  
 ตำแหน่งทางวิชาการ (ถ้ามี).....
2. กำหนดการที่คาดว่าจะสำเร็จการศึกษา วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....
3. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก  
เลขที่.....ตำบล.....อำเภอ.....จังหวัด.....  
รหัสไปรษณีย์.....โทรศัพท์.....  
E-mail.....
4. ประเภทบทความ  บทความวิจัย  บทความวิชาการ
5. ชื่อบทความ  
(ภาษาไทย).....  
.....  
(ภาษาอังกฤษ).....  
.....
6. บทความฉบับนี้มีการอ้างอิงบทความจาก สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน.....บทความ
7. อ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จำนวน.....บทความ
8. อ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จากวารสารอื่นๆ จำนวน.....บทความ  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงใน สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียนบทความที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตามรายการตรวจสอบบทความเป็นที่เรียบร้อยแล้ว  
ลงชื่อ.....  
(.....)  
ความคิดเห็นของประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์  
“พิจารณาบทความแล้วเห็นสมควรเผยแพร่ได้”  
ลงชื่อ.....  
(.....)  
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์  
ลงชื่อ.....  
(.....)

หมายเหตุ 1. ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้เขียนบทความทุกคน ผู้เขียนบทความ  
2. บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือมีไม่ครบฝ่ายจัดการวารสารจะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ  
จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download  
แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก [http://research.kpru.ac.th/old/journal\\_science/](http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/)



## แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร

### “สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

- เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
- ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นๆ
- ไฟล์ที่ส่งได้จัดทำตามรูปแบบที่ระบุในคำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับเท่านั้น อยู่ในรูปแบบของ

Word และใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK เท่านั้น

- รูปภาพประกอบเป็นไฟล์ที่มีนามสกุล .JPEG เท่านั้น

บทความวิชาการมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อเรื่อง/บทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียน มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- เนื้อหา
- สรุป
- เอกสารอ้างอิง

บทความวิจัยมีหัวข้อตามที่กำหนด ดังนี้

- ชื่อบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- ชื่อ/ที่อยู่ผู้เขียนบทความ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทคัดย่อ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- คำสำคัญ มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- บทนำ
- วิธีดำเนินการวิจัย
- ผลการวิจัย
- อภิปรายผล
- กิตติกรรมประกาศ
- เอกสารอ้างอิง

---

**แบบฟอร์มค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์บทความเพื่อเผยแพร่ในวารสาร**  
**สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**

---

1. ข้อมูลผู้ส่งบทความ

ชื่อ นางสาว/นาง/นาย .....

อาชีพ.....

2. ที่อยู่สำหรับจัดส่งเล่มวารสาร เลขที่.....ตำบล.....อำเภอ.....

จังหวัด.....รหัสไปรษณีย์.....

3. ค่าดำเนินการตรวจประเมินบทความ บทความละ 4,500 บาท โดยผู้ส่งบทความได้รับวารสาร 1 เล่ม

4. ผู้ส่งบทความประสงค์จะซื้อวารสารเพิ่มราคา 500 บาท จำนวน.....เล่ม เป็นเงิน.....บาท

5. ค่าสมัครสมาชิกวารสาร ปีละ 1,000 บาท

มีความประสงค์สมัครสมาชิก       ไม่มีความประสงค์สมัครสมาชิก

6. การชำระเงิน

โอนเงินเข้าบัญชีธนาคารกรุงไทย สาขาชาแก้งราว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-60979-9

ชื่อบัญชี สัปดาห์ : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

แจ้งหลักฐานการชำระเงินทางระบบส่งบทความ

ลงชื่อผู้ส่งบทความ.....

(.....)

...../...../.....

หมายเหตุ : กรณีบทความไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร สัปดาห์ : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางกองบรรณาธิการจะไม่คืนค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ของท่าน

---

## จริยธรรมในการตีพิมพ์ในวารสาร “สักทอง” (Publication Ethics)

---

การเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานสร้างสรรค์ในปัจจุบันมีหลายลักษณะ ซึ่งประกอบด้วย หนังสือ ตำรา เอกสารประกอบการสอน งานแปล บทความวิชาการ บทความวิจัย งานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ งานวิจัยที่นำเสนอในการประชุมวิชาการ งานประดิษฐ์หรืองานสร้างสรรค์ วารสาร “สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี” มุ่งมั่นที่จะรักษามาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์ (Publication Ethics) อย่างเคร่งครัด ดังนี้

### บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการและกองบรรณาธิการ (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมทั้งพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพและทันสมัยอยู่เสมอ
2. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้พิมพ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และจะต้องไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ และนำไปเป็นผลงานของตนเอง
3. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการพิจารณาคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัด
4. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหา กับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนตีพิมพ์
5. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่แก้ไขผลการประเมินบทความของผู้ทรงคุณวุฒิ
6. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความ ผู้พิมพ์ และสังกัดของผู้พิมพ์
7. หากบรรณาธิการและกองบรรณาธิการตรวจสอบพบว่าบทความที่ตรวจพิจารณา มีการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องแจ้งให้ผู้พิมพ์ทราบทันที และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น
8. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้พิมพ์ ให้แก่บุคคลอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง
9. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการจะไม่รับบทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่แล้ว

## บทบาทและหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิตรวจประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลัก โดยพิจารณาบทความด้วยหลักการและเหตุผลทางวิชาการ โดยปราศจากอคติ และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาในการตรวจประเมินตามกรอบเวลาที่กำหนด และไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง
3. ผู้ทรงคุณวุฒิควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญโดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้นๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของผลงาน ไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
4. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาผลประโยชน์จากบทความที่ตรวจประเมินโดยเด็ดขาด
5. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่ตรวจพิจารณา มีการคัดลอกผลงานจากที่อื่นๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบทันที หรือปฏิเสธบทความนั้น โดยการประเมินให้ “ไม่ผ่าน”

## บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. บทความของผู้นิพนธ์ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน
2. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการเรียบเรียงบทความนี้จริง
3. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความของตนเอง ถ้าวารสารทราบว่าบทความของผู้นิพนธ์มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น ทางวารสารจะไม่ขอรับผิดชอบ และให้เอาผิดจากผู้นิพนธ์ทุกประการ
4. ผู้นิพนธ์ต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ
5. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความให้ตรงตามรูปแบบที่วารสารกำหนดไว้ในคำแนะนำของวารสารอย่างถูกต้อง รวมทั้งต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ
6. ผู้นิพนธ์ต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำบทความไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นๆ หลังจากที่ได้รับ การตีพิมพ์แล้ว



ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
เรื่อง การเรียกเก็บและการเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร  
ค่าสมัครสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร พ.ศ. ๒๕๖๒

ตามที่ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีการจัดทำวารสารเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการในสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ และสักทอง: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินการดังกล่าวเป็นไปด้วยความเรียบร้อย อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๓๑ แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยราชภัฏ พ.ศ. ๒๕๔๗ ประกอบกับข้อ ๕.๒ และข้อ ๖ แห่งข้อบังคับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรว่าด้วยการจัดบริการวิชาการและจัดหารายได้ พ.ศ. ๒๕๕๙ และที่แก้ไขเพิ่มเติม และมติที่ประชุมคณะกรรมการบริหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ ๒/๒๕๖๒ เมื่อวันที่ ๑๒ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๒ จึงออกประกาศไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ ๑ ประกาศนี้เรียกว่า “ประกาศมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เรื่อง การเรียกเก็บและการเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร ค่าสมัครสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร พ.ศ. ๒๕๖๒”

ข้อ ๒ ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่วันที่ ๒๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒ เป็นต้นไป

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“มหาวิทยาลัย” หมายความว่า มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“อธิการบดี” หมายความว่า อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“สถาบันวิจัยและพัฒนา” หมายความว่า สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏ

กำแพงเพชร

“วารสาร” หมายความว่า วารสารของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้แก่ สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ หรือสักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

“บุคลากรภายใน” หมายความว่า ข้าราชการพลเรือน พนักงานมหาวิทยาลัย พนักงานราชการ ลูกจ้างชั่วคราว สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และนักศึกษาซึ่งกำลังศึกษาอยู่ในมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“บุคคลภายนอก” หมายความว่า บุคคลอื่นใดที่ไม่ได้สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“ผู้ทรงคุณวุฒิ” หมายความว่า ผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญสาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสาขาอื่นๆ ตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

“สมาชิก” หมายความว่า บุคลากรภายในหรือบุคคลภายนอกที่สมัครเป็นสมาชิกวารสาร

ข้อ ๔ มหาวิทยาลัยเรียกเก็บเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ ค่าสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสารจากบุคลากรภายในและบุคคลภายนอก ดังนี้

๔.๑ ค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความในวารสาร บทความละ ๔,๕๐๐ บาท

๔.๒ ค่าสมัครสมาชิกวารสาร ปีละ ๑,๐๐๐ บาท

๔.๓ ค่าเล่มวารสาร เล่มละ ๕๐๐ บาท

ข้อ ๕ เงินค่าธรรมเนียมที่เรียกเก็บจากการตีพิมพ์บทความ ค่าสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร จากบุคลากรภายในและบุคลากรภายนอก ในข้อ ๔ ให้ดำเนินการดังนี้

๕.๑ ใช้ใบเสร็จเบ็ดเตล็ดของมหาวิทยาลัยเป็นใบเสร็จรับเงินที่เรียกเก็บตามประกาศนี้

๕.๒ นำเงินฝากธนาคารกรุงไทย สาขาซากังราว ในชื่อบัญชี สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ของมหาวิทยาลัย

๕.๓ เมื่อสิ้นปีงบประมาณหากมีเงินเหลือให้สมทบเป็นเงินรายได้เงินฝากถอนคืนวารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ ของสถาบันวิจัยและพัฒนา

ข้อ ๖ สถาบันวิจัยและพัฒนาเบิกจ่ายเงินค่าธรรมเนียมการตีพิมพ์บทความ ค่าสมาชิกวารสาร และค่าเล่มวารสาร ในข้อ ๔ ดังนี้

๖.๑ จัดสรรเป็นเงินรายได้ประเภทเงินฝากถอนคืนของมหาวิทยาลัย ร้อยละ ๑๐

๖.๒ จัดสรรเป็นเงินรายได้ประเภทเงินฝากถอนคืนของสถาบันวิจัยและพัฒนา ไม่เกินร้อยละ ๑๐

๖.๓ ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจบทความ คนละ ๑,๐๐๐ บาท ต่อ ๑ บทความ

๖.๔ ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจบทความคัดย่อและบรรณานุกรมภาษาอังกฤษ บทความละ

๓๐๐ บาท

๖.๕ ค่าใช้สอยในการประชุมกองบรรณาธิการ ไม่เกินครั้งละ ๑,๐๐๐ บาท

๖.๖ ค่าใช้สอยในการจัดส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ไม่เกินบทความละ ๒๐๐ บาท

การเบิกจ่ายเพื่อจัดสรรเป็นเงินรายได้ในข้อ ๖.๑ และ ๖.๒ ให้เป็นหน้าที่ของเจ้าหน้าที่การเงินเป็นผู้เบิกจ่าย

ข้อ ๗ ค่าใช้จ่ายอื่นที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในข้อ ๖ ให้เบิกจ่ายตามระเบียบกระทรวงการคลัง หรือระเบียบมหาวิทยาลัย

ข้อ ๘ ให้อธิการบดีเป็นผู้รักษาการตามประกาศนี้ ในกรณีที่เกิดปัญหาจากการปฏิบัติตามประกาศนี้ ให้อธิการบดีมีอำนาจตีความและวินิจฉัยชี้ขาด การวินิจฉัยชี้ขาดของอธิการบดีถือเป็นที่สุด

ประกาศ ณ วันที่ ๒๑ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๒



(รองศาสตราจารย์สุวิทย์ วงษ์บุญมาก)

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร