สักทอง

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

The Golden Teak : Science and Technology Journal

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2565

Vol.9 No.2 July - December 2022

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

GTSJ

สถาบัน

วิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท.)

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

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2565 Vol.9 No.2 July-December 2022

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

วัตถุประสงค์ เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป

ขอบเขต จัดพิมพ์เสนอผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

เจ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียานุช พรหมภาสิต	รักษาราชการแทนอธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.ระมัด โชชัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฆัมภิชา ตันติสันติสม	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เสาวลักษณ์ ยอดวิญญูวงศ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

กองบรรณาธิการ

Professor Dr.Shong Huang	National Taiwan Normal University
ศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญหา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ชนศักดิ์ บ่ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.ดำรัส วงศ์สว่าง	มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.สมพร ไชยยะ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิลาศ พุ่มพิมล	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญดาว แจ่มแจ้ง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุตติ์ พิพรรธนจินดา	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์แดนชัย เครื่องเงิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูญ บูลย์ประมุข	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วชิระ สิงห์คง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันวิสา รักพ่วง	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ฝ่ายจัดการ

รองศาสตราจารย์ ดร.สุณี บุญพิทักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจักษ์ กึกก้อง
อาจารย์ประภัสสรา ห่อทอง
นายทวิช ปิ่นวิเศษ
นางสาวมาริสา 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/

บทความที่ตีพิมพ์ทุกบทความผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิและบทความหรือข้อคิดเห็นใดๆ ที่ปรากฏในวารสารเป็นวรรณกรรมของผู้เขียนโดยเฉพาะ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรและบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

บรรณาธิการแถลง

วารสารสักทอง : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รับใช้แวดวงวิชาการมาอย่างต่อเนื่อง ได้นำเสนอผลงานวิจัยมากมายทั้งในด้านวิทยาศาสตร์บริสุทธิ์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ และเทคโนโลยี ในฉบับนี้วารสารได้นำเสนองานวิจัยทั้งด้านคณิตศาสตร์ทางการเงิน และด้านเทคโนโลยีในโลกยุคดิจิทัล งานวิจัยที่ขาดเสียมิได้ คงไม่พ้น การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศในงานต่างๆ ระบบอุปกรณ์อัตโนมัติ การตรวจจับการบุกรุกและการตรวจสอบเพื่อป้องกันระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งการพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ยังก้าวไปสู่การวิจัยเทคโนโลยีวัสดุศาสตร์เพื่อการประยุกต์ใช้ในงานอัญมณี อาหาร และการทหาร นอกจากนี้ในสภาวะการเปลี่ยนแปลงของโลก การวิจัยเพื่อคงไว้ซึ่งคุณภาพชีวิตยังเป็นสิ่งที่ต้องทำควบคู่กันไป ไม่ว่าจะเป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ทางการเกษตร เพื่อผลิตวัสดุปรับปรุงดิน หรือเพื่อการบำบัดน้ำเสีย ทางกองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าบทความเหล่านี้จะเป็นส่วนหนึ่งของรากฐานและแรงบันดาลใจในการวิจัยและพัฒนาประเทศชาติสืบต่อไป

บรรณาธิการ

สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวส.)

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

ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2565 Vol.9 No.2 July-December 2022

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

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

❍ **บรรณาธิการแถลง**..... ก

❍ **บทความวิจัย**

การพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

กิตติศักดิ์ สิงห์สูงเนิน

Development of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform

Kittisak Singsungnoen..... 1

การพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรโดยใช้เทคโนโลยี ของกลุ่มข้าวภูเขาไฟ บ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา, ผกามาศ บุตรสาลี และทิพย์สุดา ทาสีดำ

Development of Capacity and Support for Farmers through the Use of Volcanic Rice Group's Technology of Ban Khok Mueang, Chorakhemak Sub-district, Prakhon Chai District, Buriram Province

Udompong Ketsripongsa, Pakamat Butsalee and Tipsuda Tasedom..... 15

การวิเคราะห์ระบบตรวจจับการบุกรุกบนอุปกรณ์ฝังตัวเพื่อแจ้งเตือนการบุกรุกเครื่องแม่ข่าย เคอร์เบอรอส

อรรถพล ป้อมสถิตย์

Intrusion Detection System Analysis on Embedded Devices to Alert Kerberos Server Intrusion

Auttapon Pomsathit..... 29

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

การสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

ณัฐดนัย เรือนคำ และคมกริช กลิ่นศรีสุข

Creating a Model of an Automatic Stamping Machine

Nuthdanai Rueankham and Komkrit Klinsresuk..... 43

การพัฒนาและสมบัติของคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส สำหรับประยุกต์เป็นวัสดุขัดในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับไทย

กัญญารัตน์ นามนนท์, ดวงแข บุตรกูล, เบญญา เชิดหิรัญกร, ชิราวุฒิ เพชรเย็น และสุรเชษฐ์ ตุ้มมี

Development and Properties of Polypropylene/Polyethylene Vinyl Acetate/ Micro-Cellulose Composite for Polishing Materials Application in Thailand's Jewelry Industry

Kanyarat Namnon, Duangkhae Bootkul, Benya Cherdhirunkorn, Chiravoot Pechyen and Surachet Toommee..... 59

การศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ/พอลิเอสเตอร์และอิพอกซี่สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง

ธัญญาเรศ ทองยศ, นที ศรีสวัสดิ์, นรรจพร เรืองไพศาล, ชิราวุฒิ เพชรเย็น และสุรเชษฐ์ ตุ้มมี

Theoretical and Property Test of Light Weight Armour Composite from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics/Polyester and Epoxy for Ballistic and Stabbing Protection

Thanyares Thongyos, Natee Srisawat, Nanjaporn Roungpaisan, Chiravoot Pechyen and Surachet Toommee..... 83

ฟิล์มเคลือบผิวอ่อนตัวจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่าง-คอนยัคกลูโคแมนแนน : สมบัติทางเคมีกายภาพและลด/ป้องกันการผลิตอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง

อัครชา หาญวัฒนกุล, อัญญานี โมกกรานต์, ธัญจิรา อินทนาศักดิ์, เบญญา เชิดหิรัญกร, ชิราวุฒิ เพชรเย็น และสุรเชษฐ์ ตุ้มมี

Active Different Molecular Weight of Chitosan-Konjac Glucomannan Edible Film Coating : Physicochemical and Aflatoxin Binding Properties in Peanuts

Akkaracha Hanwattanakul, Anyanee Mokkran, Thanjira Intanasak, Benya Cherdhirunkorn, Chiravoot Pechyen and Surachet Toommee..... 103

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

การวิเคราะห์แบบจำลองข้อมูลเพื่อจำแนกโดเมน DGA และ Legitimate จากผู้ประสงค์ร้ายในการเข้าใช้อินเทอร์เน็ต

สุกฤษฎิ์ สรหงษ์, อรรถพล ป้อมสถิตย์ และบุญเรือง เกิดอรุณเดช

Analysis of Data Model to Distinguish DGA and Legitimate Domains from Malicious Person Accessing the Internet

Sugrid Sorrahong, Auttapon Pomsathit and Boonruang Kerdaroondej..... 117

การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวล

พงษกร ชมภูแสน และสุนันทา เลาวัณย์ศิริ

Treatment of Wastewater Contaminated with Engine Oil using Biomass Absorbent Material

Pongsakorn Chompusan and Sunantha Laowansiri..... 133

อัตราส่วนที่เหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันสำหรับผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

ธารทิพย์ จงผสม และสุนันทา เลาวัณย์ศิริ

Appropriate Ratio of Organic Waste and Grease Waste for Soil Amendments

Thantip Jongphansom and Sunantha Laowansiri..... 147

การพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน ด้วยวิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

วรรษา สุดใจ, พิมพ์นารา เครือประเสริฐ, สุชานันท์ วงษ์ปถัมภ์ และบุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์

Forecasting Thai Baht to Chinese Yuan Exchange Rates by Exponential Smoothing Method

Watsa Sudjai, Pimnara Kruaprasert, Suchanan Wongpathamp and Boonyarit Choopradit..... 163

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

การพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

Development of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform

กิตติศักดิ์ สิงห์สูงเนิน*

Kittisak Singsungnoen

Received : January 13, 2022

Revised : June 10, 2022

Accepted : August 30, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อออกแบบระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต 2) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแอปชีต และ 3) เพื่อประเมินความเหมาะสมระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต วิธีการดำเนินการวิจัย จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์และออกแบบ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนศึกษาความต้องการ ทำการศึกษาคู่มือ เอกสาร และรายงานสรุปผล การฝึกประสบการณ์วิชาชีพและคู่มือสหกิจศึกษา ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบ ดำเนินการออกแบบและสร้างฐานข้อมูลด้วยกูเกิลชีต ส่วนที่ 2 การพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการพัฒนาระบบ ดำเนินการพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต และขั้นตอนการทดสอบ ดำเนินการนำระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ไปทำการทดลองใช้กับกลุ่มทดลองจำนวน 10 คน ส่วนที่ 3 การประเมินผล ทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาจำนวน 10 ท่าน และประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้งานกลุ่มต่างๆ เช่น นักศึกษา อาจารย์นิเทศ และพี่เลี้ยงในสถานประกอบการ จำนวน 60 คน โดยใช้มาตรวัด 5 ระดับ (Likert Scale) ผลการวิจัยพบว่า 1) ระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ประกอบด้วย โมดูลการบันทึกข้อมูลหลัก โมดูลการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานรายวัน โมดูลรายงานความก้าวหน้าโครงการ โมดูลการตรวจสอบการฝึกงานสำหรับพี่เลี้ยง โมดูลการตรวจสอบการฝึกของคณาจารย์นิเทศ โมดูลการประเมินการฝึก และโมดูลรายงาน

*อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

Lecture of Program Information Technology Faculty of Science and Technology Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

2) ผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นโดยรวมว่าระบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.08, S.D. = 0.51) และ 3) ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.20, S.D. = 0.73) ประโยชน์ที่ได้จากการพัฒนาเพื่อช่วยในการประเมินผลการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา

คำสำคัญ : ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ / สหกิจศึกษา / แอปชีต

ABSTRACT

The purposes of research study were 1) design of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform 2) develop of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform and 3) suitability evaluate of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform. Research methodology have 3 phase including Phase 1: Synthesis and Design consist of 2 steps: Step 1 the study requirements of documents, manuals and reports for Field Experience and Cooperative Education. step 2 The synthesis and design of database system of Google Sheet. Phase 2: Development have 2 steps: Step 1 the develop of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform and step 2 the test of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform by 10 people of trial group. Phase 3: The evaluation has including system performance evaluate by 10 experts of develop and satisfaction evaluate by 60 people using five level (Likert Scale). The research found that 1) Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform consist of Master Modula, Daily Work Record Modula, Project Progress Modula, Check Internship Modula for mentor, Check Internship Modula for instructor, Evaluate Modula and Report Modula. 2) The performance evaluates of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform at high level ($\bar{X}$= 4.08, S.D. = 0.51) and 3) satisfaction evaluate of Field Experience and Cooperative Education Information System Via App Sheet Platform at high level ($\bar{X}$= 4.20, S.D. = 0.72).

Keywords : Field Experience / Cooperative Education / App Sheet

บทนำ

แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในปัจจุบัน มุ่งเน้นในเรื่องการเขียนโค้ดโปรแกรมด้วยตนเองให้น้อยที่สุด หรือที่เรียกว่า โลว์โค้ด (Low-code) ซึ่งส่งผลให้นักพัฒนาที่มีทักษะความชำนาญสามารถสร้างโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ ของธุรกิจหรือองค์กร ได้อย่างรวดเร็ว และมีความยืดหยุ่นในการปรับใช้ให้เหมาะสมกับการเติบโตหรือการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการของผู้ใช้ได้ทันท่วงที (techtalkthai.com, 2019)

แอปชีต (AppSheet) เป็นแพลตฟอร์มที่ช่วยในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องเขียนโค้ด (Google, n.d.) ซึ่งช่วยในการแก้ปัญหาเรื่องไม่มีทรัพยากรเพียงพอในการพัฒนา หรือไม่มีเครื่องมือที่ช่วยในการพัฒนา หรือใช้ซอฟต์แวร์ที่มีความเสี่ยงต่อความปลอดภัยของข้อมูล (tangerine, 2022) โดยมีการประยุกต์ใช้งานแอปชีตในงานต่างๆ เช่น การติดตามการทำงานของแผนกทำงานความสะอาด (Worakarn, 2021) การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการสอนพลศึกษา เรื่องสัญลักษณ์ของผู้ตัดสินกีฬาวอลเลย์บอล (ดำรงฤทธิ์, 2563) การจัดเก็บข้อมูลครุภัณฑ์ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิด (องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต, 2564)

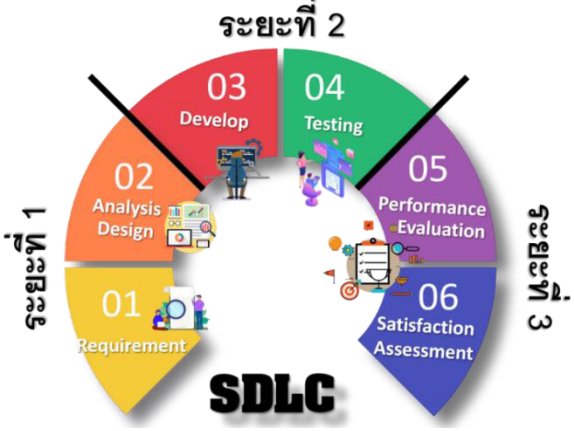
การฝึกประสบการณ์วิชาชีพและสหกิจศึกษา เป็นกิจกรรมสำหรับนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ที่ต้องดำเนินการเพื่อเรียนรู้กระบวนการทำงานจริงตามสาขาวิชาชีพ และให้ได้รับความรู้ ทักษะ เจตคติ รวมถึงประสบการณ์ในการปฏิบัติงาน จากการทำงานกับหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ ซึ่งส่งผลให้นักศึกษาได้พัฒนาตนเองในด้านความคิด การวิเคราะห์ การสังเกต การตัดสินใจ และการประเมินผลงาน โดยฝึกประสบการณ์วิชาชีพและสหกิจศึกษาจะมีขั้นตอนดำเนินการดังต่อไปนี้ 1) การหาสถานประกอบการ บริษัท หรือองค์กรที่มีความต้องการในการรับนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพหรือฝึกกิจศึกษา 2) จัดทำเอกสารเพื่อขอความอนุเคราะห์ 3) จัดทำเอกสารส่งตัวนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพหรือฝึกกิจศึกษา 4) ดำเนินการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหรือฝึกกิจศึกษาในสถานประกอบการ ซึ่งในช่วงเวลาที่นักศึกษาออกฝึกจะต้องมีการจดบันทึกข้อมูลรายละเอียดของการฝึกในแต่ละวัน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับอาจารย์นิเทศ ที่จะมาดำเนินการนิเทศนักศึกษา ณ สถานประกอบการ บริษัท หรือองค์กร 5) การประเมินผลการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและสหกิจศึกษาของนักศึกษา ทั้งในส่วนของพี่เลี้ยงในสถานประกอบการ บริษัท หรือองค์กร และการประเมินผลจากอาจารย์นิเทศ (สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2550)

จากการจัดกิจกรรมสัมมนาฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษา หลังจากที่นักศึกษาได้สำเร็จกระบวนการในการฝึกประสบการ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษาจากสถานประกอบการ พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นดังนี้ 1) มหาวิทยาลัยมีข้อมูลที่อยู่ของสถานประกอบการแต่เป็นตัวอักษรทำให้การเดินทางของนักศึกษาที่จะไปติดต่อยังสถานประกอบการเกิดความไม่สะดวก เช่น การหลงทาง หรือไม่ทราบพิกัด หน้าตาของอาคารที่สถานประกอบการตั้งอยู่ 2) แบบฟอร์มหรือเอกสารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการดำเนินงานของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษามีมากและอยู่ในรูปแบบของกระดาษ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การป้อนข้อมูลที่ไม่ตรงกันในเอกสารบางชุด เกิดความสิ้นเปลืองทรัพยากรกระดาษจำนวนมาก 3) อาจารย์นิเทศไม่สามารถเดินทางไปนิเทศนักศึกษา เนื่องจากติดต่อนักศึกษาไม่ได้หรือหลงทางเนื่องจากแผนที่ที่นักศึกษาเขียนมาไม่ละเอียด 4) การตรวจสอบข้อมูลในบันทึกการลงเวลาการปฏิบัติงานไม่สามารถตรวจสอบได้ทันที เนื่องจากเป็นการบันทึกข้อมูลลงในกระดาษ 5) การประเมินผลการฝึกประสบการ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษา มีการดำเนินการโดยใช้กระดาษทำให้ขาดความน่าเชื่อถือและล่าช้า ซึ่งสอดคล้องกับปัญหาในงานวิจัยของ พนิดา, ลัทธกาญจน์ และอภิวัฒน์ (2562) เรื่อง ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานฝึกสหกิจศึกษาและฝึกประสบการณ์วิชาชีพแบบออนไลน์ คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการดำเนินการของการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development : R&D) ที่มีการดำเนินการ 3 ระยะ โดยมีการดำเนินงานตามแนวทางการพัฒนาระบบด้วยวงจรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle : SDLC) ดังนี้



ภาพที่ 1 แนวทางการพัฒนาระบบด้วยวงจรการพัฒนาระบบ SDLC

ระยะที่ 1 การวิเคราะห์และออกแบบ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาความต้องการ ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาข้อมูลและขั้นตอนการดำเนินงานที่มีความเกี่ยวข้องกับการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา จากเอกสาร คู่มือ สรุปรายงานผลการจัดกิจกรรมสัมมนาการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ จากการศึกษาข้อมูลพบว่ามีผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในกระบวนการดำเนินงานการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา โดยมีผู้เกี่ยวข้องในขั้นตอนการบันทึกข้อมูล คือ นักศึกษา อาจารย์นิเทศ และพี่เลี้ยงในสถานประกอบการ และนำข้อมูลมาทำการออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ ออกแบบกระบวนการทำงานของระบบ และฐานข้อมูลระบบ หลังจากนั้นดำเนินการสร้างแบบประเมินความเหมาะสมของการออกแบบระบบ โดยนำเสนอแก่ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาระบบจำนวน 10 ท่าน โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

ระยะที่ 2 การพัฒนาระบบ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 3 การพัฒนาระบบ นำผลที่ได้จากการประเมินความเหมาะสมจากผู้เชี่ยวชาญ มาทำการพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

ขั้นตอนที่ 4 การทดสอบระบบ นำระบบที่พัฒนาไปทดลองใช้กับกลุ่มผู้ใช้งาน โดยใช้กระบวนการของการทดสอบซอฟต์แวร์ (Software Testing)(อุไร, 2558) เพื่อหาข้อผิดพลาดจากการพัฒนาระบบ และทำการปรับปรุงแก้ไขระบบ

ระยะที่ 3 การประเมินผล ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 5 การประเมินประสิทธิภาพของระบบ นำระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไข ไปนำเสนอแก่ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาจำนวน 10 ท่าน โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

ขั้นตอนที่ 6 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน นำระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ไปใช้งานกับกลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย คณาจารย์นิเทศ นักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพ นักศึกษาสหกิจศึกษา และพี่เลี้ยงในบริษัท จำนวน 60 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อ ระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

เกณฑ์การแปลความหมายของค่าเฉลี่ย (เพ็ญแข และคนอื่นๆ, 2551)

ช่วงค่าเฉลี่ย	การแปลความหมาย
4.51-5.00	มากที่สุด
3.51-4.50	มาก
2.51-3.50	ปานกลาง
1.51-2.50	น้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและพัฒนาจำนวน 10 ท่าน โดยการเลือกแบบเจาะจง
2. กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย คณาจารย์นิเทศ 10 ท่าน นักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพ 21 คน นักศึกษาสหกิจศึกษา 8 คน และพี่เลี้ยงในบริษัท 21 คน รวมทั้งหมด 60 คน โดยการเลือกแบบเจาะจง

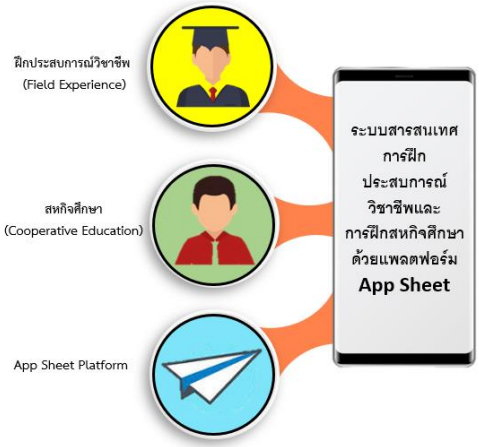
กรอบแนวคิด

ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ (Field Experience) คือ การจัดกิจกรรมให้นักศึกษาได้ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ ในองค์การหรือหน่วยงาน หรือสถานประกอบการที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รับความรู้ทักษะเจตคติ และประสบการณ์ในอาชีพ (หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2559) มีกระบวนการในการดำเนินการประกอบด้วย นักศึกษาลงทะเบียนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ นักศึกษาติดต่อสถานที่ฝึกประสบการณ์วิชาชีพ นักศึกษาติดต่อทำจดหมายขอความอนุเคราะห์ฯ ปฐมนิเทศฝึกประสบการณ์วิชาชีพ

นักศึกษาเข้าร่วมการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ นักศึกษารับการประเมินจากพี่เลี้ยง และอาจารย์นิเทศ (มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, 2562)

สหกิจศึกษา (Cooperative Education) คือ ระบบการศึกษาที่เน้นการปฏิบัติงานจริงในสถานปฏิบัติงานอย่างมีระบบ โดยจัดให้มีการเรียนในสถานศึกษาร่วมกับการปฏิบัติงานจริงในสถานปฏิบัติงาน ทำให้นักศึกษาเกิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ในการปฏิบัติงาน จึงทำให้นักศึกษามีคุณภาพตรงตามที่สถานปฏิบัติงานต้องการมากที่สุด ความร่วมมือระหว่างสถานปฏิบัติงาน และมหาวิทยาลัยอย่างต่อเนื่องในสหกิจศึกษาจะเป็นกลไกสำคัญที่จะทำให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เกิดผลประโยชน์สูงสุดร่วมกัน มีกระบวนการต่างๆ เช่น นักศึกษาสมัครโครงการสหกิจศึกษา การอบรมและสัมมนานักศึกษาสหกิจศึกษา การคัดเลือกนักศึกษา สหกิจศึกษา การนิเทศนักศึกษาสหกิจศึกษา การประเมิน และการสรุปผล เป็นต้น (สำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2550)

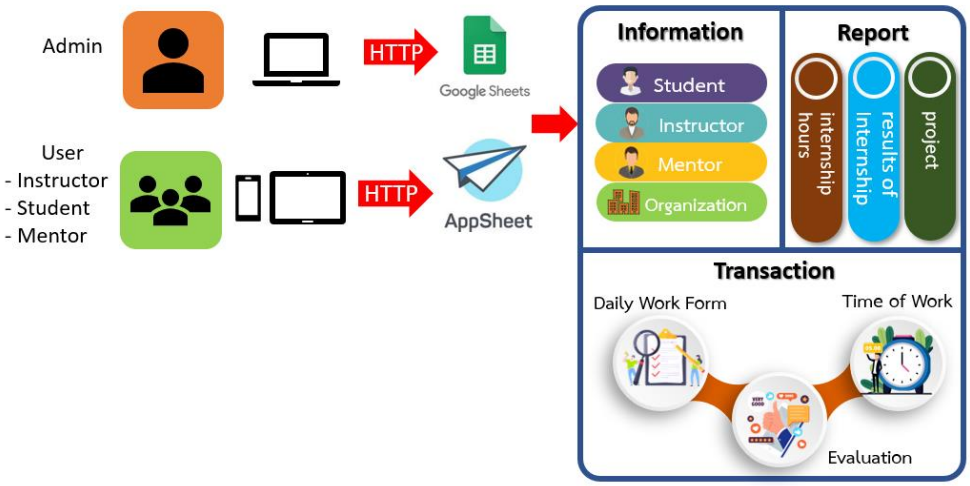
App Sheet Platform คือ แพลตฟอร์มในการสร้างแอพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือที่นักพัฒนาไม่จำเป็นต้องทำการเขียนคำสั่งโปรแกรม (google.com, n.d.) โดยทำการเชื่อมต่อแอพชีตกับแผ่นตารางทำการ (Spreadsheet) บนคลาวด์ (Cloud) เช่น กูเกิลชีต (Google Sheet) ไมโครซอฟต์เอ็กซ์เซล (Microsoft Excel) เป็นต้น การสร้างแอพลิเคชันสามารถทำได้ 4 วิธี ประกอบด้วย 1) ทำการเชื่อมต่อแอพชีตกับแหล่งข้อมูล เช่น กูเกิลชีตหรือฐานข้อมูล MySQL เป็นต้น 2) ทำการคัดลอกแอพลิชันจากตัวอย่างแอพลิเคชันที่มีในระบบของแอพชีต 3) ทำการเพิ่มส่วนเสริม (Add-on) ที่มีในกูเกิลชีตหรือไมโครซอฟต์เอ็กซ์เซล และ 4) ทำการเขียน SPEC ในเครื่องมือช่วยในการเขียนคำสั่ง นอกจากนั้นแอพชีตยังมีความสามารถในการทำงานบนอุปกรณ์ที่หลากหลาย เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็ปเล็ต และเครื่องคอมพิวเตอร์ และมีฟังก์ชันในการทำงานต่างๆ เช่น การจับภาพหน้าจอ การบันทึกข้อมูลสถานที่ การสแกนบาร์โค้ด การแจ้งเตือนข้อความ การสร้างรายงาน การส่งอีเมล์ การทำงานแบบออฟไลน์ เป็นต้น (appsheet.com, n.d.) แอปชีตถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถสร้างแอปพลิเคชันที่ปรับแต่งรูปร่างและปรับปรุงตัวเองได้ตลอดเวลา สามารถเปลี่ยนกระบวนเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการได้ (ดำรงค์ฤทธิ์, 2563)



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดในงานวิจัย

ผลการวิจัย

1. ผลการออกแบบระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ผู้วิจัยได้ทำการสังเคราะห์ข้อมูลจากความต้องการของผู้ที่เกี่ยวข้องและเอกสารต่างๆ นำมาออกแบบเป็นสถาปัตยกรรมของระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ประกอบด้วย 1) ผู้ดูแลระบบ (Admin) ที่ทำหน้าที่ในการป้อนข้อมูลหลักของระบบ เช่น ข้อมูลนักศึกษาที่ลงทะเบียนรายวิชาเตรียมฝึกประสบการณ์วิชาชีพ และรายวิชาเตรียมสหกิจศึกษา ข้อมูลของคณาจารย์นิเทศ ข้อมูลองค์กรหรือบริษัท และพี่เลี้ยงของหน่วยงานที่นักศึกษาสามารถฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจ โดยทำการป้อนข้อมูลผ่านทางโปรแกรมกูเกิลชีต 2) กลุ่มผู้ใช้งาน ประกอบด้วย คณาจารย์นิเทศ (Instructor) นักศึกษา (Student) และพี่เลี้ยง (Mentor) ที่สามารใช้งานระบบได้ผ่านทางโปรแกรมแอปชีต โดยนักศึกษาทำหน้าที่ในการป้อนข้อมูลในการปฏิบัติงาน จำนวนชั่วโมงปฏิบัติงาน สถานที่ปฏิบัติงาน และรายละเอียดต่างๆ ในแต่ละวัน และรายงานความก้าวหน้าการจัดทำโครงการ สำหรับพี่เลี้ยงในองค์กรจะทำหน้าที่ในการประเมินผลการทำงานในแต่ละวันของนักศึกษาและยืนยันความถูกต้องของข้อมูลที่นักศึกษาทำการป้อนเข้าสู่ระบบ และทำการประเมินการฝึกของนักศึกษาอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง ในส่วนของคณาจารย์นิเทศจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบจำนวนชั่วโมงในการฝึกของนักศึกษา ตรวจสอบโครงการของนักศึกษา และทำการประเมินผลงานทั้งหมดของนักศึกษาจากการฝึก



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

2. ผลการพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ประกอบด้วย 7 โมดูลดังนี้ โมดูลการบันทึกข้อมูลหลัก โมดูลการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานรายวัน โมดูลรายงานความก้าวหน้าโครงการ โมดูลการตรวจสอบการฝึกงานสำหรับพี่เลี้ยง โมดูลการตรวจสอบการฝึกของคณาจารย์นิเทศ โมดูลการประเมินการฝึก และโมดูลรายงาน

โมดูลการบันทึกข้อมูลหลัก ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลหลักของระบบเข้าสู่กูเกิลชีต เช่น ผู้ดูแลระบบ ทำการบันทึกข้อมูลนักศึกษาและข้อมูลอาจารย์นิเทศ สำหนับนักศึกษาทำการบันทึกข้อมูลองค์กรหรือบริษัท ข้อมูลพี่เลี้ยงประจำองค์กรหรือบริษัท เป็นต้น

โมดูลการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานรายวัน ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานรายวันของนักศึกษา โดยนักศึกษาจะทำการบันทึกข้อมูล เช่น สถานที่ปฏิบัติงาน รายละเอียดของงาน จำนวนชั่วโมงที่ปฏิบัติ เป็นต้น สำหรับ สำหรับอาจารย์นิเทศจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลเพียงอย่างเดียว

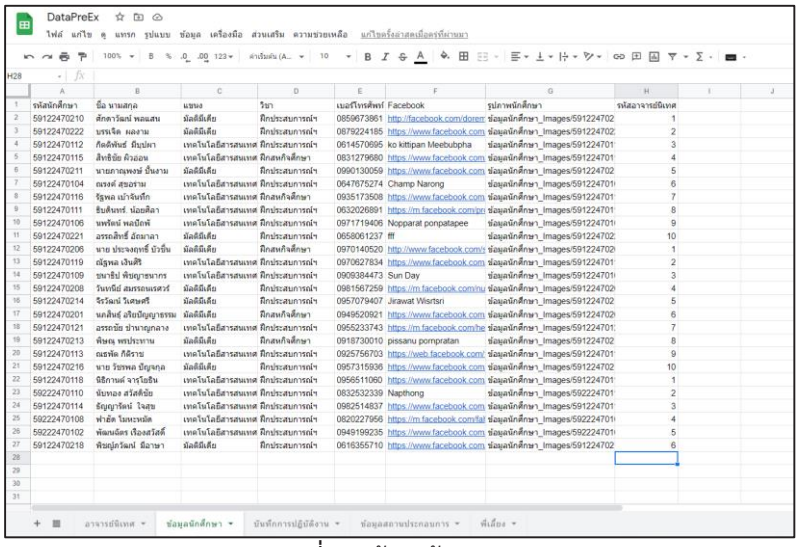
โมดูลรายงานความก้าวหน้าโครงการ ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องกับโครงงานที่นักศึกษาดำเนินการในองค์กรหรือบริษัท โดยนักศึกษาจะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของโครงการ เช่น ชื่อโครงการ วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการดำเนินการ และผลการดำเนินการ เป็นต้น สำหรับพี่เลี้ยงประจำหน่วยงานและอาจารย์นิเทศ จะทำหน้าที่ในการเท่านั้น

โมดูลการตรวจสอบการฝึกงานสำหรับพี่เลี้ยง เป็นโมดูลที่พี่เลี้ยงประจำหน่วยงานจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการปฏิบัติงานรายวัน เช่น จำนวนชั่วโมงในการฝึกงานโดยรวม ปัญหาที่พบ แนวทางการแก้ไขปัญหา เป็นต้น ตรวจสอบความก้าวหน้าของการดำเนินโครงการ และทำการบันทึกลายเซ็นเพื่อยืนยันความถูกต้อง

โมดูลการตรวจสอบการฝึกของคณาจารย์นิเทศ เป็นโมดูลที่อาจารย์นิเทศจะทำหน้าที่ในการตรวจสอบข้อมูลการปฏิบัติงานรายวัน เช่น จำนวนชั่วโมงในการฝึกงานโดยรวม ปัญหาที่พบ แนวทางการแก้ไขปัญหา เป็นต้น ตรวจสอบความก้าวหน้าของการดำเนินโครงการ และทำการบันทึกลายเซ็นเพื่อยืนยันความถูกต้อง

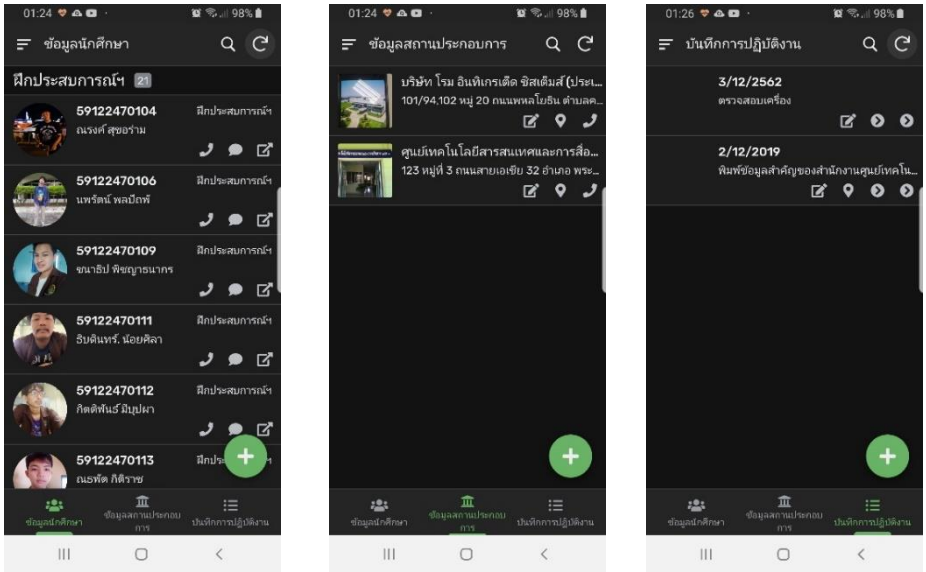
โมดูลการประเมินการฝึก ทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลผลการประเมินการฝึกประสบการณ์วิชาชีพหรือการฝึกสหกิจศึกษา ซึ่งมีการประเมินทั้งหมด 3 ครั้ง โดยเลี้ยงประจำหน่วยงานจะทำหน้าที่ประเมินผลการฝึกงานจำนวน 60% และอาจารย์นิเทศทำหน้าที่ในการประเมินผลการฝึกงานจำนวน 40%

โมดูลรายงาน ทำหน้าที่ในการสร้างรายงานต่าง ๆ เช่น รายงานผลการประเมินการฝึกประสบการณ์หรือฝึกสหกิจศึกษา รายงานข้อมูลนักศึกษา รายงานจำนวนชั่วโมงการฝึก เป็นต้น



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	รหัสนักศึกษา	ชื่อ นามสกุล	แขนง	วิชา	เบอร์โทรศัพท์	Facebook	รูปภาพนักศึกษา	จำนวนการยืมเทศ
2	59122470210	ศักดาวัฒน์ พอเสน	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0859673861	http://facebook.com/doreen	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	1
3	59122470222	เบรษิต ผลงาม	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0879224185	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	2
4	59122470112	กิตติพันธ์ มีปุปผา	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0614570695	ko kittipan Meebubpha	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	3
5	59122470115	สิทธิชัย คิวออน	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกสหกิจศึกษา	0831279680	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	4
6	59122470211	นายกาญพงษ์ ปั้นงาม	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0990130059	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	5
7	59122470104	ณรงค์ สุขอร่าม	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0647675274	Champ Narong	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	6
8	59122470116	รัฐพล เม่าจันจีก	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกสหกิจศึกษา	0935173508	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	7
9	59122470111	ธีรดินทร์ น้อยคิลา	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0632026891	https://m.facebook.com/pr	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	8
10	59122470106	นพรัตน์ พลปัถพ์	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0971719406	Nopparat ponpatapee	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	9
11	59122470221	อรรถสิทธิ์ อัถมาลา	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0658061237	fff	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	10
12	59122470205	นาย ประจงฤทธิ์ บัวปิ่น	มัลติมีเดีย	ฝึกสหกิจศึกษา	0970140520	http://www.facebook.com/s	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	1
13	59122470119	สัฐพล เวินศิริ	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0970627834	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	2
14	59122470109	ชนาธิป์ พิชญาธนากร	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0909384473	Sun Day	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	3
15	59122470208	วินทนีย์ สมรอดแสวง	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0981567259	https://m.facebook.com/nu	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	4
16	59122470214	จิรวัฒน์ วิเศษศรี	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0957079407	Jirawat Wisrisri	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	5
17	59122470201	นลดิงษ์ เจียมัญญาธรรม	มัลติมีเดีย	ฝึกสหกิจศึกษา	0949520921	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	6
18	59122470121	อรรถชัย ชำนาญกลาง	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0955233743	https://m.facebook.com/he	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	7
19	59122470213	พิษณุ พรปประทาน	มัลติมีเดีย	ฝึกสหกิจศึกษา	0918730010	pissanu pornpratan	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	8
20	59122470113	ณธพัต กิติราช	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0925756703	https://web.facebook.com/	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	9
21	59122470216	นาย วัชพล ปัญญกุล	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0957315936	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	10
22	59122470118	ชิติภาคย์ จารโอสิน	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0956511060	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	1
23	59222470110	ณัทธอง สวัสดิ์ชัย	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0832532339	Napthong	ข้อมูลนักศึกษา_Images/592224701	2
24	59122470114	ธัญญารัตน์ โจสุข	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0982514837	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224701	3
25	59222470108	ฟ้าอัล ไหมรพลิต	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0820227956	https://m.facebook.com/fal	ข้อมูลนักศึกษา_Images/592224701	4
26	59222470102	พัฒนนิตร เจ็ดสวัสดิ์	เทคโนโลยีสารสนเทศ	ฝึกประสบการณ์	0949199235	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/592224701	5
27	59122470218	พิชญ์ภัครัฒน์ ฉิมาษา	มัลติมีเดีย	ฝึกประสบการณ์	0616355710	https://www.facebook.com	ข้อมูลนักศึกษา_Images/591224702	6

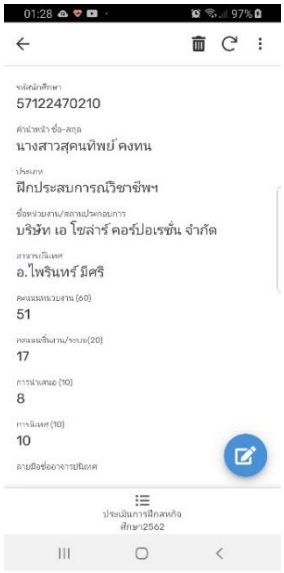
ภาพที่ 4 หน้าจอผู้ดูแลระบบ



(a) (b) (c)

ภาพที่ 5 การจัดการข้อมูลนักศึกษา(a) การจัดการข้อมูลสถานประกอบการ(b) การบันทึกการปฏิบัติงาน(c)

(d)



(e)

ภาพที่ 6 การตรวจสอบของอาจารย์นิเทศและพี่เลี้ยง (d) การประเมินผลการปฏิบัติงานของอาจารย์นิเทศ (e)

3. ผลการประเมินระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษาด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D	ระดับประสิทธิภาพ
1.ด้านความเหมาะสมในการทำงานของระบบ	4.60	0.55	มากที่สุด
2.ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.20	0.45	มาก
3.ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานของระบบ	4.20	0.55	มาก
4.ด้านความรวดเร็วในการทำงานของระบบ	3.80	0.45	มาก
5.ด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ	3.60	0.55	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.08**	**0.51**	**มาก**

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษาด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต

รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D	ระดับความพึงพอใจ
1.ด้านความเหมาะสมในการทำงานของระบบ			
1.1 ระบบมีการสแกน QR-Code ได้อย่างถูกต้อง	4.25	0.67	มากที่สุด
1.2 ระบบมีการลงชื่อเข้ากิจกรรมที่เหมาะสมกับอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือ	4.23	0.65	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ย	**4.24**	**0.66**	**มากที่สุด**
2.ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ			
2.1 ข้อมูลในระบบมีความถูกต้องครบถ้วน	4.19	0.71	มาก
2.2 ข้อมูลของระบบมีความทันสมัย	4.15	0.78	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.16**	**0.75**	**มาก**
3.ด้านความสะดวกและง่ายต่อการใช้งานของระบบ			
3.1 ระบบมีการใช้งานที่ง่ายต่อผู้ใช้งาน	4.68	0.78	มากที่สุด
3.2 หน้าจอการทำงานของระบบมีความสวยงาม	4.02	0.60	มาก
3.3 ระบบมีความยืดหยุ่นกับอุปกรณ์ที่หลากหลาย	4.15	0.61	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.28**	**0.66**	**มากที่สุด**
4.ด้านความรวดเร็วในการทำงานของระบบ			
4.1 การเรียกดูข้อมูลจากระบบมีความรวดเร็ว	4.38	0.80	มากที่สุด
4.2 ระบบมีการแสดงผลในการทำงานที่รวดเร็ว	4.08	0.76	มาก
4.3 ระบบมีการบันทึกข้อมูลที่รวดเร็ว	4.15	0.85	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.20**	**0.82**	**มาก**
5.ด้านการรักษาความปลอดภัยของระบบ			
5.1 การเข้าใช้งานมีความง่ายต่อการใช้งาน	4.26	0.79	มากที่สุด
5.2 ระบบมีการรักษาข้อมูลที่เป็นส่วนบุคคล	3.87	0.67	มาก
5.3 ระบบมีการจำกัดสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูล	3.63	0.75	มาก
ค่าเฉลี่ย	**4.12**	**0.73**	**มาก**
ค่าเฉลี่ยรวม	**4.20**	**0.72**	**มาก**

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต พบว่า ระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต ประกอบด้วยฟังก์ชันการทำงาน 7 โมดูล โมดูลการบันทึกข้อมูลหลัก โมดูลการบันทึกข้อมูลปฏิบัติงานรายวัน โมดูลรายงานความก้าวหน้าโครงการ โมดูลการตรวจสอบการฝึกงานสำหรับพี่เลี้ยง โมดูลการตรวจสอบการฝึกของคณาจารย์นิเทศ โมดูลการประเมินการฝึก และโมดูลรายงาน โดยผลจากการประเมินประสิทธิภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบสารสนเทศจำนวน 10 ท่าน โดยรวมพบว่าระบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก และมีข้อแนะนำ คือ ควรปรับหน้าจอของผู้ใช้งานให้มีความน่าสนใจมากกว่านี้ ควรมีการเพิ่มหน้าจอการเข้าสู่ระบบในส่วนของนักศึกษา และผลการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อระบบจากกลุ่มผู้ใช้งานจำนวน 60 คน พบว่า โดยรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก และมีข้อแนะนำ คือ มีการใช้งานที่ง่ายและผ่านทางอุปกรณ์ได้หลากหลาย เช่น โทรศัพท์ แท็บเล็ตและเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ระบบควรมีการปรับปรุงในเรื่องความรวดเร็วในการทำงานของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กมลมาศ และมัชฌกานต์ (2558) เรื่อง การพัฒนาระบบการจัดการสารสนเทศสหกิจศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยมีผู้ใช้งานระบบ 5 ส่วน คือ ผู้ดูแลระบบ สถานประกอบการ นักศึกษา เจ้าหน้าที่คณะ และอาจารย์นิเทศ ผลการศึกษาพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบการจัดการสารสนเทศสหกิจศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ อยู่ในระดับดี ($\bar{X}$= 3.99, S.D. = 0.71) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ พนิดา, ลัทธกาญจน์ และอภิวัฒน์ (2562) เรื่อง ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานฝึกสหกิจศึกษาและฝึกประสบการณ์วิชาชีพแบบออนไลน์ คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ผลการวิจัยพบว่า ระบบมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ผู้ใช้งานและผู้ดูแลระบบ ผลการประเมินความพึงพอใจต่อของผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับดี ($\bar{X}$= 4.34, S.D. = 0.63)

ผลจากการพัฒนาระบบสารสนเทศการฝึกประสบการณ์วิชาชีพและการฝึกสหกิจศึกษา ด้วยแพลตฟอร์มแอปชีต สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบสารสนเทศต่างๆ ได้ เนื่องจากแพลตฟอร์มแอปชีต มีความง่ายในส่วนของการพัฒนาระบบเนื่องจากนักพัฒนาระบบไม่ต้องทำการเขียนโค้ด แต่ใช้การต่อบล็อกในการพัฒนาระบบ และมีการใช้กูเกิลชีตเป็นฐานข้อมูล ทำให้สามารถพัฒนาระบบได้อย่างรวดเร็ว และแพลตฟอร์มแอปชีตยังสามารถเรียกใช้งานฟังก์ชันต่างๆ ของโทรศัพท์มือถือ เช่น การใช้ระบบจีพีเอส (GPS) ในการเช็คอิน เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์นิเทศประจำหลักสูตรเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่กรุณาสละเวลาในการประเมินผลการทำงานและการทดลองการใช้งานของระบบ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงระบบ ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ให้การสนับสนุน ในการให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและทดลองใช้งานระบบ และขอขอบคุณหน่วยงาน องค์กร บริษัทต่างๆ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในรับนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษา และให้ความร่วมมือในการร่วม

ทดลองการใช้งานระบบ และการเก็บรวบรวมข้อมูลในฐานะพี่เลี้ยงของนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษาฝึกประสบการณ์วิชาชีพและฝึกสหกิจศึกษา ที่ให้ความร่วมมือในการทดลองการใช้งานระบบ

เอกสารอ้างอิง

กมลมาศ วงษ์ใหญ่ และมัชฌกานต์ เผ่าสวัสดิ์. (2558, มกราคม-เมษายน) การพัฒนาระบบการจัดการสารสนเทศสหกิจศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. **วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**, **10**(1), 18-28.

ดำรงค์ฤทธิ์ จันทรา. (2563, มกราคม-เมษายน). การประยุกต์ใช้โปรแกรม Appsheet พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการสอนพลศึกษา เรื่องสัญลักษณ์ของผู้ตัดสินกีฬาวอลเลย์บอลของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ, 14**(1), 83-94.

พนิดา พานิชกุล, ลัทธกาญจน์ กุยแก้ว และอภิวัฒน์ สุกเหลือง. (2562, มกราคม-มิถุนายน). ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการงานฝึกสหกิจศึกษาและฝึกประสบการณ์วิชาชีพแบบออนไลน์ คณะบริหารธุรกิจและการบัญชี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ. **วารสารการจัดการและการพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 6**(1), 135-152.

เพ็ญแข ศิริวรรณ และคณะ. (2551). **สถิติเพื่อการวิจัย**. กรุงเทพฯ : เท็กซ์แอนด์เจอร์นัลพับลิเคชั่น.

ส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน, สำนัก. (2550). **คู่มือสหกิจศึกษา.** ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

สวนสุนันทา, มหาวิทยาลัยราชภัฏ. (2562). **ขั้นตอนการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ/โครงการสหกิจศึกษา.** [Online]. Available : https://sisa.ssru.ac.th/announcement/view/pub08-03-2019-1 [2563, ธันวาคม 12].

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ. (2559). **หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560**. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

องค์การบริหารส่วนจังหวัดภูเก็ต. (2564). **ขั้นตอนการทาแอพพลิเคชั่นระบบจัดเก็บครุภัณฑ์ระบบกล้องโทรทัศน์วงจรปิดบนแอพพลิเคชั่นโดยใช้โปรแกรม Appsheet**. [Online]. Available : https://www.phuketpao.go.th/files/com_document_km/2021-05_8f73a8240b589ec.pdf [2564, มิถุนายน 12].

อุไร ทองหัวไผ่. (2558, กรกฎาคม-ธันวาคม). การทดสอบซอฟต์แวร์. **วารสารเกษมบัณฑิต, 16**(2), 140-154.

appsheet.com. (n.d.). **application-platform**. [Online]. Available : https://solutions.appsheet.com/application-platform [2019, November 15].

google.com. (n.d.). **จัดการ AppSheet ในองค์กร**. [Online]. Available : https://support.google.com/a/answer/10100275?hl=th [2019, November 15].

techtalkthai.com. (2019). **Low-code Development Platform คืออะไร?**. [Online]. Available : https://www.techtalkthai.com/what-is-low-code-development-platform-by-out systems/?fbclid=IwAR2fFuqDIevl8bQ2w7LqfiuDa 5QGnfmaYIT82ZoBXUtCPXDErvG4 CrBf0GY [2019, November 15].

tangerine. (2022). **Google | AppSheet ช่วยพัฒนา Mobile Applications เป็นเรื่องง่าย**. [Online]. Available : https://www.tangerine.co.th/google-cloud/google-appsheet-easy-create-internal-mobile-applications/ [2022, February 28].

Worakarn. (2021). **รู้จัก AppSheet เครื่องมือสร้างแอปพลิเคชั่นสาหรับองค์กรที่ต้องการ Digital transformation**. [Online]. Available: https://datayolk.net/technology/how-appsheet-can-transform-your-business/ [2019, February 15].

การพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรโดยใช้เทคโนโลยี ของกลุ่มข้าวภูเขาไฟ บ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์

Development of Capacity and Support for Farmers through the Use of Volcanic Rice Group's Technology of Ban Khok Mueang, Chorakhemak Sub-district, Prakhon Chai District, Buriram Province

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา*
Udompong Ketsripongsa
ผกามาศ บุตรสาลี**
Pakamat Butsalee
ทิพย์สุดา ทาสีดำ**
Tipsuda Tasedom

Received : March 8, 2022
Revised : November 24, 2022
Accepted : December 21, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาศักยภาพของเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย 2) เพื่อการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรโดยใช้เทคโนโลยี ของกลุ่มข้าวภูเขาไฟ บ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก ผลการวิจัยพบว่า ศักยภาพของเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง สามารถวิเคราะห์ปัญหาจากการจัดเวทีมี 4 ด้าน ได้แก่ ด้านต้นทุนการผลิต ด้านการบริหารจัดการ ด้านกรรมวิธีการผลิต ด้านการตลาดและการแปรรูป ส่วนผลการพัฒนาขีดความสามารถนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยพัฒนาศักยภาพและหนุนเสริมเกษตรกรกลุ่ม โดยการออกแบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว พบว่า เครื่องมีน้ำหนักลดลงทำให้การเคลื่อนย้ายง่าย ถอดทำความสะอาดได้ง่าย วิธีการใช้งานไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนและชุมชนขนาดเล็ก ต้นทุนในการผลิต 9,800 บาท ต่ำกว่าท้องตลาด คิดเป็นร้อยละ 40.83 ในส่วนการคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว ใน 1 วัน ปริมาณเมล็ดพันธุ์ที่คัดได้จะอยู่ที่ 2,128.56 กิโลกรัมต่อวัน ทำการทดสอบเครื่อง 5 ครั้ง ด้วยเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จะได้ข้าวสมบูรณ์เฉลี่ย 9.77 กิโลกรัม

*อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
Lecturer of Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University, Buriram E-mail : udompong.bru.ac.th
**อาจารย์ประจำสาขาวิชาการบัญชี คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
Lecturer of Accounting, Faculty of Management Science, Buriram Rajabhat University, Buriram

คิดเป็น 97.7% และมีสิ่งเจือปนเฉลี่ย ได้แก่ สิ่งเจือปนขนาดใหญ่ 0.02 กิโลกรัม คิดเป็น 0.2% เมล็ดดอกหญ้า 0.05 กิโลกรัม คิดเป็น 0.5% ฝุ่น/ข้าวลีบ 0.16 กิโลกรัม คิดเป็น 1.6% โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้ 2.03 นาทีต่อ 10 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรกลุ่ม โดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยทำให้เกษตรกรได้ผลผลิตที่มีคุณภาพในปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นได้ร้อยละ 5 นอกจากนี้ทำให้เกิดการสร้างหลักสูตรในการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมศักยภาพให้เกษตรกร 1 หลักสูตร ได้แก่ คู่มือหลักสูตรการปฏิบัติงานเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้แล้วพบว่า เกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง สามารถใช้เครื่องและเรียนรู้หลักการใช้เครื่องในชุมชนได้ และมีความพึงพอใจร้อยละ 90

คำสำคัญ : การพัฒนาขีดความสามารถ / เครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว / เทคโนโลยี / ข้าวภูเขาไฟ

ABSTRACT

The objectives of this research were 1) to study of farmers' potential in volcanic rice group of Ban Khok Mueang, Chorakhemak Sub-district, Prakhon Chai District, and 2) to develop the capacity and support for farmers through the use of volcanic rice group's technology of Ban Khok Mueang, Chorakhemak Sub-district. The results revealed that of volcanic rice farmers' potential of Ban Khok Mueang could be analyzed via problems discussion in four aspects: production cost, management, production process, and marketing and processing. As for the results of the capacity development, the technology was used to help develop the potential and support for the farmers in the group by designing the rice seed impurity sorting machine. It was found that the weight of the machine was reduced to make it easy to move and clean. Moreover, the machine was easy to use and be suitable for households and small communities. The production cost was 9,800 baht, which was 40.83% lower than the market. In terms of the screening of rice seed impurity, the number of seed extracted was 2,128.56 kilograms per day. After testing the machine for five times, with 10 kilograms of paddy seed, the average perfect rice was 9.77 kilograms or 97.7%, and the average impurities were found which included 0.02 kilograms or 0.2% of large impurity, 0.05 kilograms or 0.5% of grass seed, and 0.16 kilograms or 1.6% of dust/ withered rice. The average time spent was 2.03 minutes per 10 kilograms. It can be seen that the development of capacity and support for farmers in the group by using technology helps farmers to get more quality produce for 5%. In addition, a course was created for capacity development and support for farmers, namely a manual for a course on the operation of a rice seed impurity sorting machine. After the transfer of this technology, it was found that the farmers in volcanic rice group of Ban Khok Mueang were able to use and learn how to use the machine in the community with 90% satisfaction.

Keywords : Capacity Development / Rice Seed Impurity Sorting Machine / Technology / Volcanic Rice

บทนำ

ความเข้มแข็งทางเศรษฐกิจและความมั่นคงทางสังคมเป็นรากฐานของการพัฒนาที่ยั่งยืน ระบบเศรษฐกิจจะต้องสามารถสร้างให้เกิดเสถียรภาพและมีภูมิคุ้มกันที่เอื้อต่อการปรับตัวเมื่อได้รับผลกระทบจากภาวะผันผวนของระบบเศรษฐกิจโลก รวมทั้งจะต้องมีสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันสูง นำปสู่การพัฒนาขีดความสามารถขององคกร ซึ่งประกอบได้ด้วย การพัฒนาความรูและศักยภาพแกคณะกรรมการ การพัฒนาความรูและศักยภาพแกสมาชิก การพัฒนาขีดความสามารถของกลุ่ม (มัทนา, 2555) โดยขีดความสามารถ เป็นคุณลักษณะเชิงพฤติกรรมซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะบุคคลที่เกิดจากความรู้ ทักษะ และทัศนคติที่แสดงออกในรูปแบบของพฤติกรรมที่สามารถวัดและสังเกตได้ โดยจะมีผลต่อความสำเร็จของงานตามหน้าที่ของบุคคลนั้น ซึ่งขีดความสามารถจะมีเกณฑ์วัดเพื่อบ่งบอกระดับความสามารถแต่ละระดับ ทั้งนี้ระดับขีดความสามารถที่มีความเหมาะสมของแต่ละคนจะแตกต่างกันตามหน้าที่และสถานการณ์ของการทำงานที่แต่ละคนได้รับมอบหมาย โดยทุกคนสามารถเรียนรู้และพัฒนาด้วยการอบรมและพัฒนาในรูปแบบอื่นๆ ตามความเหมาะสม (ฐิติพงศ์, 2552) ในส่วนบ้านโคกเมือง เป็นชุมชนเก่าแก่ดั้งเดิมที่มีขนาดใหญ่ ชาวบ้านที่เข้ามาตั้งบ้านเรือนอพยพจากตำบลตาจง อำเภอละหานทราย นอกจากนี้ยังมีอพยพมาจาก ศรีสะเกษ สุรินทร์ อุบลราชธานี เดิมพื้นที่บริเวณนี้ เป็นชุมชนที่มีพื้นฐานความเจริญรุ่งเรืองทางวัฒนธรรมมาก่อนในอดีต โดยมีหลักฐานทางโบราณสถาน ที่สำคัญ คือ ปราสาทเมืองต่ำ มีอายุมากกว่า 1,400 ปี เริ่มแรกเป็นชุมชนเล็กเมื่อประมาณ 100 กว่าปี อพยพมาตั้งบ้านเรือนแล้วต่อมาประชากรเพิ่มขึ้นกลายเป็นหมู่บ้านใหญ่ ที่ชุมชนชาวบ้านโคกเมืองส่วนมากมีอาชีพทำนา และทำการเกษตรแบบผสมผสาน เนื่องจากดินบริเวณนี้อุดมสมบูรณ์ด้วยแร่ธาตุสะสมอยู่ใต้ดิน เพราะในอดีตนานนับพันปีมาแล้ว ที่นี่เคยเป็นพื้นที่ภูเขาไฟ ซึ่งเหมาะแก่การปลูกข้าวหอมมะลิมาก ทำให้ข้าวหอมมะลิของที่นี่มีมีกลิ่นหอม นุ่ม และรสชาติดี มีวิตามินและแร่ธาตุสูง ชุมชนบ้านโคกเมืองมีความโดดเด่น ได้แก่ การปลูกข้าวในพื้นที่ที่มีแร่ธาตุในดินบริเวณโดยรอบภูเขาไฟ ชุมชนจึงใช้ชื่อเรียกว่า “ข้าวภูเขาไฟ” ถูกตั้งชื่อครั้งแรกเมื่อปี 2554 โดยอำเภอประโคนชัย และองค์การบริหารส่วนตำบลจรเข้มาก ร่วมกันสนับสนุนให้ประชาชนที่อาศัยโดยรอบภูเขาไฟพนมรุ้ง ได้แก่ บ้านโคกเมือง และบ้านหนองบัวราย รวมกลุ่มกันผลิตข้าวสารคุณภาพภายใต้ชื่อ “ข้าวภูเขาไฟ” บริหารโดยคณะกรรมการกลุ่มข้าวภูเขาไฟ จาก 5 หมู่บ้าน คือ หมู่ที่ 6, 7, 9, 15 และหมู่ที่ 18 โดยการสนับสนุนของส่วนราชการ และองค์การบริหารส่วนตำบลจรเข้มาก เมื่อปี 2555 กรมการพัฒนาชุมชน ได้สนับสนุนให้ดำเนินการจัดตั้งโรงสีข้าวขึ้นเอง ที่บ้านโคกเมือง หมู่ที่ 9 โดยกรมการพัฒนาชุมชนสมัย สนับสนุนงบประมาณสร้างโรงเรือน และ องค์การบริหารส่วนตำบลจรเข้มาก สนับสนุนเงินกู้เพื่อซื้อเครื่องสีข้าวขนาดกลาง ราคา ในปี 2557 ข้าวภูเขาไฟ เข้ารับการคัดสรรสุดยอดหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ไทย (Otop Product Champion) อยู่ในระดับ 5 ดาว แต่ข้าวภูเขาไฟยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนัก ผลผลิตของกลุ่มเป็นข้าวสารบรรจุถุง และกลุ่มข้าวภูเขาไฟแยกฐานการผลิตไปอยู่ใน 3 หมู่บ้าน ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการบริหารจัดการและให้มีความหลากหลายในตัวสินค้ามากขึ้น โดยแยกฐานการผลิตเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เด่นของตนเองใน 3 หมู่บ้าน คือ 1) บ้านโคกเมือง

หมู่ที่ 6 ผลิต ข้าวดินภูเขาไฟ โดยมีผลิตภัณฑ์เด่นคือ พันธุ์ข้าวและข้าวสาร 2) บ้านหนองบัวราย หมู่ที่ 7 ผลิต ข้าวฮางภูเขาไฟ โดยมีผลิตภัณฑ์เด่นคือ ข้าวฮาง ข้าวกล้อง/ข้าวสาร และ 3) บ้านโคกเมือง หมู่ที่ 9 ผลิต ข้าวภูเขาไฟ โดยมีผลิตภัณฑ์เด่นคือ ข้าวสาร และข้าวกล้อง (ส้มเกลี้ยง, 2562) สำหรับอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นที่ตั้งของภูเขาไฟ 3 ลูก คือ ภูเขาไฟพนมรุ้ง ภูเขาไฟปลายบัด และภูเขาไฟคอก มีพื้นที่มีพื้นที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกข้าวทั้งหมด 453,638.72 ไร่ และมีพื้นที่ที่เป็นชุดดินภูเขาไฟ ประมาณ 12,877 ไร่ มีศักยภาพในการผลิตข้าวได้เฉลี่ย 380 กิโลกรัมต่อไร่ ครอบคลุม 3 ตำบลคือ ตำบลจรเข้มาก ตำบลประทัดบุ ตำบลเขาคอก (รุ่งเรือง และคนอื่นๆ, 2562) จากประกาศกรมทรัพย์สินทางปัญญา เมื่อวันที่ 29 กันยายน 2563 เรื่อง การขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (GI) “ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟบุรีรัมย์” (Kaow Hom Mali Din Phu Kao Fai Buriram Rice) หมายถึง ข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว ที่แปรรูปมาจากข้าว หอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะ ลิ 105 และพันธุ์ กข 15 ปลูกในฤดูนาปี บนพื้นที่ที่มีแร่ธาตุจากดินภูเขาไฟบุรีรัมย์ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะ ทำให้เมล็ดข้าวเรียวยาว เลื่อมมัน มีท้องไข่น้อย เมื่อหุงสุกจะเหนียวนุ่มไม่แข็งกระด้าง ครอบคลุมพื้นที่ 7 อำเภอ ในจังหวัดบุรีรัมย์ ได้แก่ อำเภอเมืองบุรีรัมย์ อำเภอละหานทราย อำเภอเฉลิมพระเกียรติ อำเภอห้วยราช อำเภอประโคนชัย อำเภอปะคำ และอำเภอนางรอง (มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์, 2563) ส่วนปัญหาส่วนมากที่พบจากการลงพื้นที่สำรวจข้อมูลพบว่า ชาวนาบ้านโคกเมืองประสบปัญหาการขายข้าวตกต่ำเมื่อเทียบกับต้นทุนในการเพาะปลูกจนเก็บเกี่ยวเกิดขาดทุน ส่วนใหญ่เกษตรกรขายให้ พ่อค้าคนกลางซึ่งเป็นผู้ตั้งราคาขายข้าวให้ ทำให้บางครั้งขายได้ในราคาที่ต่ำกว่าที่ติดป้ายราคารับซื้อหน้าโกดัง เนื่องจากการขาดอำนาจต่อรองของกลุ่มเกษตรกร ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาศักยภาพของเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง และพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรที่จะช่วยแก้ปัญหาของคนในชุมชน และเป็นแนวทางที่สร้างเศรษฐกิจ สังคม และชุมชนให้มีความยั่งยืน ส่งเสริมให้ชุมชนสามารถพึ่งพาตนเองในระยะยาวต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินโครงการ แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมนักวิจัย เตรียมพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย และวางแผนการดำเนินงาน

1.1 การเตรียมนักวิจัย เตรียมพื้นที่กลุ่มเป้าหมาย และวางแผนการดำเนินงาน

1.2 สำรวจรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง

1.3 สังเคราะห์ข้อมูล

1.4 คืนข้อมูลให้กับคนในชุมชนและเปิดเวทีชี้แจงกระบวนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาศักยภาพชุมชน เก็บรวบรวมข้อมูล และสังเคราะห์ข้อมูล

2.1 กระบวนการประชุมระดมสมอง

2.2 ลงสำรวจกลุ่มเป้าหมายและวางแผนงาน

2.3 การประชุมร่วมกันนำผลสังเคราะห์จากการเก็บข้อมูลเก็บข้อมูลความต้องการผู้บริโภคมาพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวภูเขาไฟ

ขั้นตอนที่ 3 การติดตามผล สรุปผล และถอดบทเรียน

3.1 การกำกับติดตามผลการดำเนินโครงการวิจัย โดยการใช้กระบวนการในการติดตามความก้าวหน้าของการดำเนินงานวิจัยแต่ละโครงการเป็นระยะ ๆ เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยเป็นไปตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ และมีการรายงานปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจัดกิจกรรมในแต่ละโครงการ

3.2 สรุป และวิเคราะห์ผลการดำเนินโครงการย่อยเพื่อการรายงานความก้าวหน้าโครงการ โดยการประชุมนักวิจัยเพื่อทำการสังเคราะห์ผลการวิจัยจากกิจกรรมที่นักวิจัยแต่ละโครงการได้มีการดำเนินงานไปแล้ว เพื่อเป็นการทบทวนและสังเคราะห์ผลการวิจัย

3.3 สรุป สังเคราะห์ วิเคราะห์ สรุปผล และถอดบทเรียน

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องที่พัฒนาใหม่ โดยใช้ค่าสถิติร้อยละ ความถี่ และค่าเฉลี่ยของผลการทดสอบเครื่องมาเขียนในรูปแบบตารางความถี่ และบรรยายรายละเอียดผลการทดสอบ

2.2 ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการสัมภาษณ์ คณะผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ข้อมูลและเขียนอธิบายเชิงพรรณนา โดยผลการวิเคราะห์ชุมชนนำมาเชื่อมโยงกับองค์ประกอบต่างๆ ของชุมชน แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล นำมาสร้างหลักสูตรในการพัฒนาขีดความสามารถให้กับคนในชุมชน

ผลการวิจัย

1. ผลการวิเคราะห์การตลาดรูปแบบเดิมและรูปแบบการกระจายรายได้ของกลุ่มผู้ผลิตผลิตข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง

การตลาดรูปแบบเดิม

โดยภายในห่วงโซ่อุปทานการผลิตข้าวภูเขาไฟ การตลาดรูปแบบเดิมจะเริ่มจากกระบวนการต้นน้ำ มีรูปแบบที่ผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟแล้วขายเองภายในชุมชน แปรรูปเป็นข้าวสารแพ็กถุงซีลขาย ได้แก่ ข้าวสารแพ็กถุง 0.5 กิโลกรัม และ 1 กิโลกรัม ส่วนกระบวนการกลางน้ำ จะขายผ่านพ่อค้าคนกลาง กลุ่มแม่ค้าในตลาด มีการขายแบบเดี่ยว และแบบกลุ่ม ขาดตลาดในการรับซื้อสินค้าที่แน่นอน มีการจ้างผลิตแบบกระจายจ้างต่อ ยังไม่มีกลุ่มแปรรูปที่ชัดเจน ส่วนกระบวนการปลายน้ำ กลุ่มผู้บริโภคข้าวภูเขาไฟ ได้แก่ นักท่องเที่ยวทั่วไป คนในชุมชน องค์กรต่างๆ เช่น สหกรณ์การเกษตรประโคนชัย โรงเรียน องค์การบริหารส่วนตำบลจรเข้มาก หน่วยงานราชการในพื้นที่ มีการออกบูทจำหน่ายงานอีเว้นท์ต่างๆ ทั้งในจังหวัดและต่างจังหวัด มีรูปแบบการกระจายรายได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบการกระจายรายได้จากผลิตภัณฑ์ของกลุ่มผู้ผลิตข้าวภูเขาไฟตำบลจระเข้มาก

ต้นน้ำ		**กลางน้ำ**			**ปลายน้ำ**
ผู้ผลิตในชุมชน	ผู้ซื้อในชุมชน	พ่อค้า/แม่ค้าคนกลาง	กลุ่มแม่ค้าในตลาด	กลุ่มแปรรูป	ผู้บริโภค/กลุ่มธุรกิจ
1.ข้าวสารแพ็กถุง 1 กก. ปริมาณ 1 กก. ราคาขายต่อ 1 กก. = 40 บาท ขายครั้งละ 100 กก./เดือน ได้เงิน 100 × 40 บาท = 4,000 บาท	ปริมาณ 1 กก. - ซื้อ 40 บาท - ขาย 45 บาท ได้เงิน 100×45 บาท = 4,500 บาท กำไร 500 บาท	ปริมาณ 1 กก. - ซื้อ 40 บาท - ขาย 60 บาท ได้เงิน 100×60 บาท = 6,000 บาท กำไร 2,000 บาท	ปริมาณ 1 กก. - ซื้อ 40 บาท - ขาย 50 บาท ได้เงิน 100×50 บาท = 5,000 บาท กำไร 1,000 บาท	ยังไม่มี	- ออกบูทจำหน่ายงานอีเว้นท์ต่างๆ ทั้งในจังหวัดและต่างจังหวัด -ตลาดนัดทั่วไป -นักท่องเที่ยวทั่วไป
2. ข้าวสารแพ็กถุง 0.5 กก. ราคาขายต่อ 0.5 กก. = 30 บาท ขายครั้งละ 100 กก. ได้เงิน 100 × 30 บาท = 3,000 บาท	ปริมาณ 0.5 กก. - ซื้อ 30 บาท - ขาย 35 บาท ได้เงิน 100×35 บาท = 500 บาท กำไร 500 บาท	ปริมาณ 0.5 กก. - ซื้อ 40 บาท - ขาย 50 บาท ได้เงิน 100×50 บาท = 5,000 บาทกำไร 1,000 บาท	ปริมาณ 0.5 กก. - ซื้อ 35 บาท - ขาย 40 บาท ได้เงิน 100×40 บาท = 4,000 บาท กำไร 500 บาท	ยังไม่มี	-ออกบูทจำหน่ายงานอีเว้นท์ต่างๆ ทั้งในจังหวัดและต่างจังหวัด -ตลาดนัดทั่วไป -นักท่องเที่ยว

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัญหาความต้องการ และแนวทางในการพัฒนาขีดความสามารถกลุ่ม ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากการแลกเปลี่ยนในเวทีประชาคมโดยสามารถแตกประเด็นปัญหาและชุมชนร่วมกันระดมสมองในการให้รายละเอียดปัญหาการดำเนินงานจากเวทีแลกเปลี่ยนความคิดเห็นเกี่ยวกับศักยภาพกลุ่มในแต่ละด้านทั้ง 4 ด้าน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากเวทีระดมความคิดเห็น

ด้าน	ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
1. ต้นทุนการผลิต	- มีต้นทุนการผลิตที่ยังสูงเนื่องจากมีต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องสีข้าวและอุปกรณ์ - ขาดองค์ความรู้ในการคิดต้นทุนในการตั้งราคาขายสินค้า - ขาดต้นทุนที่เป็นองค์ความรู้ในกระบวนการผลิตที่เป็นมาตรฐานทำให้ได้ผลผลิตต่ำ	- ชุมชนขาดองค์ความรู้ต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องสีข้าวและอุปกรณ์ทำให้ต้นทุนสูง - ต้นทุนด้านวัสดุอุปกรณ์มีราคาที่สูง และขาดหน่วยงานหลักในสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง - ขาดองค์ความรู้ในการคิดต้นทุนในการตั้งราคาขายสินค้า - อุปกรณ์ในการผลิตข้าวยังสูงเกษตรกรขาดศักยภาพในการลงทุน	- ส่งเสริมองค์ความรู้การลดต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องสีข้าวและอุปกรณ์ - ส่งเสริมจัดหาแหล่งทุน - แนะนำและชักชวนเกษตรกรให้เข้าถึงแหล่งทุนและความรู้ในหน่วยงานราชการ
2. การบริหารจัดการ	- ไม่มีองค์ความรู้ในการบริหารจัดการกลุ่มเพื่อสร้างความแข็งแกร่ง - ขาดหลักในการบริหารจัดการที่ถูกวิธี	- ขาดองค์ความรู้ในการรวมกลุ่มและผลประโยชน์ - ขาดแหล่งความรู้/เข้าไม่ถึงแหล่งความรู้	-ส่งเสริม พัฒนาศักยภาพในการจัดตั้งกลุ่ม พร้อมส่งเสริมวิธีการจัดการและบริหารกลุ่ม -เชื่อมโยงหน่วยงานที่สนับสนุนเพื่อพัฒนาศักยภาพ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

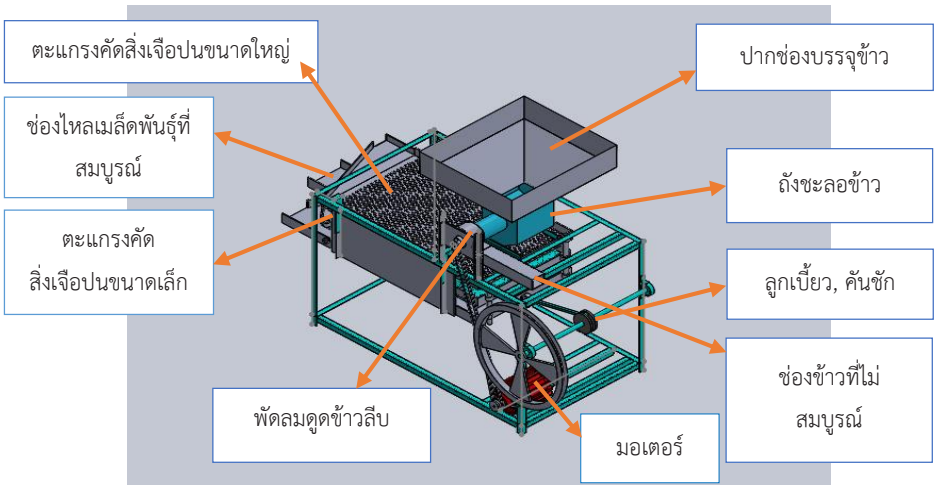
ด้าน	ปัญหา	สาเหตุ	วิธีแก้ไข
3. ด้านกรรมวิธีการผลิต	- การดูแลรักษาที่เครื่องจักร/อุปกรณ์ ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ - ขาดองค์ความรู้ในการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสีข้าวให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น เมล็ดข้าวไม่หัก ไม่มีเศษวัสดุเจือปนในข้าวทำให้ได้ราคาดี - ยังพบปัญหาการร้องเรียนเรื่องเสียงและฝุ่นจากการสีข้าวภายในชุมชนอยู่	- การดูแลรักษาที่เครื่องจักร/อุปกรณ์ ทำให้ได้ผลผลิตต่ำ - ขาดองค์ความรู้ในการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสีข้าวให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น เมล็ดข้าวไม่หัก ไม่มีเศษวัสดุเจือปนในข้าวทำให้ได้ราคาดี - ยังพบปัญหาการร้องเรียนเรื่องเสียงและฝุ่นจากการสีข้าวภายในชุมชนอยู่	- ถ่ายทอดการดูแลอุปกรณ์เพื่อลดต้นทุน - ถ่ายทอดองค์ความรู้ในการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสีข้าวให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น เมล็ดข้าวไม่หัก ไม่มีเศษวัสดุเจือปนในข้าว - ลดรอบการสีข้าวโดยใช้ปริมาณของข้าวเปลือกในการจัดรอบการสีข้าวลดปัญหาการร้องเรียนเรื่องเสียงและฝุ่นจากการสีข้าว
4. ด้านการตลาดและการแปรรูป	- ยังขาดตลาดรองรับที่สม่ำเสมอ/ สินค้ายังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้าง - ขาดองค์ความรู้ด้านการแปรรูปที่ถูกวิธี เช่น การแปรรูปจากข้าวสารเป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยสร้างรายได้เพิ่มขึ้น การเก็บรักษาที่เหมาะสม เป็นต้น - ไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการเก็บรักษาเพื่อจำหน่าย - ขาดองค์ความรู้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ การออกแบบตราสินค้า (Logo) และบรรจุภัณฑ์ใหม่ ของกลุ่มฯ	- ไม่มีตลาดรับซื้อข้าวในการส่งตลาดทำให้ผู้ซื้อรับซื้อไม่สม่ำเสมอ - เข้าไม่ถึงองค์ความรู้ในการแปรรูปข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าที่ถูกวิธี - อุปกรณ์ในการเก็บรักษาราคาแพง เกินศักยภาพเกษตรกรที่จะลงทุน - เข้าไม่ถึงองค์ความรู้ในการพัฒนา Packaging	- เพิ่มตลาดรับซื้อข้าว สร้างเครือข่ายตลาดสินค้าเพิ่มเติม/มีผู้รับผิดชอบในการจัดหาตลาด - จัดหาวิทยากรให้ความรู้ในการแปรรูปแบบต่าง ๆ - สร้างองค์ความรู้และหาแหล่งทุนสนับสนุนในการสร้าง Packaging ที่ทันสมัย

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากเวทีระดมความคิดเห็น จากตารางที่ 2 พบว่า ปัญหาของเกษตรกรในชุมชนใน 4 ด้าน สามารถนำมาวิเคราะห์หาแนวทางปฏิบัติในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจากการปรึกษาหารือร่วมกับสมาชิกกลุ่ม พบว่าปัญหาที่สมาชิกกลุ่มลงมติในการแก้ไข ได้แก่ ปัญหาด้านกรรมวิธีการผลิต โดยการนำองค์ความรู้ในการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการสีข้าวให้ได้ผลผลิตสูงขึ้น ลดการหักของเมล็ดข้าว ลดเศษวัสดุเจือปนในข้าว ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของข้าวสารโดยตรง จึงนำไปสู่การสร้างนวัตกรรม การออกแบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนในเมล็ดข้าวขึ้นมา

3. เกิดนวัตกรรมในการพัฒนาขีดความสามารถโดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยโดยการออกแบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว

ทางคณะผู้วิจัยได้คำนึงถึงคุณสมบัติของเครื่องโดยออกแบบเรียบง่ายสะดวกและปลอดภัยในการใช้งาน มีขนาดที่พอเหมาะและมีประสิทธิภาพการคัดแยกสูง ได้แก่ 1. ขนาดเครื่องมีขนาดที่พอดีในการใช้งาน 2. สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย 3. สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน 4. มีความปลอดภัยในการใช้งาน และ 5. ทำความสะอาดได้ง่าย โดยมีแบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่พัฒนาใหม่ดังภาพที่ 1

ตัวแบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่พัฒนาใหม่



ภาพที่ 1 แบบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่พัฒนาใหม่

ภาพที่ 2 ถังชะลอข้าวที่ออกแบบใหม่

ภาพที่ 3 ตะแกรงคัดสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ชั้นบน และ ตะแกรงคัดสิ่งเจือปนขนาดเล็กชั้นล่าง

ภาพที่ 4 เครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสร็จสมบูรณ์

ผลจากการออกแบบเครื่องแล้วจากภาพที่ 2, 3 พบว่า เป็นตะแกรงสำหรับคัดสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ชั้นบน จะมีขนาดรูที่ใหญ่เป็นตะแกรงแบบสล็อตรูยาว ขนาดรู 3 มม. ขนาดกว้าง 50 ซม. x ยาว 90 ซม. และตะแกรงคัดสิ่งเจือปนขนาดเล็กชั้นล่าง จะมีขนาดรูที่เล็กเป็นตะแกรงแบบรูกลม เบอร์ 8 ขนาดรู 2.15 มม. ขนาดกว้าง 50 ซม. x ยาว 90 ซม. จะกรองสิ่งเจือปนได้ละเอียดมากขึ้นทำให้ข้าวเปลือกที่ได้จากการคัดแยกสะอาดขึ้น และจากภาพที่ 4 เป็นเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่เสร็จสมบูรณ์ นอกจากนี้คณะผู้วิจัยยังได้วิเคราะห์ต้นทุนของเครื่องที่พัฒนาใหม่ ต้นทุนเครื่องที่พัฒนาเท่ากับ 9,800 บาท เปรียบเทียบกับราคาขายในท้องตลาด

ประมาณ 15,000 บาท ซึ่งถือว่าเครื่องที่พัฒนาใหม่มีต้นทุนที่ต่ำ เกษตรกรสามารถเข้าถึงได้ ในส่วนความสะดวกในการบำรุงรักษาเครื่องมีความปลอดภัยในการใช้งานเนื่องจาก เครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวมีน้ำหนักที่ลดลงทำให้การเคลื่อนย้ายง่าย การถอดทำความสะอาดทำได้ง่ายเนื่องจากจุดยึดส่วนใหญ่จะยึดติดด้วยน็อต จึงทำให้การถอดทำความสะอาดทำได้ง่าย มีวิธีการใช้งานไม่ซับซ้อน เหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนและชุมชนขนาดเล็ก มีตะแกรงคัดสิ่งเจือปน 3 ชั้น มีพัดลมดูดข้าวลีบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 นิ้ว เพื่อเพิ่มพื้นที่และปริมาณในการดูดข้าวลีบและสิ่งเจือปนที่น้ำหนักเบาจะทำให้การดูดสิ่งเจือปนมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ส่วนในการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย ใช้การพัฒนาขีดความสามารถของชุมชนและเกษตรกรในชุมชนโดยใช้เครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ในการทดลองเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ทางคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เมล็ดพันธุ์ข้าว กข.15 ที่มีสิ่งเจือปนในการทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ด้วยเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จำนวนครั้งในการทำการทดลองทั้งหมดจำนวน 5 ครั้ง ผลที่ได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ตามขนาดของสิ่งเจือปน 3 ชนิด

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการสีข้าว (นาที)	เมล็ดข้าวเปลือก (กก.)	สิ่งเจือปน (กก.)			ข้าวสมบูรณ์ ร้อยละ (%)
			ขนาดใหญ่	ดอกหญ้า	ฝุ่น/ข้าวลีบ	
1	2.05	9.67	0.05	0.08	0.2	96.7
2	2.03	9.75	0.02	0.03	0.2	97.5
3	2.04	9.82	0.03	0.05	0.1	98.2
4	2.03	9.78	-	0.02	0.2	97.8
5	2.00	9.83	-	0.07	0.1	98.3
เฉลี่ย	2.03	9.77	0.02	0.05	0.16	97.7

จากตารางผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ตามขนาดของสิ่งเจือปน 3 ชนิด โดยเฉลี่ยได้เมล็ดข้าวเปลือก 9.77 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 97.7 และสิ่งเจือปนเฉลี่ย 0.23 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 2.3 โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 2.03 นาทีต่อ 10 กิโลกรัม จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องสามารถสรุปได้ว่าสิ่งเจือปนสูงทำให้อัตราผลผลิตข้าวดีที่ได้ต่ำลงด้วย และจากผลการดำเนินการวิจัยข้างต้น ทำให้คณะผู้วิจัยได้สร้างหลักสูตรในการพัฒนาขีดความสามารถให้เกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ตำบลจรเข้มาก 1 หลักสูตร ได้แก่ คู่มือหลักสูตรการปฏิบัติงานเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว ซึ่งหลังการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้แล้วพบว่า เกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง สามารถใช้เครื่องและเรียนรู้หลักการใช้เครื่องในชุมชนได้ และมีความพึงพอใจร้อยละ 90

อภิปรายผล

จากการทำการวิจัยนี้ ในส่วนการพัฒนาขีดความสามารถโดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยพัฒนาศักยภาพและหนุนเสริมเกษตรกรภูเขาไฟบ้านโคกเมือง โดยใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยโดยการออกแบบเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ในการพัฒนาเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยมีตู้ลมดูดและตะแกรงคัดแยก 3 ชั้น เป็นการพัฒนาการศึกษาด้านเทคโนโลยี และเพื่อดึงดูดเกษตรกรผู้ปลูกข้าวให้เห็นถึงความสำคัญในการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว ก่อนนำไปเพาะปลูก พบว่างานวิจัย สามารถลดขนาดน้ำหนักของเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีต้นทุนในการผลิตต่ำ และมีการใช้ตะแกรงคัดข้าวโดยใช้กำลังมอเตอร์ในการโยกตะแกรง นำตู้ลมดูดมาใช้ในการช่วยคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว จะเห็นได้ว่าเครื่องตามท้องตลาด ส่วนมากจุดยึดระหว่างชั้นตะแกรงจะเชื่อมติดกันไม่สามารถถอดทำความสะอาดได้ ไม่มีตู้ลมดูดในการดูดข้าวลีบและฝุ่น เครื่องมีขนาดใหญ่และสูง ไม่มีช่องในการชะลอการไหลของข้าว ในการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวแต่ละรอบใช้เวลาในการคัดที่มากกว่า แต่ได้ความสะอาดของข้าวที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าเครื่องที่พัฒนาใหม่ สอดคล้องกับงานวิจัย แนวคิดในการนำตะแกรงโยกมาใช้คัดขนาดของข้าวเปลือกโดยการใช้แรงขับจากมอเตอร์ ซึ่งจากการพัฒนาขีดความสามารถและหนุนเสริมเกษตรกรภูเขาไฟบ้านโคกเมือง โดยการพัฒนาเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อเปรียบเทียบเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวของงานนี้กับงานอื่นๆ ในประเด็นด้านโครงสร้างของเครื่อง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณฤดล และวรวรรธน์ (2559) พบว่าเครื่องที่พัฒนามีขนาดและน้ำหนักลดลงกว่าเครื่องเดิม แต่ยังคงประสิทธิภาพที่ดีของเครื่องเดิมเอาไว้ ในการออกแบบจะคำนึงถึงความเรียบง่ายในการใช้งาน ขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งาน และยังช่วยลดอัตราการเกิดของเสียระหว่างการสร้างเครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวได้ ทำให้ต้นทุนในการผลิตไม่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องตามท้องตลาดในราคาที่เท่ากัน เครื่องที่พัฒนาแล้วจะใช้เวลาในการคัดน้อยกว่า และมีพัดลมดูดข้าวลีบ เครื่องคัดเมล็ดพันธุ์ในราคาที่ใกล้เคียงกันที่มีขาย จะไม่มีพัดลมในการดูดข้าวลีบ และงานวิจัยนี้ยังสอดคล้องกับงานวิจัยการพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวเป็น การพัฒนาองค์ความรู้และการฝึกทักษะที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าว เช่น ทักษะการใช้เทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง ทักษะการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิต รวมถึงทักษะการบริหารจัดการต่าง ๆ ให้กับเกษตรกรผู้ผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวและสอดคล้องกับงานวิจัยของ วรัญญู และคนอื่นๆ (2562) ในส่วนการนำผลการวิจัยไปใช้จะเห็นได้ว่า ผลการวิจัยเครื่องที่พัฒนาใหม่ พบว่าแต่จากผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวตามขนาดของสิ่งเจือปน 3 ชนิด โดยเฉลี่ยได้เมล็ดข้าวเปลือก 9.77 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 97.7 และสิ่งเจือปนเฉลี่ย 0.23 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 2.3 โดยเวลาเฉลี่ยที่ใช้เท่ากับ 2.03 นาทีต่อ 10 กิโลกรัม นอกจากนี้ยังเกิดการสร้างหลักสูตรในการพัฒนาขีดความสามารถให้เกษตรกรกลุ่มข้าวภูเขาไฟบ้านโคกเมือง ได้แก่ คู่มือหลักสูตรการปฏิบัติงานเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าว ทำให้เกษตรกรสามารถใช้งานได้อย่างเข้าใจและถูกต้อง โดยสิ่งที่พบโดดเด่นจากงานวิจัยนี้ ได้แก่ การออกแบบใช้ตะแกรงสำหรับคัดสิ่งเจือปนขนาดใหญ่ชั้นบน จะมีขนาดรูที่ใหญ่เป็นตะแกรงแบบสล็อตรูยาว ขนาดรู 3 มม. ขนาด และตะแกรงคัดสิ่งเจือปนขนาดเล็กชั้นล่าง จะมีขนาดรูที่เล็กเป็นตะแกรงแบบรูกลม เบอร์ 8 ขนาดรู 2.15 มม. จะกรองสิ่งเจือปนได้ทำให้ข้าวเปลือกที่ได้จากการคัดแยกสะอาดขึ้น กรองได้ละเอียดมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ รพีพรรณ

(2562) ที่พบว่าการพัฒนาเครื่องคัดขนาดเมล็ดพันธุ์คุณภาพสำหรับโรงสีชุมชน โดยใช้ตะแกรงหลุมกลม เบอร์ 5 และมีมุมเอียงตะแกรง 5 องศา สามารถคัดแยกข้าวพันธุ์คุณภาพออกจากสิ่งเจือปนที่มีขนาดต่ำกว่า 5 มิลลิเมตรได้ โดยได้ทำการทดสอบหาความเร็วรอบที่เหมาะสม คือ 35.67 รอบ/นาที มีอัตราการทำงานสูงสุด 27.93 กิโลกรัม/ชั่วโมง นั่นแสดงให้เห็นว่าเครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนเมล็ดพันธุ์ข้าวที่พัฒนาขึ้นใหม่ มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับเครื่องที่มีขายในท้องตลาดและราคาต้นทุนสร้างเครื่องจะต่ำกว่าท้องตลาดอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ในการสร้างเครื่อง ขอบคุณสมาชิกกลุ่มนาแปลงใหญ่ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร (ศพก.) ตำบลจรเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ ที่ช่วยให้ข้อมูลและทดสอบการใช้เครื่อง ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ฐิติพงศ์ ไชยองค์การ. (2552) **การพัฒนาขีดความสามารถการบริหารจัดการฟาร์มสัตว์น้ำ : กรณีศึกษา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย.** เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ณฤดล ผอูนรัตน์ และวรวรรธน์ นกน้อย. (2559). **การศึกษาและพัฒนาเครื่องคัดข้าวพันธุ์คุณภาพสำหรับโรงสีสำหรับชุมชน.** รายงานผลโครงงานวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

มัทนา บำรุงเชื้อ. (2555). **แนวทางการดำเนินงานยกระดับกลุ่มออมทรัพย์เพื่อการผลิตในอำเภอลานกระบือ จังหวัดกำแพงเพชร.** วิทยานิพนธ์รัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชารัฐประศาสนศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย: มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร.

รุ่งเรือง งาหอม, จินดาพร สืบขำเพชร, ชลาวัล วรรณทอง, ชาติชาย ศรีษะนอก และเรวัชณ์ มัชฌิกะ (2562). **การศึกษาข้อมูลและกลไกเพื่อขึ้นทะเบียนสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ข้าวหอมมะลิดินภูเขาไฟ**. กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.).

ราชภัฏบุรีรัมย์, มหาวิทยาลัย. (2563). **คู่มือปฏิบัติงานและแผนการควบคุมตรวจสอบสำหรับสมาชิกผู้ขอใช้สิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์.** บุรีรัมย์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.

รพีพรรณ เหล็กหมื่นไวย. (2562, กรกฎาคม-ธันวาคม). การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องทำความสะอาดเมล็ดพันธุ์ข้าวในครัวเรือน. **วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม, 1**(2), 36-46.

วรัญญู ทิพย์โพธิ์, กิตติคุณ นิมิตแสงเทียน และปานจิต ศรีสวัสดิ์. (2562, มกราคม-มิถุนายน). การพัฒนาขีดความสามารถทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวในพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี. **วารสารบริหารธรุกิจเทคโนโลยีมหานคร, 16**(2), 51-67.

ส้มเกลี้ยง สืบวัน. (2562, มิถุนายน 20). ประธานโฮมสเตย์บ้านโคกเมือง, ตำบลจระเข้มาก อำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์. สัมภาษณ์.

การวิเคราะห์ระบบตรวจจับการบุกรุกบนอุปกรณ์ฝังตัวเพื่อแจ้งเตือนการบุกรุกเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอส

Intrusion Detection System Analysis on Embedded Devices to Alert Kerberos Server Intrusion

อรรถพล ป้อมสถิตย์*

Auttapon Pomsathit

Received : May 27, 2019

Revised : March 30, 2022

Accepted : April 27, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยระบบตรวจจับการบุกรุกบนอุปกรณ์ฝังตัวเพื่อแจ้งเตือนการบุกรุกเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสได้นำเสนอการศึกษาการบุกรุกเครือข่ายที่มีผู้บุกรุกโจมตีไปที่เครื่องแม่ข่าย ด้วยการทดสอบการโจมตีรูปแบบการปฏิเสธการให้บริการ 3รูปแบบได้แก่ SYN Flood UDP Flood และ ICMP Flood โดยทดสอบการเปรียบเทียบระหว่างการโจมตีเคอร์เบอรอสเซิร์ฟเวอร์ เพื่อดูประสิทธิภาพของเคอร์เบอรอส การทำงานการตรวจจับการบุกบุกที่ถูกติดตั้งในอุปกรณ์ฝังตัวราสเบอรี่ไพ และการทำงานการตรวจจับการบุกบุกบนเครื่องแม่ข่าย ซึ่งการตรวจสอบการทำงานนั้นใช้เทคนิคเชลล์สคริปโดยใช้เวลา 120 วินาที ต่อการทดลอง บันทึกการทดลองทุก ๆ 5 วินาที และตรวจสอบผลค่าทรัพยากรหน่วยประมวลผลกลางหน่วยความจำหลัก และระบบเครือข่าย ทั้งนี้เครื่องแม่ข่ายที่อยู่ในแผนผังเครือข่ายจะกำหนดให้ไม่มีการใช้งานไฟร์วอล์และการรักษาความปลอดภัยรูปแบบอื่นๆ ส่วนระบบตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายจะใช้โปรแกรม Snort บนระบบปฏิบัติการ Linux ผลการตรวจจับการบุกรกจากการโจมตีประกอบด้วย 1.ผลการโจมตีผ่านการสื่อสารภายในของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอร์รอสมีค่าการใช้ทรัพยากรเฉลี่ยสูงกว่าการสื่อสารภายนอก 1.08 เท่า 2.ผลการตรวจับบุกรุกโจมตีแบบ TCP Flood ค่าทรัพยากรเฉลี่ยคิดเป็น 1.02 และ 1.24 เท่า ของ UDP Flood และ ICMP Flood ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการตรวจจับการโจมตี TCP Flood และ UDP Flood มีความแตกต่างกันไม่มาก แต่ส่วนของ ICMP Flood มีการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด 3. ผลการทำงานการตรวจจับการบุกรุกของอุปกรณ์ฝังตัวด้วยการสื่อสารแบบสายมีค่าการใช้ทรัพยากรรวม

*อาจารย์ประจำสาขาวัตกรรมดิจิทัล วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

Lecturer of Digital Innovation Department College of Digital Innovation Technology Rangsit University

เฉลี่ยมากกว่าแบบไร้สายถึง 2.28 เท่า 4. ผลการทำงานการตรวจจับการบุกรุกของอุปกรณ์ฝังตัวด้วยรูปแบบการสื่อสารภายในมีค่าการใช้ทรัพยากรรวมเฉลี่ยมากกว่าภายนอกถึง 1.16 เท่า 5.ส่วนผลการทำงานของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่ติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุก มีค่าทรัพยากร CPU และ RAM มากกว่าเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่แยกการติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกไปยังราสเบอรี่ไพถึง 1.28 และ 1.15 เท่า สุดท้ายนี้การติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกลงบนอุปกรณ์ราสเบอรี่ไพช่วยให้ลดค่าทรัพยากรที่ใช้ในเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่ติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกได้ และไม่เป็นการรบกวนการทำงานของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอส

คำสำคัญ : ระบบตรวจจับการบุกรุก / การปฏิเสธการให้บริการ /การรักษาความมั่นคงทางไซเบอร์ / อุปกรณ์ฝังตัว

ABSTRACT

Research into Intrusion detection on embedded devices for the purpose of alerting to Kerberos server intrusion. The research examines network intrusions in which intruders assault the system. To evaluate the performance of Kerberos against three distinct denial-of-service attacks—SYN Flood, UDP Flood, and ICMP Flood—we ran benchmarks against Kerberos server assaults. A Snort invasion detection capability is deployed on both the embedded Raspberry Pi and the server. Performance verification was accomplished through the use of a shell script approach that required 120 seconds for each experiment, recorded the experiment every 5 seconds, and examined the processor resource numbers. Primary memory and network connectivity However, placing the server on the network map disables firewalls and other types of protection. The network intrusion detection system runs on the Linux operating system and is based on the Snort application. 1. The consequence of an attack via the Kerberos server's internal communication consumes on average 1.08 times the resources of external communication. 2. A TCP Flood attack's consequences UDP Flood and ICMP Flood are 1.02 and 1.24 times more powerful, respectively. As can be observed, the detection of TCP Flood and UDP Flood assaults is similar, although ICMP Flood consumes the fewest resources. Intrusion detection in embedded devices using wired connections consumes an average of 2.28 times as many resources as wireless intrusion detection. The average overall resource use is 1.16 times that of the external environment. It has 1.28 and 1.15 times the CPU and RAM resources of a standalone Kerberos server for detecting Raspberry Pi incursions, respectively. Intrusion detection on Raspberry Pi devices significantly lowers the cost of resources consumed by Kerberos servers equipped with intrusion detection systems. It does not interfere with the Kerberos server's functioning.

Keywords : : Intrusion Detection System / Denial of Service / Cyber Security / Embedded Devices

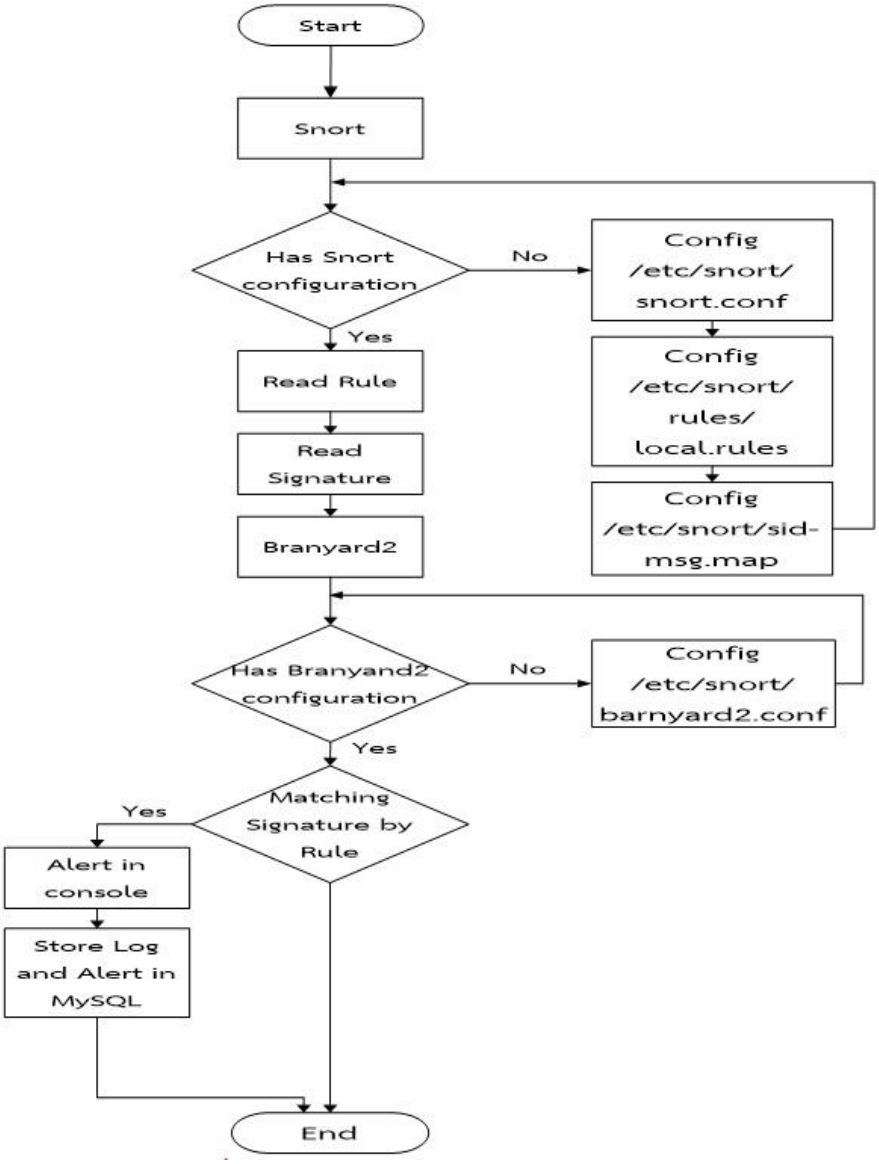
บทนำ

ปัจจุบันระบบคอมพิวเตอร์ที่ถูกวางบนเครือข่ายมักเป็นระบบเปิดซึ่งยอมให้มีการติดต่อขอใช้งานจากระยะไกลได้ บุคคลที่ติดต่อขอใช้บริการผ่านทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์สามารถทำการเชื่อมต่อแล้วเข้าใช้บริการผ่านเครื่องผู้ให้บริการจากตำแหน่งที่อยู่บนระบบเครือข่ายทำหน้าที่เป็นเครื่องผู้ให้บริการแก่เครื่องผู้รับบริการ เมื่อมีการขอเข้าใช้บริการมากขึ้นจากแหล่งต่างๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตอาจจะมีผู้ใช้บางคนที่ไม่ประสงค์ดี บุคคลเหล่านี้อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเครือข่าย และองค์กรหน่วยงานต่างๆ ได้ดังนั้นการรักษาความปลอดภัยทางไซเบอร์ที่มักจะเป็นการโจมตีแบบภายใน และส่วนน้อยจะเป็นการโจมตีจากภายนอก ถึงแม้ว่าเทคโนโลยีด้านการรักษาความมั่นคงทางไซเบอร์ได้ก้าวไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยด้านสารสนเทศได้ถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น แต่ก็ยังไม่สามารถป้องกันรูปแบบการโจมตีที่มีความหลากหลาย และซับซ้อนเพิ่มขึ้น ดังนั้นระบบตรวจจับการบุกรุก (Intrusion Detection System: IDS) หรือระบบตรวจจับการบุกรุกเป็นอีกหนึ่งเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจจับความพยายามบุกรุกเครือข่ายโดยระบบจะแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบเมื่อมีการบุกรุก หรือมีการพยายามที่จะบุกรุกเครือข่าย โดยระบบจะรายงานเฉพาะสิ่งที่กำหนดให้รายงานเท่านั้น (อรรถพล, 2562) อีกทั้งองค์กรหน่วยงานต่าง ๆ มีความจำเป็นต้องมีระบบตรวจจับการบุกรุก และระบบพิสูจน์ตัวตนควบคู่กัน เป็นอีกทางหนึ่งในการช่วยรักษาความปลอดภัยของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หากเปรียบระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์เหมือนบ้านแล้วเคอร์เบอรอสเปรียบเสมือนประตูเข้าบ้านที่ต้องสแกน ลายนิ้วมือและระบบตรวจจับการบุกรุก เปรียบเสมือนยามรักษาการณ์ภายในบ้านที่ชำนาญในการวิเคราะห์คนผ่านเข้าออก โดยดูจากลักษณะและพฤติกรรมของบุคคลที่ไม่ประสงค์ดีหากใครมีพฤติกรรมน่าสงสัยก็จะรายงานให้ผู้ดูแลระบบทราบทันที นับว่าระบบตรวจจับการบุกรุกเป็นเครื่องมือสำคัญอย่างยิ่งที่จะรับมือการบุกรุกจากผู้บุกรุก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการทำวิจัยการวิเคราะห์ระบบตรวจจับการบุกรุกบนอุปกรณ์ฝังตัวเพื่อแจ้งเตือนการบุกรุกเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่จะมีการติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกในอุปกรณ์ฝังตัวนั้นคือ Raspberry PI เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาประหยัดในการช่วยเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสในการตรวจจับการบุกรุกโดยจะมีการแสดงผลการวิเคราะห์เพื่อประสิทธิภาพของระบบการทำงานของระบบตรวจจับการบุกรุกเพื่อป้องกันการโจมตีจากผู้บุกรุกในการระงับชะลอ ขัดขวาง หรือ รบกวนจนเครื่องแม่ข่ายไม่สามารถทำงานตามปกติได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยจะสามารถนำมาใช้ในปรับปรุง และพัฒนาการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบเครือข่ายของหน่วยงาน ภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อนำไปสู่ความมั่นคงของระบบคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการออกแบบระบบป้องกันการบุกรุกเครือข่าย เพื่อทำการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการบุกรุกที่ใช้ในการป้องกันการบุกรุกเครือข่ายจากการโจมตีในรูปแบบต่าง ๆ อันประกอบด้วย

1. ส่วนตรวจจับการบุกรุก การออกแบบส่วนตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายมีเป้าหมาย คือสามารถตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถแจ้งเตือนแก่ผู้ดูแลระบบ เพื่อหาวิธีการป้องกัน โดยมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้



ภาพที่ 1 การออกแบบส่วนตรวจจับการบุกรุกเครือข่าย

1.1 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ลงราชเบอรี่ไพโดยใช้ระบบปฏิบัติการ รุ่น Raspbian Jessie เป็นรุ่นที่รองรับการใช้งานโปรแกรม สนอร์ท

1.2 ติดตั้งโปรแกรมสนอร์ท เป็นซอฟต์แวร์รักษาระบบความปลอดภัยทางเครือข่ายที่มีผู้พัฒนาอย่างต่อเนื่องซึ่งตัวโปรแกรมสนอร์ทจะทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ และวินโดว์ (Windows)

1.3 ทำการตั้งค่า (Configure) ค่ารูล (Rule) ของโปรแกรมสนอร์ท รูลนั้นก็คือกฎหรือข้อบังคับในการตรวจจับรูปแบบการโจมตี หรือแพ็คเก็ดที่โปรแกรมตรวจจับได้ ในการวิจัยนี้ได้ทำการตั่งค่าและปรับแต่งค่ารูลของโปรแกรมสนอร์ท เพราะค่ารูลปกติที่โปรแกรมตั้งค่าให้เป็นค่ารูลที่วิเคราะห์รูปแบบการโจมตีแบบธรรมดา ซึ่งตัวโปรแกรมจะไม่เปิดการใช้งานรูลทั้งหมด ตัวโปรแกรมจึงใช้งานรูลบางส่วนเท่านั้น ทำให้ในการศึกษาและวิจัยนั้นไม่สามารถเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่สูงสุดในการตรวจจับการโจมตีของโปรแกรมได้ ดังนั้นจึงทำการตั้งค่าค่ารูลใหม่โดยทำการแก้ไข ปรับแต่ง และตั้งค่าภายในไฟล์ snort.conf ของโปรแกรม (Auttapon, 2015) โดยทำการเปิดใช้งานรูลทั้งหมดที่โปรแกรมสามารถตรวจจับได้ และทำการอัพเดท (Update) กำหนดค่ารูลของสนอร์ท โดยต้องเข้าไปแก้ไขไฟล์ local.rules ซึ่งไฟล์นี้จะสามารถกำหนดได้ว่าจะทำการตรวจจับที่อยู่ไอพี พอร์ต และการเชื่อมต่อในลักษณะที่กำหนด เป็นแบบ TCP, UDP และ ICMP ซึ่งการตั้งค่าไฟล์นี้สนอร์ทจะทำการบันทึกรูลลงในฐานข้อมูลด้วย โดยการดำเนินการส่วนตรวจจับการบุกรุกเครือข่ายแสดงดังภาพที่ 1

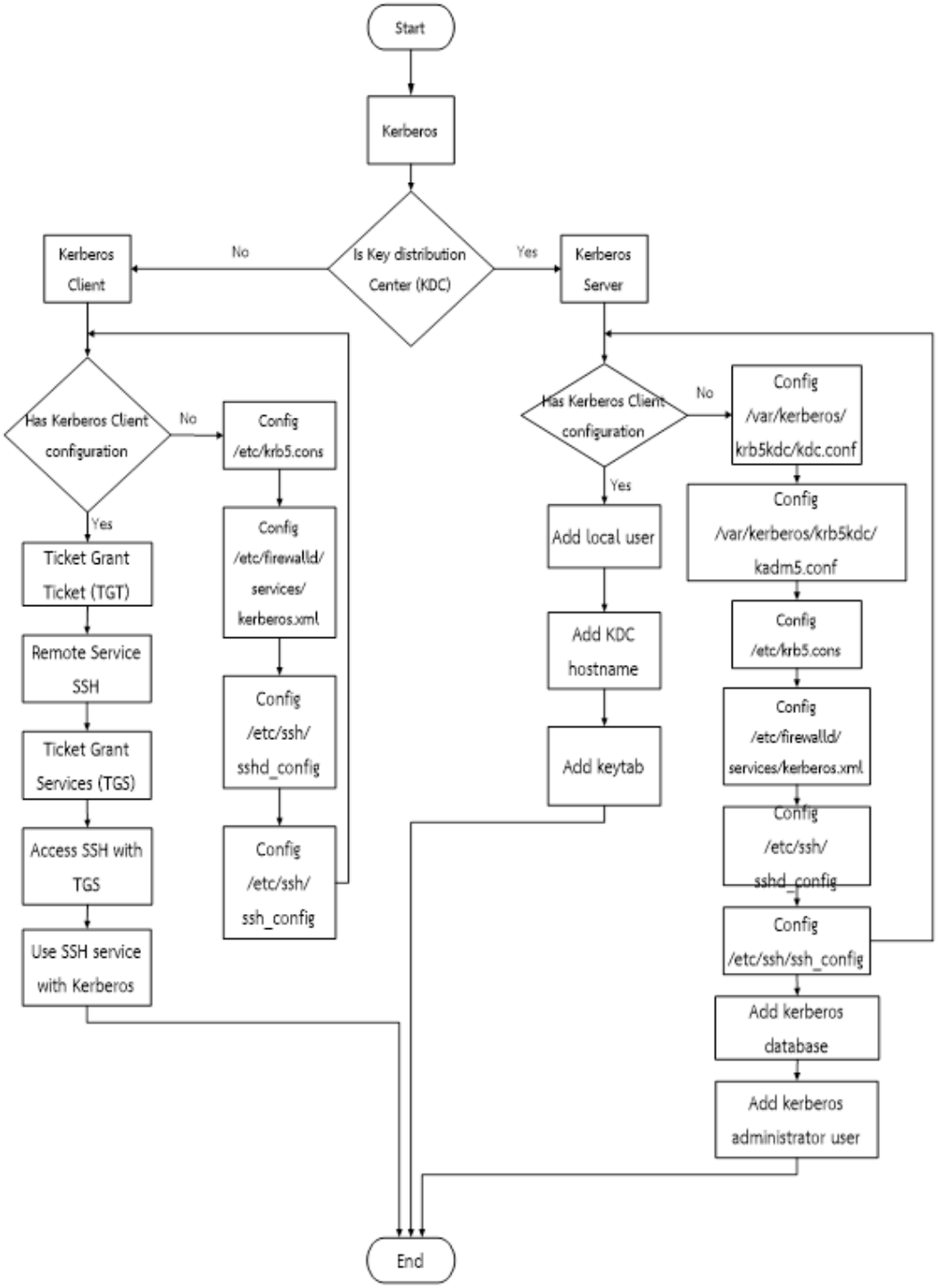
2. ส่วนระบบพิสูจน์ตัวตน

แสดงการตรวจสอบผู้ที่มาใช้งานระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยระบบจะทำการตรวจสอบสอบจากชื่อผู้ใช้ (Username) และรหัสผ่าน (Password) ว่าถูกต้องหรือไม่ โดยมีส่วนประกอบและโครงสร้างดังภาพที่ 2 ซึ่งจากการออกแบบส่วนโปรแกรมระบบพิสูจน์ตัวตนจะทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการ CentOS ประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ และผู้ใช้เคอร์เบอรอส (Kerberos Client) และส่วนศูนย์กลางการกระจายกุญแจที่สำคัญ (Thakur, Dogra & Sood, 2015) โดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

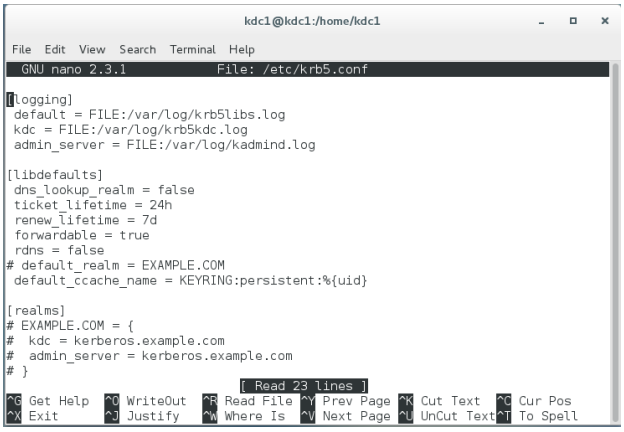
2.1 ระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ ทำการติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ ใช้ในการทดสอบจะใช้รุ่น 7 รวมไปถึงการติดตั้งโปรแกรมเคอร์เบอรอส เซิร์ฟเวอร์ และโปรแกรม Kerberos workstation โดยในช่วงเวลาที่ทำวิจัยนี้จะใช้รุ่น 5

2.2 ติดตั้งผู้ใช้เคอร์เบอรอส เป็นซอฟต์แวร์ระบบพิสูจน์ตัวตนทำงานผ่านโปรโตคอล 88 ที่โดยในช่วงเวลานี้จะใช้ Kerberos workstation ดังภาพที่ 3

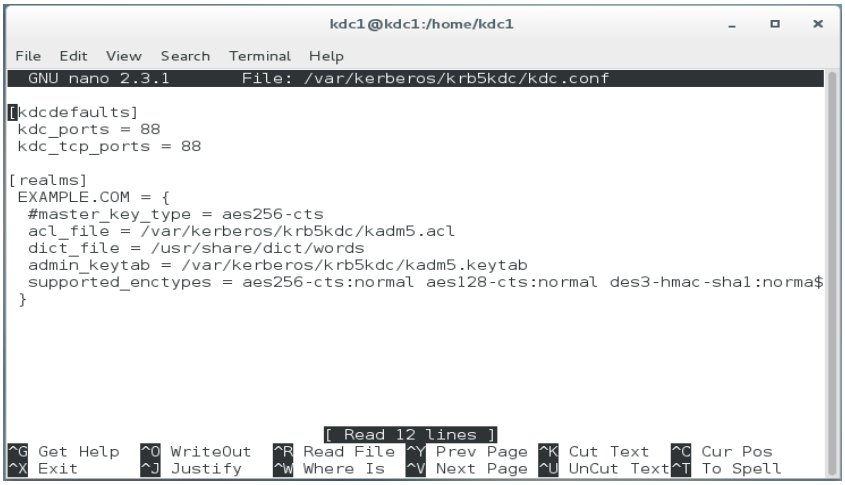
2.3 ติดตั้งระบบศูนย์กลางการกระจายกุญแจเป็นซอฟต์แวร์ระบบระบบพิสูจน์ตัวตนเป็นส่วนเก็บข้อมูลยืนยันตัวตนบนระบบเครือข่าย ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 2 การออกแบบระบบพิสูจน์ตัวตน



ภาพที่ 3 แสดงคำสั่งการตั้งค่าผู้ใช้เคอร์เบอรอส

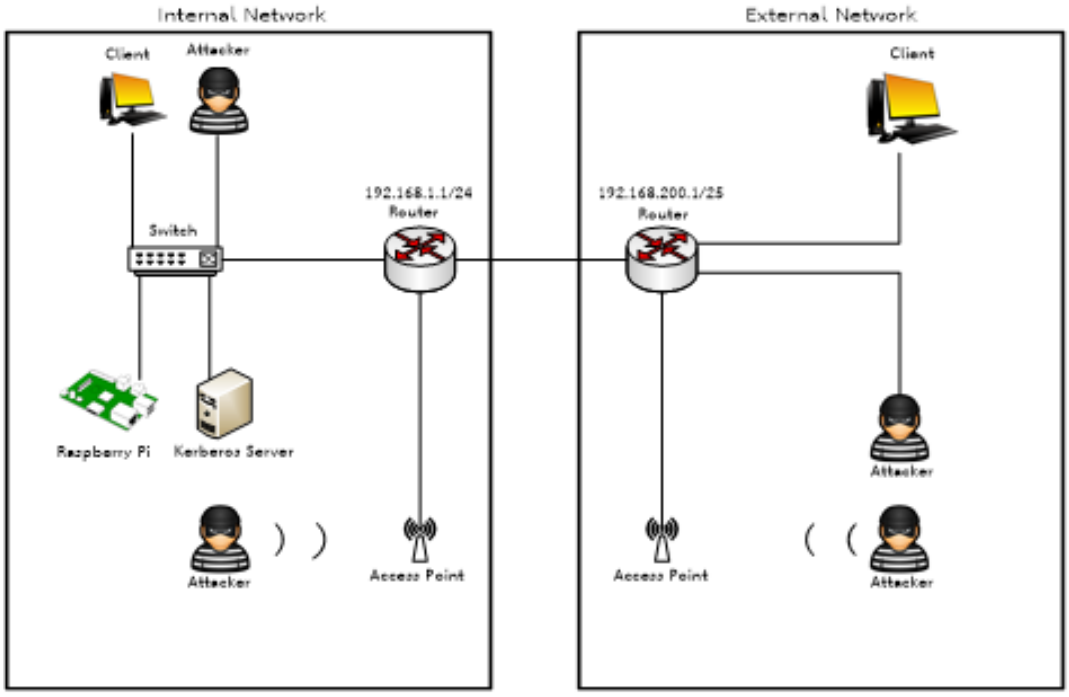


ภาพที่ 4 ตัวอย่างการตั้งค่าศูนย์กลางการกระจายกุญแจ

ในแต่ละการโจมตีแบ่งออกเป็นการโจมตีเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอส และการตรวจจับการบุกรุกบนอุปกรณ์ผังตัวราสเบอรี่ไพ โดยจะใช้เทคนิคการโจมตีทั้ง 3 โพรโทคอล คือ TCP Flood, UDP Flood และ ICMP Flood ในการทดลองแต่ละครั้งจะออกแบบโดยใช้ผังเครือข่ายแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการที่ศึกษาการทดลองนั้น และขั้นตอนในการทดลองนั้น ได้นำเสนอรูปแบบของผังงานดังภาพที่ 5 เพื่อให้ผู้ที่สนใจทำการการศึกษากระบวนการการทดสอบง่ายขึ้น

ในแต่ละการทดลอง ทำการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองการบุกรุก มีการโจมตีที่เหมือนกัน และมีเวลาในการทดลองที่เท่ากันเพื่อที่จะนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบวิเคราะห์หาความแตกต่างในแต่ละการทดลอง ในการออกแบบผังเครือข่ายการโจมตีนั้น ได้ออกแบบโดยใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ของผู้วิจัย จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงทรัพยากรที่ใช้เป็นสำคัญโดยมีรายละเอียดการออกแบบผังเครือข่ายทั้งหมดกล่าวคือให้มีการทดลองที่

สภาพแวดล้อมเดียวกันตามที่กำหนดสภาพการทดลองไว้โดยคำนึงถึงมีการโจมตีไปยังเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอส หรือเครื่องแม่ข่ายเคอร์บอรอสที่มีการตรวจจับการบุกรุกด้วยอุปกรณ์ฝังตัวราสเบอร์รี่ไพ และเครื่องแม่ข่ายที่ติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกไว้ (Muhammet & Resul, 2018) แล้วทำการตรวจสอบด้วยโปรแกรมตรวจสอบการทำงาน โดยนำผลทรัพย์ยากรจาการทดลองนำมาบันทึกลงตาราง



ภาพที่ 5 แสดงการออกแบบเครือข่ายภายใน และภายนอก

ผลการวิจัย

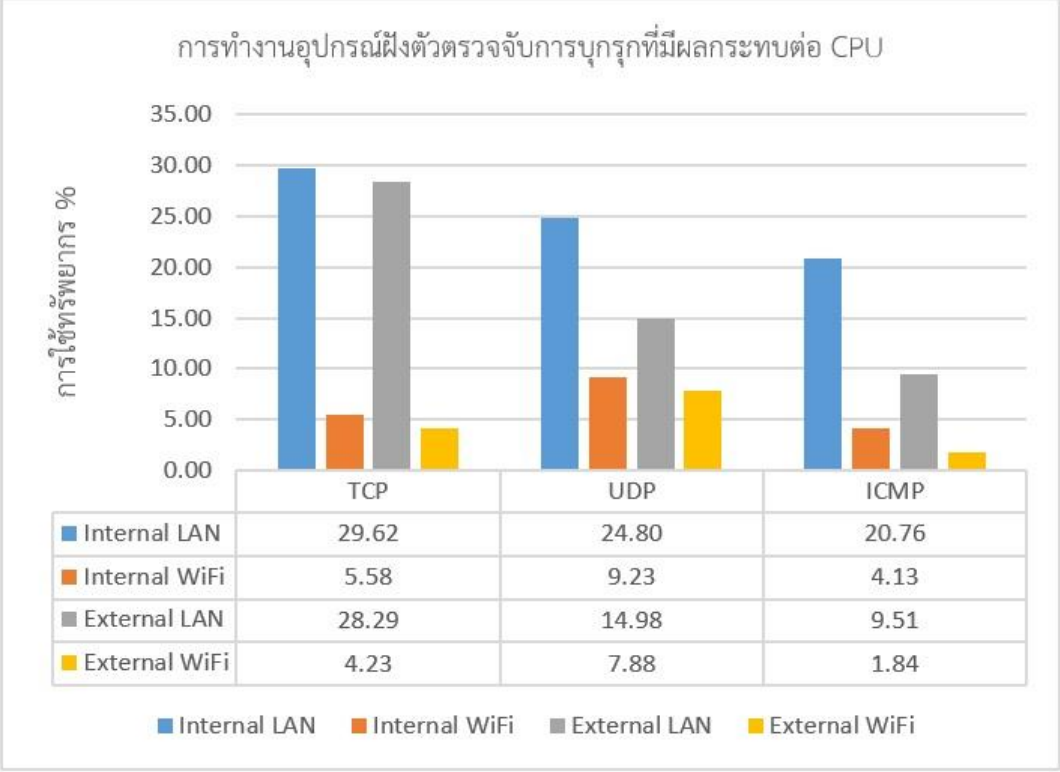
การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการโจมตี ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองคือ

1. ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ CPU
2. ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ RAM
3. ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ Network
4. การเปรียบเทียบการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ TCP, UDP และ ICMP

เพื่อที่จะให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของฮันนี่พอท และความแตกต่างระหว่างการโจมตีผ่านระบบเครือข่ายสายและการโจมตีผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการตรวจจับการบุกรุกที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้การโจมตีแบบปฏิเสธการให้บริการโดยแบ่งการโจมตีออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ SYN Flood, UDP Flood และ ICMP Flood ซึ่งทำการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการใช้ระบบ

ตรวจจับการบุกรุกเพื่อเก็บข้อมูลการบุกรุกที่เกิดขึ้นในเครื่องแม่ข่าย โดยผลการทดลองจะเปรียบเทียบจำนวนเหตุการณ์ที่ระบบตรวจจับการบุกรุกซึ่งสามารถจับได้ระหว่างการโจมตีผ่านเครือข่ายสาย และการโจมตีผ่านระบบเครือข่ายไร้สายที่มีการโจมตีจากภายในและภายนอกโดยมีเราท์เตอร์ทำหน้าที่แบ่งพื้นที่ระบบเครือข่ายภายในและภายนอก ซึ่งการดำเนินการตามขั้นตอนการทดลองได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากผลการดำเนินงานหาค่าเฉลี่ย และแสดงอยู่ในรูปของกราฟเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในการทดลองโจมตีระบบในระยะเวลาเท่าๆกัน คือ 5 วินาทีโดยมีการส่งแพ็กเก็ตในการโจมตีจำนวน 1,000 แพ็กเก็ต

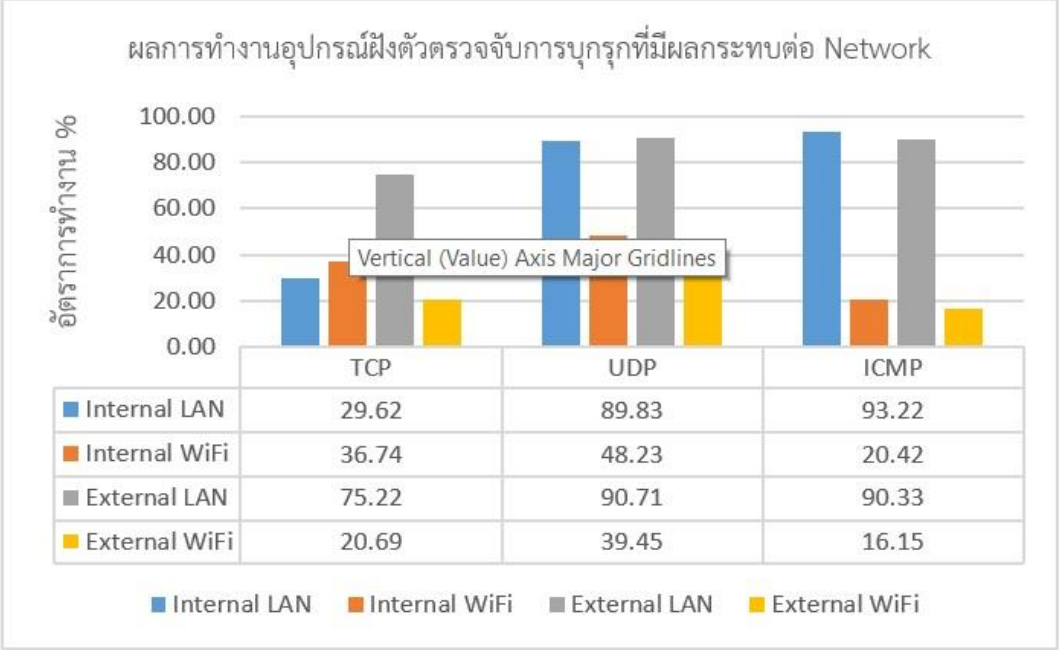
1. สรุปผลการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ CPU แสดงในภาพที่ 6 แสดงให้เห็นการตรวจจับการบุกรุกที่สามารถส่งผลกระทบต่อ CPU มากที่สุดคือ การตรวจจับการบุกรุกแบบ TCP เนื่องจากเป็นการบุกรุกในโพรโทคอลลที่มีการเชื่อต่อโดยใช้การเชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ (Connection-Oriented) ส่งผลให้มีค่าความเปลี่ยนแปลงของการใช้ทรัพยากร CPU มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการบุกรุกรูปแบบอื่น แสดงดังภาพที่ 6



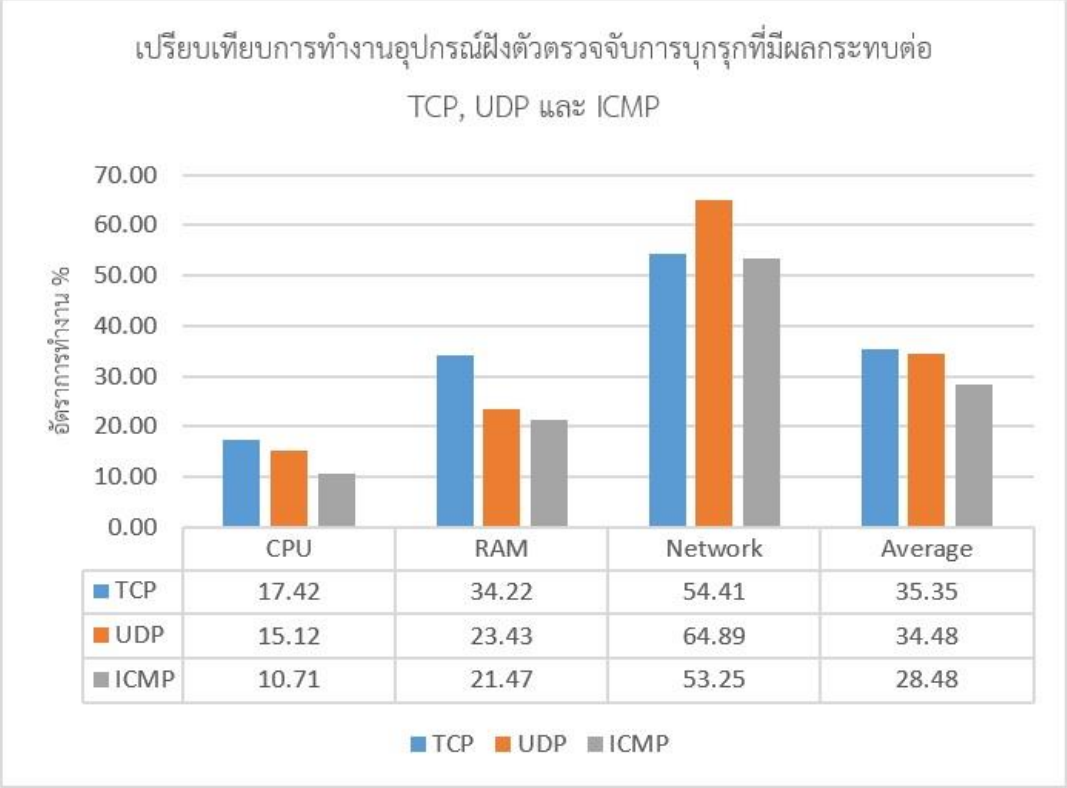
ภาพที่ 6 ผลการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ CPU

2. ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ RAM แสดงดังภาพที่ 7 แสดงให้เห็นการ ตรวจจับบุกรุกส่งผลกระทบต่อ RAM ที่สุดคือ การตรวจจับการบุกรุกแบบ ICMP ในรูปแบบการสื่อสารแบบภายใน เนื่องจาก การประมวลผลของโพรโทคอลล ICMP มีข้อมูลการสื่อสารที่กำหนดไว้แล้วแต่จะ

เพิ่มในส่วนของข้อมูลข้อมูลเปย์โหลด (Payload) เป็นข้อความแบบสุ่ม ทำให้กระบวนการถอดรหัสเป็นไปได้ช้า และ ในส่วนรูปแบบการสื่อสารแบบภายในไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงหรือบีบอัดข้อมูลใดๆ จึงทำให้ข้อมูลค้างใน RAM เป็นจำนวนมาก



ภาพที่ 7 ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ RAM



ภาพที่ 8 เปรียบเทียบการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ TCP, UDP และ ICMP

3. ผลรวมการทำงานอุปกรณ์ฝังตัวตรวจจับการบุกรุกที่มีผลกระทบต่อ Network แสดงดังภาพที่ 8 แสดงให้เห็นการตรวจจับบุกรุกที่สามารถส่งผลกระทบต่อ Network มากที่สุดคือการตรวจจับการบุกรุกแบบ ICMP เนื่องจากเป็นการบุกรุกที่มีรูปแบบคือ ส่งแล้วมีการตอบกลับเสมอ และสวิทซ์รับข้อมูลขาเข้า และขาออก ทำให้ค่า Network มีขนาดใหญ่ตามในส่วนของ UDP เป็นการบุกรุกในโพรโทคอล UDP โดยใช้เทคนิคการเชื่อมต่อแบบคอนเนคชั่นเลท ส่งผลให้มีค่าความเปลี่ยนแปลงของการใช้ทรัพยากร Network ที่มีค่ามากตามกัน

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองรูปแบบการโจมตีอันประกอบด้วย TCP Flood, UDP Flood และ ICMP Flood ที่กำหนดให้ทุกรูปแบบการโจมตีมีค่าแพ็กเก็ตที่ 1448 ไบต์ ซึ่งมีรูปแบบการสื่อสารเครือข่ายภายใน และเครือข่ายภายนอก เพราะการโจมตีนั้นมีได้ทุกสถานที่ที่มีการเชื่อมต่อหากันได้ ส่วนชนิดสื่อกลางของการสื่อสารที่มีการใช้งานได้ทั้งสาย และแบบไร้สาย โดยผลการทดลองการบุกรุกโจมตีแบบ TCP Flood ของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอร์รอสมีค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยมีความรุนแรงมากที่สุดคิดเป็น 1.46 และ 1.57 เท่าของ UDP Flood และ ICMP Flood ตามลำดับ เพราะการใช้การโจมตีรูปแบบ TCP Flood นั้นทำให้ CPU มีการประมวลผลนานขึ้นเนื่องจากกระบวนการ SYN-ACK ของ TCP Flood ที่มีการส่งแพ็กเก็ตหลายครั้งเป็นจำนวนมาก เมื่อมีการ

ประมวลผลที่ช้าทำให้มีการใช้ RAM เพิ่มขึ้นด้วยเพราะแพ็กเก็ตที่เข้ามาจะถูกเก็บไว้ที่ RAM ก่อนที่ CPU จะทำการอ่านข้อมูลแล้วทำการลบข้อมูลจาก RAM ออกไป ผลการบุกรุกการสื่อสารแบบสายของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสมีค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยสูงสุดคิดเป็น 1.49 เท่า ของชนิดสื่อกลางการสื่อสารแบบไร้สาย เพราะการเชื่อมต่อแบบสายนั้นมีการรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกันในขณะที่แบบไร้สายจะสลับการรับส่งข้อมูล และมีขนาดแบนด์วิธเพียงกว่าแบบสายถึง 1.8 เท่า ผลการบุกรุกโจมตีรูปแบบการสื่อสายภายในของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอร์รอสมีค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยสูงกว่าภายนอก 1.08 เท่า เพราะการติดต่อต่างเครือข่ายกันกล่าวคือมีการ ใช้เลขซับเน็ตมาร์ค (Subnet mask) ที่ต่างกันทำให้ไม่สามารถติดต่อหากันได้ แต่ด้วยความสามารถของเราท์เตอร์นั้นมีฟังก์ชันแนทซึ่งเป็นความสามารถแปลงเลขซับเน็ตมาร์คให้มองเห็นกันได้ แต่ทำให้เป็นการรบกวนการทำงานเราท์เตอร์จึงมีโอกาสสูญเสียข้อมูลที่ส่งไปบางส่วน ผลการทดลองการตรวจจับบุกรุกโจมตีแบบ TCP Flood ค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยคิดเป็น 1.02 และ 1.24 เท่า ของ UDP Flood และ ICMP Flood ตามลำดับ เห็นได้ว่าการตรวจจับ TCP Flood และ UDP Flood มีความแตกต่างกันไม่มากเนื่องจากข้อมูลที่แนบมานั้นมีการสุ่มข้อความใหม่อยู่เสมอ แต่ส่วนของ ICMP Flood นั้นมีการสุ่มข้อความในข้อมูลที่ส่งมาน้อยกว่าทำให้การตรวจจับการบุกรุก ICMP Flood มีการใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด ผลการทำงานการตรวจจับการบุกรุกของอุปกรณ์ฝังตัวด้วยชนิดสื่อกลางการสื่อสารแบบสายมีค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยมากกว่าแบบไร้สายถึง 2.28 เท่า เนื่องจากการเชื่อมต่อแบบสายนั้นมีการรับส่งข้อมูลได้ในเวลาเดียวกันในขณะที่แบบไร้สายจะสลับการรับส่งข้อมูล โดยข้อมูลที่นำไปตรวจจับนั้นจะขึ้นอยู่กับเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสถูกโจมตีด้วยชนิดสื่อกลางการสื่อสารแบบไหน ผลการทำงานการตรวจจับการบุกรุกของอุปกรณ์ฝังตัวด้วยรูปแบบการสื่อสารภายในมีค่าทรัพยากรรวมเฉลี่ยมากกว่าภายนอกถึง 1.16 เท่า เพราะเกิดการสูญเสียข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่ถูกโจมตีมาจากภายนอกจากการแนทของเราท์เตอร์ ในส่วนผลการทำงานของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่ติดตั้งระบบตรววจับการบุกรุก มีค่าทรัพยากร CPU และ RAM มากกว่าเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอส ที่แยกการติดตั้งระบบตรววจับการบุกรุกไปยังราสเบอรี่ไพถึง 1.28 และ 1.15 เท่าของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่แยกการติดตั้งระบบตรววจับการบุกรุกไปยังราสเบอรี่ไพ ทำให้การติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกลงบนอุปกรณ์ราชเบอรี่ไพช่วยให้ลดค่าทรัพยากรที่ใช้ในเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่ติดตั้งระบบตรวจจับการบุกรุกได้ และไม่เป็นการรบกวนการทำงานของเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสในส่วนระบบเครือข่ายนั้นเท่ากัน เพราะมีการเปิดใช้งานแสปนพอร์ตในสวิทซ์ทำให้รับข้อมูลเหมือนกับเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอร์รอสทุกประการ โดยจะคัดลอกข้อมูลที่เครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสที่รับมาทั้งหมด สุดท้ายนี้ทุกรูปแบบการโจมตีจะไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ฝังตัวราสเบอรีไพ และอุปกรณ์ฝังตัวราสเบอรี่ไพสามารถใช้งานอย่างราบรื่นโดยไม่มีปัญหาใด ๆ ทำให้สามารถทำหน้าที่ตรวจจับการบุกรุกให้กับเครื่องแม่ข่ายเคอร์เบอรอสอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

อรรถพล ป้อมสถิตย์. (2562). Enhanced Efficiency of Intrusion Detection Systems with Honey Pot in Cyber Security. **KKU Science journal, 44**(2), 384-397.

อรรถพล ป้อมสถิตย์. (2555). Effective of Unicast and Multicast IP Address Attack Over Intrusion Detection System with Honeypot. ใน**การประชุม Asia-Pacific Advanced Network : APAN ครั้งที่ 33 วันที่ 13-17 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555**. เชียงใหม่ : ศูนย์การประชุมนานาชาติ โรงแรม ดิ เอ็มเพรส เชียงใหม่.

Auttapon, P. (2015). Performance Analysis of Intrusion Prevention System on Cyber Security for Voice over Internet Protocol (VoIP). **Proceedings of the 11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM2015) 21-23 September 2015**(pp.780-784). Shanghai, China.

Auttapon, P. (2012). Effective of Unicast and Multicast IP Address Attack over Intrusion Detection System with Honeypot. **2012 Spring Congress on Engineering and Technology (S-CET)**, 1-4.

Alshami, I.H., Ahmad, N.A. & Sahibuddin, S. (2014). People effects on WLAN-Based IPS' accuracy experimental preliminary results, 2014. In 8th Malaysian Software Engineering Conference (MySEC), pp.206-209.

Arunanto, F.X., Djanali, S., Pratomo, B.A., Baihaqi, A., Studiawan, H. & Shiddiqi, A.M. (2014). Aggressive web application honeypot for exposing attacker's identity. In **International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE)**. (pp.212-216).

Jianrong, Xi. (2015). A Design and Implement of IPS Based on Snort”, 2011 Seventh International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS), pp. 771-773. Keith Harrison, James R. Rutherford and Gregory B. White., "The Honey Community: Use of Combined Organizational Data for Community Protection", 2015 48th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2015, pp.2288 - 2297.

Muhammet, B. & Resul, D. (2018, August). A novel honeypot based security approach for real-time intrusion detection and prevention systems. **Journal of Information Security and Applications, 41**, 103-166.

Pauna, A. & Bica, I. (2014). RASSH-Reinforced adaptive SSH honeypot. In **10th International Conference on Communications (COMM)**. (pp.1-6.).

Qian, G., Jie, F. & Nige, Li. (2015). The achieve of power manager application honey-pot based on sandbox". In **5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)**. (pp.2523-2527).

T. Thakur, S. Dogra and Y. Sood. (2015). Replay Attack Prevention by Using a Key with Random Number in Kerberos Authentication protocol. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 4**(7), 5616-5622.

การสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

Creating a Model of an Automatic Stamping Machine

ณัฐดนัย เรือนคำ*

Nuthdanai Rueankham

คมกริช กลิ่นศรีสุข**

Komkrit Klinsresuk

Received : November 26, 2021

Revised : March 30, 2022

Accepted : May 25, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ 2) ประเมินคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ 3) ประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ 4) ประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ประเมินคุณภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 ท่าน ประเมินความพึงพอใจโดยนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและปริญญาตรี จำนวน 45 คน เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แบบบันทึกผลการทดลอง แบบประเมินคุณภาพและแบบประเมินความพึงพอใจ สถิติที่ใช้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวิจัย พบว่า การออกแบบและสร้างมีโครงสร้างที่สะดวกและเหมาะสมต่อการใช้งาน สามารถนำไปประกอบเป็นสื่อการเรียนการสอนได้เป็นอย่างดี คุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ภาพรวมมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุด ประสิทธิภาพการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 100 ความพึงพอใจภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด

คำสำคัญ : แบบจำลอง / เครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

*อาจารย์ประจำแผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร

Lecture of the Department of Electrical Power in Kamphaengphet Technical College

ABSTRACT

The purpose of this research was to 1) Design and build a model of automatic stamping machine. 2) Evaluate the quality of the automatic stamping machine model. 3) Evaluate the efficiency of the automatic stamping machine model. 4) Assessment of satisfaction with the automatic stamping machine model. Quality assessment by 5 experts. Satisfaction was assessed by 45 diploma and bachelor's degree students. The tools used are Experimental results, Quality assessment form and Satisfaction assessment form. The statistics used are arithmetic mean and standard deviation. The results of the research showed that : The design and construction are structured to be convenient and suitable for use and Three vehicles can be used as a teaching material as well. The quality of the automatic stamping machine model the overall quality is at the highest level. Performance Accounted for 100 percent. Overall satisfaction was at the highest level.

Keywords : Model / Automatic Workpiece Stamping Machine

บทนำ

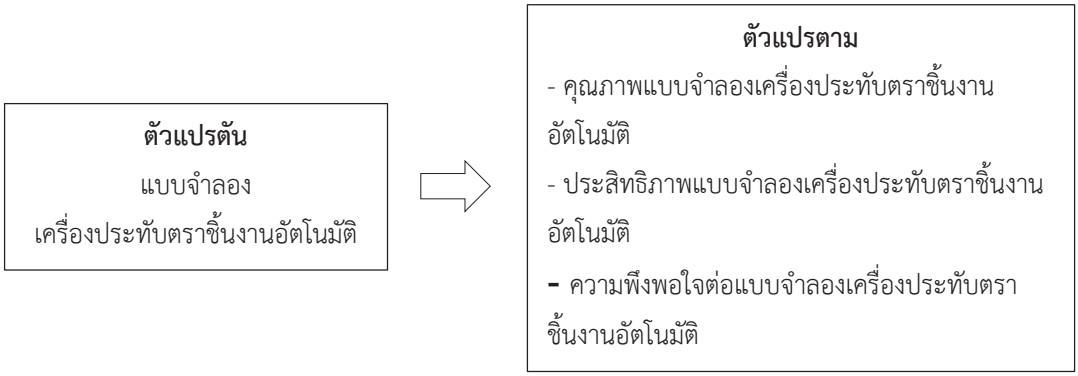
ปัจจุบันเทคโนโลยีในการผลิตอุสาหกรรม มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วมีการนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่นำมาใช้เพื่อทดแทนแรงงานคน เพื่อลดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งมีความถูกต้องแม่นยำ การที่นำเอา PLC มาใช้ควบคุมผลผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพสูง และมีความประหยัด PLC จึงได้มีบทบาทในโรงงานอุสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุสาหกรรมที่ผลิตรถยนต์ อุสาหกรรมที่ผลิตยา อุสาหกกรรมที่ผลิตอาหาร และในอุสาหกรรมต่างๆ ได้นำเอา PLC มาควบคุมสายพานลำเลียง มอเตอร์ เซนเซอร์ และอุปกรณ์ต่างๆ สถาบันการศึกษาจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญต่อการใช้งานของ PLC จึงให้นักศึกษาได้มีการเรียนเขียนโปรแกรม PLC ขึ้น ในสถาบันการศึกษานั้นยังขาดอุปกรณ์สื่อการเรียนการสอน PLC จึงทำให้นักศึกษาเข้าใจการทำงานหรือการนำเอาไปใช้งานจริง การควบคุมด้วยโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Controllers : PLC) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือกระบวนการต่างๆ โดยใช้โปรแกรมคำสั่งที่ทำหน้าที่เหมือนวงจรรีเลย์ มีส่วนของอินพุตและเอาต์พุตที่สามารถต่อใช้งานได้ทันที ดังนั้นโปรแกรมเมเบิลคอนโทรลเลอร์ จึงถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรทำงานได้โดยอัตโนมัติ (กันตภณ, 2557) มีความสะดวกหลายอย่างในเรื่องความต่อเนื่องในการทำงาน ความเร็วสม่ำเสมอ เป็นผลต่อการผลิต การควบคุมคุณภาพและทำให้สถานประกอบการมีผลกำไรเพิ่มขึ้นและมีผลต่อการศึกษาและการฝึกด้านอาชีวศึกษาเป็นอย่างมาก อุตสาหกรรมสมัยใหม่จำเป็นต้องมีระบบการฝึก การเปลี่ยนแปลงอย่างแพร่หลายและมองเห็นได้ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรม PLC ที่ใช้ในการควบคุม ได้มีรูปแบบโปรแกรมที่แน่นอน และมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระบบการฝึกทางด้านอาชีวศึกษาและความต้องการทางด้านทักษะเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยพัฒนาสร้างช่างเทคนิคให้ทันต่อปริมาณที่ต้องการได้ โดย PLC ได้เข้ามามีบทบาทใน

การศึกษา วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชรเป็นสถาบันการศึกษาในสังกัดสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา และเปิดสอนในหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชชาชีพ (ปวช.) หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) และหลักสูตรระดับปริญญาตรี สายเทคโนโลยีหรือสายปฏิบัติการ รายวิชาการโปรแกรมและควบคุมไฟฟ้า รายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรม และรายวิชาการโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่องานอาชีพ เป็นรายวิชาชีพในหลักสูตรของสามหลักสูตรนี้ ซึ่งเป็นการนำ PLC มาใช้ในการจัดการเรียนการสอนที่เกี่ยวข้องกับระบบอุตสาหกรรมโดยตรง แต่การเรียนการสอนเป็นไปด้วยความยากลำบากเนื่องจากขาดสื่อที่ใช้ประกอบการเรียนการสอน สื่อที่มีเป็นการสอนที่เน้นความรู้ ความเข้าใจเรื่องเนื้อหามากกว่าการปฏิบัติจริง ภาพโดยรวมของระบบกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรมมีข้อจำกัดในด้านของรูปลักษณ์ของชิ้นงานจริงในระบบอุตสาหกรรมที่จะทำให้ผู้เรียนนั้นไม่สามารถมองเห็นและเข้าใจการทำงานที่ชัดเจนอีกทั้ง (วิภพ, 2553) เป็นชุดสาธิตที่ใช้ในการเรียนการสอน เป็นสื่อที่มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่จะช่วยให้นักศึกษา ได้เรียนรู้ตามวัตถุประสงค์ และมีความเข้าใจในเนื้อหารายวิชาเพิ่มมากขึ้น ครูผู้สอนได้ใช้ในการเรียนการสอนและนำเสนอให้นักศึกษาได้เห็นการทำงานจริง จินตนาการเห็นส่วนประกอบต่างๆ ของสื่อได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดและสนใจการสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติด้วย PLC เพื่อการออกแบบจำลองแทนของจริงในงานอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาได้พัฒนาความรู้ และทักษะที่เกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กรอบแนวคิดในการวิจัย แนวคิดการวิจัยครั้งนี้ เป็นการสร้างและพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ให้สามารถทำงานได้เสมือนจริงในระบบอุตสาหกรรมในรูปแบบการจำลอง ลดการจินตนาการและเพิ่มการเรียนรู้ ทักษะ ของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. การสร้างและการพัฒนาโมเดล/รูปแบบ/แบบจำลอง/ตัวแบบ ในการออกแบบเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับ อัตโนมัติบนสายพานลำเลียง ผู้วิจัยได้ยึดหลักการออกแบบจากงานวิจัยของ (ชัยวิชิต, 2560)

2.2 ทฤษฎีของแบบประเมิน คุณภาพ ผู้วิจัยได้ยึดหลักการประเมินตามการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ SPSS ของ (ธานินทร์, 2536)

2.3 แนวคิด ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจ ผู้วิจัยได้ยึดหลักทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจจากงานวิจัยของ (เกวลี และพิมพ์รดา, 2556)

2.4 Programmable logic Control ผู้วิจัยได้ยึดหลักการและทฤษฎีตามเอกสารบทเรียนออนไลน์ของ (ฉัตรชัย, 2560)

2.5 PLC Mitsubishi FX3S-30MR/ES ตัวควบคุมหลัก (Mitsubishi Electric, 2006) และ (ศิริพงษ์, 2554)

2.6 มอเตอร์ เลือกใช้มอเตอร์เกียร์ที่มีความเร็วรอบต่ำ เพื่อให้การตรวจจับวัตถุได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น (วรพจน์, 2540)

2.7 เซนเซอร์ เลือกใช้เป็นแบบโฟโต้เซนเซอร์ตรวจจับระดับของวัตถุ (วิศรุต, 2550)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 เครื่องคัดแยกวัตถุอัตโนมัติตามสายพานลำเลียง ของ (กันตภณ พลิ้วไธสง, 2557)

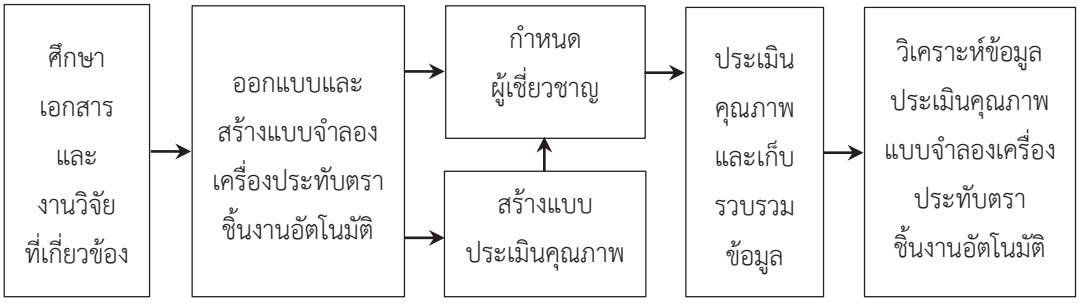
3.2 ชุดสาธิตการคัดแยกวัสดุบนสายพานลำเลียงควบคุมโดย PLC ของ (วิภพ ใจแข็ง, 2553)

3.3 เครื่องสลัดน้ำผึ้งแบบอัตโนมัติ ของ (เอกชัย ไก่แก้ว, 2563)

3.4 การสร้างและพัฒนาแบบจำลองเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับ อัตโนมัติบนสายพานลำเลียง ของณัฐดนัย เรือนคำ, 2564)

4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 การสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้



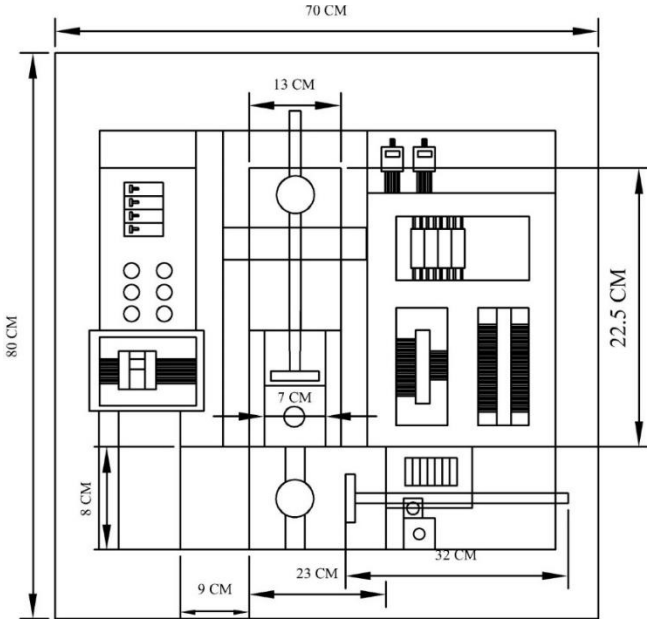
ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

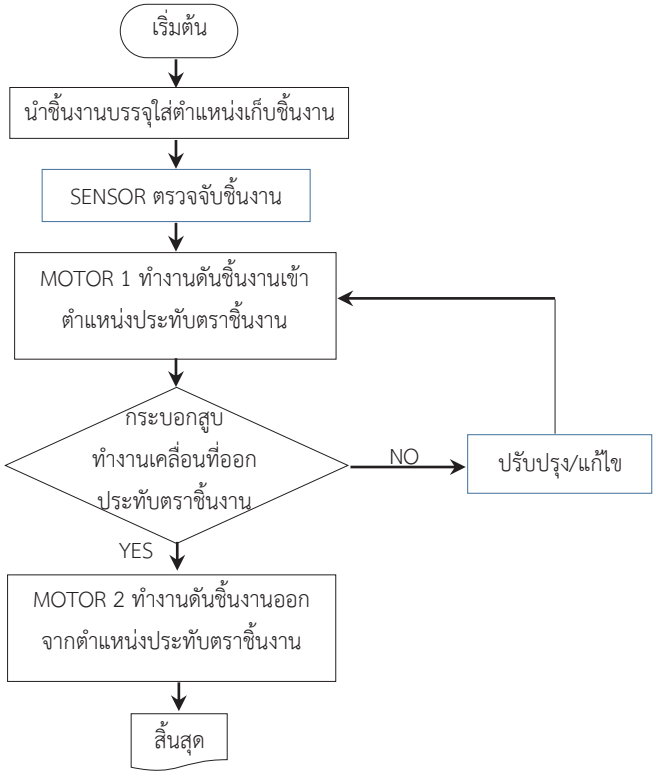
4.1.2 ออกแบบสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ (ภาพที่ 3 และภาพที่ 4)

4.1.3 สร้างแบบประเมินคุณภาพแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ สำหรับผู้เชี่ยวชาญ เป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ท ประกอบด้วย 3 ด้าน คือ ด้านการออกแบบ ด้านการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

4.1.4 กำหนดผู้ประเมินคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ 10 ปีขึ้นไป ทางด้านการสอนรายวิชาระบบควบคุมในงานอุตสาหกรรมและรายวิชาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่ออาชีพ จำนวน 5 คน



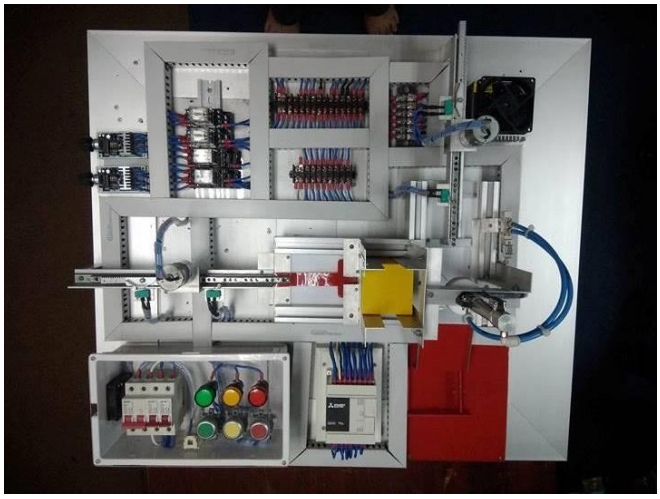
ภาพที่ 3 แสดงการออกแบบแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ



ภาพที่ 4 แสดงหลักการทำงานแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

ตารางที่ 1 กำหนดอุปกรณ์อินพุตและเอาท์พุต

Input อุปกรณ์	สัญลักษณ์		Output อุปกรณ์	สัญลักษณ์
START	X10		PILOT LAMP RED	Y8
STOP	X11		PILOT LAMP YELLOW	Y6
RESET	X12		PILOT LAMP GREEN	Y7
LIMIT 1	X0		MOTOR 1 (MOVE IN)	Y0
LIMIT 2	X1		MOTOR 1 (MOVE OUT)	Y1
LIMIT 3	X2		SOLENOID	Y6
LIMIT 4	X3		MOTOR 2 (MOVE IN)	Y2
REED SWITCH 1	X4		MOTOR 2 (MOVE OUT)	Y3
REED SWITCH 2	X5			
SENSOR 1	X6			
SENSOR 2	X7			



ภาพที่ 5 แสดงแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

4.1.5 การประเมินความตรงของแบบประเมินคุณภาพแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ โดยดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามประเมินกับการสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ซึ่งประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ดังนี้ (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2538)

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (1)$$

เมื่อ

IOC แทนดัชนีความสอดคล้อง

$\sum R$ แทนผลรวมของการพิจารณาของผู้เชี่ยวชาญ

N แทนจำนวนผู้เชี่ยวชาญ

ค่าความสอดคล้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 คืออยู่ระหว่าง 0.60 - 1.00 จึงจะถือได้ว่าสอดคล้องกัน โดยใช้เกณฑ์ประเมินดังนี้

+1 แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นตรงตามด้านการประเมิน

0 ไม่แน่ว่าข้อคำถามนั้นตรงตามด้านการประเมิน

–1 แน่ใจว่าข้อคำถามนั้นไม่ตรงตามด้านการประเมิน

4.1.6 วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินคุณภาพแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ประกอบด้วยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเทียบค่าเฉลี่ยกับชั้นระดับคุณภาพ ดังนี้ (ล้วน และอังคณา, 2538)

4.50 - 5.00 หมายถึง มีคุณภาพมากที่สุด

3.50 - 4.49 หมายถึง มีคุณภาพมาก

2.50 - 3.49 หมายถึง มีคุณภาพปานกลาง

1.50 - 2.49 หมายถึง มีคุณภาพน้อย

1.00 - 1.49 หมายถึง มีคุณภาพน้อยที่สุด

หากค่าเฉลี่ยที่ได้ มีค่าไม่ต่ำกว่าระดับมาก จึงถือว่า แบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติที่สร้างขึ้นมีคุณภาพ

4.1.7 การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ โดยทดสอบการทำงานการดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 1 การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ประทับตราชิ้นงาน โดยการนำชิ้นงานทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาน 10 x 10 cm. ครั้งละจำนวน 10 ชิ้น ทำการทดสอบจำนวน 20 ชิ้น และบันทึกผลการดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 1 การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ประทับตราชิ้นงาน สามารถทำงานตามตำแหน่งได้ถูกต้อง และตำแหน่งที่ประทับชิ้นงานได้ถูกต้อง เพื่อหาประสิทธิภาพ ซึ่งหาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ถูกต้อง}}{\text{จำนวนครั้งที่ทดสอบ}} \times 100 \qquad (2)$$

5. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

5.1 ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง และระดับปริญญาตรี แผนกวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร

5.2 กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและปริญญาตรีที่ลงทะเบียนภาคเรียนที่ 2/2563 แผนกวิชาช่างไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร จำนวน 45 คน โดยใช้วิธีเลือกแบบเจาะจง

6. เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย

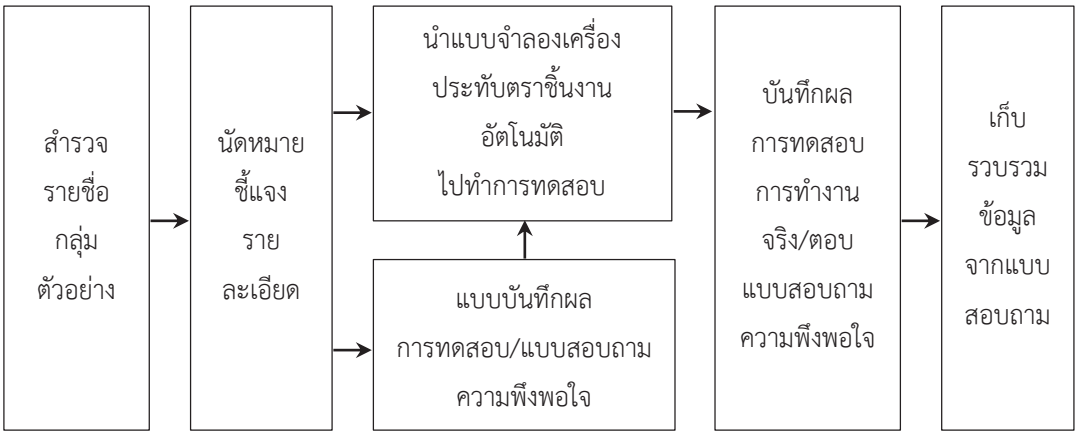
6.1 แบบบันทึกผลการทดสอบแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

6.2 แบบประเมินคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

6.3 แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ ตามแบบของลิเคิร์ทประกอบด้วย 3 ด้าน คือ ด้านข้อมูลทั่วไป ด้านความพึงพอใจต่อแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ และด้านความเห็นและข้อเสนอแนะ

7. การเก็บรวบรวมข้อมูล ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ดำเนินการตามขั้นตอน (ภาพที่ 5) สำรวจรายชื่อกลุ่มตัวอย่าง เพื่อนัดเวลาที่จะนำแบบจำลองเครื่องประทับตรา

ชิ้นงานอัตโนมัติ ไปให้กลุ่มตัวอย่างได้ทดลองใช้งาน โดยอธิบายขั้นตอนการใช้งานให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจขั้นตอนการทำงาน กลุ่มตัวอย่างทดลองใช้งาน แล้วบันทึกผลการทดลองและตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้ เก็บข้อมูลรวบรวมเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดสอบและความพึงพอใจต่อการใช้งาน

8. การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

8.1 การหาคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการหาค่าเฉลี่ย โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ประเมินแบบมาตรส่วนประมาณค่า (rating scale) 5 ระดับ ด้านการออกแบบโครงสร้าง ด้านคุณภาพการใช้งาน และด้านการบำรุงรักษา

8.2 การสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเทียบค่าเฉลี่ยกับชั้นระดับคุณภาพ ดังนี้ (ล้วน และอังคณา, 2538)

4.50-5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด

3.50-4.49 หมายถึง พึงพอใจมาก

2.50-3.49 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง

1.50-2.49 หมายถึง พึงพอใจน้อย

1.00-1.49 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

1. ผลการประเมินการทดสอบการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

ชิ้นงานที่ทดสอบ	การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 1 (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)	การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 2 (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)	ตำแหน่งที่ประทับตราชิ้นงาน (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)
1	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
2	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
3	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
4	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
5	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
6	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
7	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
8	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
9	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
10	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
11	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
12	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
13	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
14	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
15	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
16	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
17	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
18	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
19	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง
20	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง

จากตารางที่ 2 พบว่า การทดสอบแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ร่วมกับชิ้นงานจำนวน 20 ชิ้น พบว่า การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 1 การดันชิ้นงานตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ประทับตราชิ้นงานสามารถทำตามเงื่อนไขได้อย่างถูกต้อง

2. ผลการประเมินความตรงของแบบประเมินคุณภาพแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ใช้ดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ระหว่างข้อคำถามการประเมินกับการสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติของความตรงที่แสดงด้วยดัชนีความสอดคล้องแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามการประเมินกับการสร้างแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

รายการประเมิน	ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ					$\sum R$	IOC
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5		
ด้านการออกแบบโครงสร้าง							
1. กลไกการทำงานมีความเหมาะสม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
2. ขนาด รูปร่างเหมาะสมกับการใช้งาน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
3. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ในการสร้างมีความเหมาะสม	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
4. การวางตำแหน่งอุปกรณ์มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
5. มีความประณีต สวยงามและน่าสนใจ	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
ด้านการใช้งาน							
1. ใช้งานได้ง่ายและดูแลรักษาได้ง่าย	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
2. ความปลอดภัยในการใช้งาน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
3. ความสะดวกในการเคลื่อนย้ายแบบจำลอง	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
4. ความคงทน แข็งแรงต่อการใช้งาน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
5. ประโยชน์ต่อการใช้ในการเรียนการสน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
ด้านการบำรุงรักษา							
1. ทำความสะอาดง่าย	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
2. สะดวกในการเคลื่อนย้าย/เก็บรักษา	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
3. การตรวจซ่อม แก้ไขไม่ยุ่งยากซับซ้อน	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
4. ถอดประกอบอุปกรณ์ ชิ้นส่วนได้สะดวก	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00
5. ง่ายต่อการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง	+1	+1	+1	+1	+1	5	1.00

3. ผลการประเมินคุณภาพแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

ที่	รายการประเมิน	$\bar{x}$	S.D.	ระดับคุณภาพ
1	ด้านการออกแบบโครงสร้าง	4.60	0.53	มากที่สุด
2	ด้านการใช้งาน	4.52	0.34	มากที่สุด
3	ด้านการบำรุงรักษา	4.60	0.40	มากที่สุด
	ภาพรวม	**4.58**	**0.41**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 4 พบว่า ผลการประเมินคุณภาพของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมีคุณภาพมากที่สุดที่ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.58 เมื่อพิจารณาเป็นด้าน พบว่า ด้านการออกแบบโครงสร้างมีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุดที่ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.60 ด้านการใช้งานมีคุณภาพอยู่ ในระดับมากที่สุดที่ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.52 และด้านการบำรุงรักษามีคุณภาพอยู่ในระดับมากที่สุดที่ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.60 ตามลำดับ

4. ผลการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

จำนวนการทดสอบ (ครั้ง)	การดันชิ้นงาน ตำแหน่งที่ 1 (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)	การดันชิ้นงาน ตำแหน่งที่ 1 (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)	ตำแหน่งที่ประทับตราชิ้นงาน (ถูกต้อง / ไม่ถูกต้อง)	ประสิทธิภาพ (%)
20	ถูกต้อง	ถูกต้อง	ถูกต้อง	100

จากตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ พบว่า สามารถทำงานตามตำแหน่งการดันชิ้นงานได้ถูกต้อง และตำแหน่งที่ประทับชิ้นงานได้ถูกต้อง จำนวน 20 ครั้ง ได้ถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 100

5. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
1. ความโดดเด่นและความน่าสนใจในการออกแบบ	4.65	0.56	มากที่สุด
2. ความถูกต้องแม่นยำในการทำงาน	4.57	0.54	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมในการนำไปประกอบเป็นสื่อการเรียนการสอน	4.63	0.53	มากที่สุด
4. ความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานในการใช้งาน	4.39	0.64	มาก
5. การติดตั้งอุปกรณ์และเดินสายไฟได้สวยงาม	4.43	0.54	มาก
6. ความเหมาะสมด้านราคาต้นทุนต่อการใช้งานระยะยาว	4.41	0.61	มาก
7. ความง่ายต่อการซ่อมแซม แก้ไข และบำรุงรักษา หลังจากนำไปใช้งาน	4.61	0.49	มากที่สุด
8. ความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมอื่น	4.39	0.53	มาก
9. มีการออกแบบที่เสมือนจริงในงานอุตสาหกรรม	4.29	0.64	มาก
10. มีคุณค่าและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม	4.59	0.54	มากที่สุด
โดยภาพรวม	**4.50**	**0.54**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 6 พบว่า การประเมินความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นนักศึกษาแผนกวิชาช่างไฟฟ้า ระดับชั้น ปวส. และปริญญาตรี วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร จำนวน 45 คน ทดลองใช้และประเมินความพึงพอใจ พบว่า โดยภาพรวมผู้ใช้มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ที่ค่าคะแนนเฉลี่ย 4.50

อภิปรายผล

1. ผลจากการทดลองแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ทำงานได้ตามเงื่อนไขเป็นไปตามวัตถุประสงค์ สามารถนำไปใช้ประกอบเป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้นักเรียนนักศึกษาได้เพิ่มพูนทักษะการออกแบบและการควบคุมอัตโนมัติในรูปแบบต่างๆ ได้ เห็นภาพรวมลักษณะงานควบคุมอัตโนมัติในงานอุตสาหกรรมที่หลากหลาย รวมถึงการควบคุมการจำแนกระดับวัตถุในงานอุตสาหกรรมสอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2564) ได้สร้างและพัฒนาแบบจำลองเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียงที่สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขเป็นไปตามวัตถุประสงค์ สามารถนำไปใช้ประกอบเป็นสื่อการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับ (กันตภณ, 2557) ได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องคัดแยกวัตถุอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง สามารถนำไปใช้เป็นพื้นฐานในการฝึกปฏิบัติการวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ นำไปใช้เป็นแนวทางกับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทงานแยกวัตถุในรายการผลิตเพื่อจำแนกวัตถุได้ตามโปรแกรมสั่งงาน รวมถึงระบบการเคลื่อนที่อัตโนมัติอื่นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. ประสิทธิภาพการทำงานของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ โดยสามารถจำแนกวัตถุและตำแหน่งที่ต้องการคัดแยก ได้อย่างถูกต้อง แม่นยำคิดเป็นร้อยละ 100 สอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2564) ที่

สร้างและพัฒนาแบบจำลองเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง โดยสามารถจำแนกวัตถุและตำแหน่งที่ต้องการคัดแยกได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 100 และสอดคล้องกับ (วิภพ, 2553) ที่สร้างและหาประสิทธิภาพชุดสาธิตการคัดแยกวัสดุบนสายพานลำเลียงควบคุมโดย PLC มีประสิทธิภาพความถูกต้อง คิดเป็นร้อยละ 100 ทั้งนี้ยังสอดคล้องกับ (เอกชัย, 2563) ที่ออกแบบและสร้างเครื่องสลัดน้ำผึ้งอัตโนมัติที่มีประสิทธิภาพสามารถสลัดน้ำผึ้งได้จำนวน 1,001.68 แผงต่อชั่วโมง ซึ่งมีสมรรถนะและประสิทธิภาพมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (96 แผงต่อชั่วโมง)

3. ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ภาพรวมมีค่าคะแนนเฉลี่ย 4.50 อยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจสูงสุดคือ เครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง ในการทดสอบการใช้งานจริง ภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 4.60 อยู่ในระดับมากที่สุด ความพึงพอใจสูงสุด 5 อันดับ คือความโดดเด่นและน่าสนใจในการออกแบบ ความถูกต้องแม่นยำ สามารถนำไปเป็นสื่อการเรียนการสอน การออกแบบที่เสมือนจริงในงานระบบอุสาหกรรม ความง่ายต่อการซ่อมแซม แก้ไข และบำรุงรักษา หลังจากนำไปใช้งาน มีคุณค่าและไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถือได้ว่าเป็นจุดเด่นของแบบจำลองเครื่องประทับตราชิ้นงานอัตโนมัติ ที่สอดคล้องกับ (ณัฐดนัย, 2564) ได้ศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและระดับปริญญาตรีต่อเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง จำนวน 45 คน พบว่า มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมากที่สุด และสอดคล้องกับ (เอกชัย, 2563) ได้ศึกษาความพึงพอใจของเกษตรกรผู้เลี้ยงผึ้งต่อเครื่องสลัดน้ำผึ้งอัตโนมัติ จำนวน 7 คน พบว่า ความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ ขอขอบคุณ ดร. ชัด อินทะสี ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้ที่เกี่ยวของกับงานวิจัยนี้ทุกท่าน และขอบคุณทุกคนในทีมวิจัยที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กันตภณ พลิ้วไธสง. (2557, มกราคม-มิถุนายน). เครื่องคัดแยกวัตถุอัตโนมัติตามสายพานลำเลียง. **วารสารวิจัย, 7**(1), 88-96.

เกวลี ผังดี และพิมพ์รดา ครองยุติ. (2556). **ความพึงพอใจต่อการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น**. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาสถิติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉัตรชัย ริบรวมทรัพย์. (2560). **PLC คืออะไร**. [Online] Available : http://www.advance-electronic.com/blog/detail/113/th/PLCคือ-อะไร.html [2565, พฤศจิกายน 22].

ชัยวิชิต เชียรชนะ. (2560, มกราคม-มิถุนายน). การสร้างและการพัฒนาโมเดล/รูปแบบ/แบบจำลอง/ตัวแบบ. **วารสารศิลปากรศึกษาศาสตร์วิจัย, 9**(1), 1-11.

ณัฐดนัย เรือนคำ. (2564, มกราคม-มิถุนายน). การสร้างและพัฒนาแบบจำลองเครื่องคัดแยกชิ้นงาน 3 ระดับอัตโนมัติบนสายพานลำเลียง. **วารสารสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3, 5**(9), 113-126.

ธานินทร์ ศิลป์จารุ. (2536). **การวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ (2538). **เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา**. (พิมพ์ครั้งที่ 5). กรุงเทพฯ : ศึกษาพร.

วิภพ ใจแข็ง. (2553). **ชุดสาธิตการคัดแยกวัสดุบนสายพานลำเลียงควบคุมโดย PLC**. เชียงราย : คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

วิศรุต ศรีรัตนะ. (2550). **เซนเซอร์ในงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

วรพจน์ ศรีวงศ์คล. (2540). **ออกแบบเครื่องกล 1**. กรุงเทพฯ : สถาบันพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ศิริพงษ์ วงษ์คาร. (2554). **การประยุกต์ใช้งานระบบ PLC เบื้องต้น (Mitsubishi PLC) รุ่นที่ 7**. กรุงเทพฯ : สำนักฝึกอบรมและพัฒนาทรัพยากรบุคคล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

เอกชัย ไก่แก้ว. (2563, กรกฎาคม-ธันวาคม). เครื่องสลัดน้ำผึ้งแบบอัตมัติ. **วารสารสถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3, 4**(8), 143-155.

Mitsubishi Electric. (2006). **Melsec FX Family Programmable Logic Controllers Beginner's Manual**. Tokyo : Mitsubishi Electric Corporation.

การพัฒนาและสมบัติของคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส สำหรับประยุกต์เป็นวัสดุขัดในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับไทย

Development and Properties of Polypropylene/ Polyethylene Vinyl Acetate/Micro-Cellulose Composite for Polishing Materials Application in Thailand's Jewelry Industry

กัญญารัตน์ นามนนท์*
Kanyarat Namnon
ดวงแข บุตรกูล**
Duangkhae Bootkul
เบญญา เชิดหิรัญกร***
Benya Cherdhirunkorn
ชิราวุฒิ เพชรเย็น***
Chiravoot Pechyen
สุรเชษฐ์ ตุ้มมี****
Surachet Toommee

Received : February 14, 2022
Revised : July 1, 2022
Accepted : July 21, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตจาก พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุที่ใช้ขัดเครื่องประดับโดยวัสดุคอมโพสิต

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Master of Science Students Materials and Textile Technology Program Faculty of Science and Technology Thammasat University
**อาจารย์ประจำวิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Lecturer in the College of Creative Industries Srinakharinwirot University
***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer in Materials and Textile Technology Department Faculty of Science and Technology Thammasat University
****อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

ถูกผสมด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ (TSE) PP กับ EVA 30 ส่วน ต่อเรซิน 100 ส่วน (phr) และอัตราส่วนที่แตกต่างกันของไมโครเซลลูโลสที่ 5, 10, 20 และ 30 phr ตามลำดับ และนำคอมโพสิตคอมปาวด์แต่ละสูตรไปฉีดขึ้นรูปโดยเครื่อง Injection Machine ใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ เป็นรูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้าน ซึ่งเป็นรูปทรงที่ออกแบบใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขัด พบว่ารูปทรงนี้สามารถขัดชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ มุมต่างๆ ของรูปทรงนี้สามารถเข้าไปในซอกหรือร่องลึกได้มากขึ้น ช่วยลดระยะเวลาในการขัด จากนั้นนำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล ทางเคมี และทางความร้อน ผลจากการทดสอบพบว่าการใช้ไมโครเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตสามารถกระจายตัวได้ดีในการขึ้นรูป และที่ไมโครเซลลูโลสอัตราส่วน 30 phr กระจายตัวได้ทั่วเนื้อเมทริกซ์มากกว่า ทำให้การขึ้นรูปเป็นวัสดุขัดได้รูปทรงที่สมบูรณ์และพื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากกว่าสูตรอื่นๆ การเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตททำให้การกระจายตัวของไมโครเซลลูโลสดีขึ้น ลดโอกาสการเกิดช่องว่างบริเวณที่เชื่อมต่อระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลส
ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติไม่ดูดซึมน้ำหรือน้ำมัน มีความแข็งแรง อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนสูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตวัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ และเนื่องจากเป็นวัสดุที่ทำมาจากธรรมชาติจึงทำให้ได้วัสดุขัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุขัดทำโดยวิธีการขัดแบบใช้เครื่องขัดผิวโลหะ (Mass finishing) ผลจากการทดลองขัดพบว่าสูตรที่มีปริมาณไมโครเซลลูโลส 30 phr ให้ผลขัดที่แตกต่างจากสูตรอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด คือที่พื้นผิวของชิ้นงานทองเหลือง มีความละเอียดและสว่างขึ้น คราบสกปรกต่างๆหลุดออกได้เกือบหมด

คำสำคัญ : วัสดุคอมโพสิต / วัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ / พอลิพรอพิลีน / พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท / ไมโครเซลลูโลส

ABSTRACT

This research investigates the development of composite material properties from polypropylene (PP) polyethylene vinyl acetate (EVA) and micro-cellulose to be applied as jewelry polishing materials (Plastic Polishing Media). The composite was mixed by a twin-screw extruder (TSE): PP with 30 parts polyethylene vinyl acetate (EVA) parts per hundred resin (phr) and cellulose ratios of 5, 10, 20, and 30 phr, respectively. Each composite compound formulation was injected into the new mold design (a two-sided triangular pyramid shape) created to increase polishing efficiency. It has been found that this geometry can polish complex workpieces. The corners of this geometry can go into more deep nooks or grooves. Reduces polishing time. The physical, mechanical, chemical and thermal properties were then tested. Results were that micro-cellulose as a reinforcing agent in composite materials had good formulation dispersibility and at the 30 phr ratio of micro-cellulose, it was more dispersed throughout the matrix. This gives the polishing materials a more uniform surface and

a perfect shape than other formulations. Adding polyethylene vinyl acetate improved cellulose dispersion, reducing the probability of connective gaps between polypropylene and micro-cellulose. In this way, material properties avoided water or oil absorption and featured strength with a high thermal decomposition temperature, all suitable properties for application as jewelry polishing materials. In addition, they were environmentally friendly. Abrasive material properties were tested by machine polishing jewelry (Mass Finishing).
The results of the polishing experiment showed that formulas with micro-cellulose content of 30 phr produced significantly different polishing results from other formulations. The surface of the brass workpiece is finer and brighter, Stains are almost completely removed.

Keywords : Composite Materials / Plastic Polishing Media / Polypropylene / Polyethylene Vinyl Acetate / Micro-cellulose

บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ (Gems and Jewelry Industry) เป็นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับ 4 ของประเทศ แม้เศรษฐกิจโลกกำลังประสบปัญหาเศรษฐกิจในสหรัฐอเมริกาและสหภาพยุโรปซึ่งเป็นตลาดส่งออกหลัก แต่แนวโน้มการเติบโตของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทยในภาพรวมยังมีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุตสาหกรรมดังกล่าวมีจำนวนผู้ประกอบการและแรงงานในอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับในประเทศไทยจำแนกตามโครงสร้างอุตสาหกรรมได้ 2 กลุ่ม คืออุตสาหกรรมอัญมณี และอุตสาหกรรมเครื่องประดับ (การดี และภูมิพร, ม.ป.ป.)

อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับในปัจจุบันนั้น มีหลายขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมามีคุณภาพดี หนึ่งในขั้นตอนนั้นคือ ขั้นตอนการขัดเพื่อเตรียมผิวชิ้นงานก่อนจะไปขั้นตอนอื่นๆ ซึ่งการขัดเงาเป็นกระบวนการที่ทำให้ผิวของชิ้นงานนั้นเรียบและเงางาม การขัดเงาผิวของชิ้นงานที่เป็นที่นิยมในกระบวนการผลิตเครื่องประดับนั้นมี 2 รูปแบบคือ การขัดเงาด้วยเครื่อง และการขัดด้วยมือ การขัดเงาด้วยเครื่อง (Mass finishing) ใช้สำหรับการขัดเงาเครื่องประดับจำนวนมาก ซึ่งต้องใช้ความรวดเร็วในการขัดเงาเครื่องประดับภายในเครื่องขัดจะประกอบไปด้วยวัสดุขัดเงาเครื่องประดับ (Media) และสารละลายหล่อลื่น (Compound) โดยวัสดุที่ขัดจะเสียดสีไปที่ผิวของโลหะทีละน้อย ทำให้กำจัดส่วนที่ไม่ต้องการออกได้ เหมาะกับชิ้นงานที่มีลวดลายไม่ซับซ้อน (Alviti, 2004) หากเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ ที่ต้องการผลิตชิ้นงานครั้งละจำนวนมากๆ จำเป็นจะต้องใช้การขัดแบบ Mass Finishing เพื่อเป็นการลดเวลาและทรัพยากรคน ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับ วัสดุขัด (Media) ที่ต้องใช้จำนวนมากในการขัดแต่ละครั้ง และในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตอย่างแพร่หลาย ผู้ประกอบการส่วนใหญ่นิยมสั่งสินค้าจากต่างประเทศ ซึ่งตัววัสดุขัดนี้ มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ต้องการขัด ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับใช้วัสดุขัดประเภท พลาสติก เนื่องจากตัวเรือนที่

ใช้ทำเครื่องประดับเป็นโลหะที่มีความแข็งค่อนข้างน้อย เช่น เงิน ทอง ทองเหลือง และ ทองแดง เป็นต้น การใช้วัสดุขัดประเภทพลาสติกที่มีความแข็งไม่มากจนเกินไป จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผิวชิ้นงาน

ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นการนำวัสดุคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส มาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตขึ้นรูปวัสดุขัด (Plastic Polishing Media) จากงานวิจัยของ Mhumak & Pechyen, 2018 ได้มีการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตจากพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และ ไมโครเซลลูโลส สำหรับประยุกต์ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์อาหารแช่แข็ง พบว่าวัสดุมีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงดึงและแรงอัด ไม่ดูดซึมน้ำหรือน้ำมัน อุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนสูง พอลิพรอพิลีนมีสมบัติเชิงกลดี น้ำหนักเบา เหนียว ทนต่อการขีดข่วน ไม่เสียรูปง่าย ไอน้ำและออกซิเจนซึมผ่านได้น้อย มีจุดหลอมเหลวสูง ส่วนเซลลูโลสเป็นหนึ่งในวัสดุชีวภาพที่มีมากที่สุดในโลก เซลลูโลสเป็นโฮโมพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เหนียว เป็นเส้น และไม่ละลายน้ำ มีบทบาทสำคัญในการรักษาโครงสร้างผนังเซลล์พืชให้คงที่ เซลลูโลสเป็นวัสดุชีวภาพที่มีความแข็งแรงสูงและมีคุณสมบัติทางกลที่ยอดเยี่ยมอื่นๆ ทำให้ได้รับความนิยมมากในการนำมาเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตที่มีพอลิเมอร์เป็นเมทริกซ์ และในส่วนของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Polyethylene Vinyl Acetate, EVA) เป็นโคพอลิเมอร์แบบสุ่มที่ประกอบด้วยเอทิลีนและไวนิลอะซิเตท (VA) เป็นหน่วยที่เกิดซ้ำ ซึ่งมีความทนทานต่อโอโซน ทนต่อสภาพอากาศ และคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม EVA เป็นเทอร์โมพลาสติกโพลีเมอร์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ เช่น บรรจุภัณฑ์ที่ยืดหยุ่นได้ รองเท้า กาวร้อน ปลอกสายเคเบิล และอื่นๆ เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงทางกลและคุณสมบัติต้านทานความร้อน (Crawford, 2017; Brigham, 2018; Yao, Qu, & Wu, 2007)

วัสดุขัด (Media) หรือเม็ดที่มีส่วนประกอบของสารขัดถู (Abrasive) คือวัสดุที่มีสมบัติในการขัดถูเพื่อที่จะขัดผิวของชิ้นงานให้เรียบสวย เงางามหรืออาจจะขัดเพื่อต้องการทำผิวของชิ้นงานให้มีลาย ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าต้องการให้ผิวชิ้นงานออกมาในลักษณะไหน โดยในส่วนของการเตรียมผิวนั้นจะเป็นการขัดแบบเปียก และการขัดเงาจะเป็นการขัดแบบแห้ง ซึ่งวัสดุขัดจะแบ่งเป็น 4 ประเภทหลักๆ คือ วัสดุขัดแบบเซรามิก วัสดุขัดพลาสติก วัสดุขัดเหล็ก และวัสดุขัดแบบแห้ง (Alviti, 2004)

วัสดุขัดพลาสติก (Plastic Media) คือการผสมพลาสติกกับสารขัดถู เช่น อะลูมินา ซิลิกอน จะแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ แบบสังเคราะห์ และแบบโพลิเอสเตอร์ ซึ่งในแบบสังเคราะห์นั้นเพิ่งได้รับการพัฒนา เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สะอาดกว่าเม็ดขัดที่ทำจากโพลีเอสเตอร์ เนื่องจากเม็ดขัดแบบโพลีเอสเตอร์เมื่อเกิดแรงกระแทกจากการขัดจะทำให้เกิดฝุ่นและมีคราบแป้งคล้ายชอล์กติดบนผิวชิ้นงานซึ่งจะลำบากในการทำความสะอาด น้ำหนักเบา เหมาะสำหรับขัดชิ้นงานโลหะที่มีความแข็งน้อย

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการขัดหลักๆ แบ่งเป็นความเร็วรอบถังขัด ประเภทของเม็ดขัด ปริมาณน้ำและประเภทน้ำยาขัดทำความสะอาด ประเภทชิ้นงานที่ต้องการขัดต้องสอดคล้องกับประเภทของเม็ดขัด ชิ้นงานที่มีความแข็งน้อย เหมาะกับการใช้เม็ดขัดประเภทพลาสติก ชิ้นงานที่มีลวดลายซับซ้อน เหมาะกับเม็ดขัดรูปทรงที่มีมุมแหลมที่สามารถเข้าไปในซอกหรือมุมต่างๆได้ ในกระบวนการขัดโดยใช้เครื่องนั้น ที่ความเร็วรอบถังขัดสูงจะทำให้ได้ผลการขัดที่ดี แต่ยิ่งมีความเร็วมาก ก็ยิ่งเกิดการเสียดกันมากขึ้นระหว่างเม็ดขัดกับเม็ดขัด และเม็ดขัด

กับชิ้นงาน ทำให้เกิดความร้อนขึ้น จึงต้องมีการเปิดน้ำให้ไหลเวียนตลอดกระบวนการขัดเพื่อลดความร้อน และเติมน้ำยาขัดทำความสะอาดเพื่อช่วยให้คราบสกปรกหลุดออกง่ายขึ้น และยังช่วยหล่อลื่นลดแรงเสียดทานที่อาจทำให้เกิดความร้อนมากขึ้นด้วย (Niranjan, & Lu. 2006)

Salemane & Luyt, 2005 ได้ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุคอมโพสิตพอลิเมอร์ผสมเซลลูโลส พบว่าปริมาณเซลลูโลสที่เพิ่มขึ้น ทำให้วัสดุมีความเป็นผลึกมากขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความเสถียรทางความร้อนมากขึ้น ในการขัดแต่ละครั้งจะใช้เม็ดขัดจำนวนมาก การผลิตเม็ดขัดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงจำเป็นต่อการช่วยลดการเกิดขยะจากอุตสาหกรรม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะผลิตวัสดุขัดที่มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง ไม่ดูดซึมน้ำ มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงเสียดสี และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

1. เม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีน (Polypropylene, PP) ชื่อทางการค้า EL-Pro P348S จากบริษัท SCG Chemicals (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย
2. เม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Polyethylene Vinyl Acetate, EVA) MV1055 จากบริษัท TPI Polene (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย
3. เซลลูโลส (Cellulose) ที่ได้จากเยื่อกระดาษ ในอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ จากบริษัท SCG Packaging (Public) Co., Ltd. ประเทศไทย

วิธีการดำเนินงาน

1. การผลิตเม็ดพลาสติกคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส

ผสมเม็ดพลาสติกพอลิพรอพิลีนกับไมโครเซลลูโลสในปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 ส่วนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งร้อยส่วนของเรซิน (Part per Hundred Resin, phr) และเติมเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทปริมาณ 30 ส่วนโดยน้ำหนักต่อหนึ่งร้อยส่วนของเรซิน ดังแสดงในตารางที่ 1 ด้วยเครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ (Twin Screw Extruder) ที่ตั้งค่าอุณหภูมิ 165-170 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของสกรู 80 รอบต่อนาที นำเม็ดพลาสติกที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แสดงอัตราส่วนองค์ประกอบวัสดุคอมโพสิตในแต่ละสูตร

สัญลักษณ์	ปริมาณสาร (phr)		
	PP	EVA	MC
PP/EVA/MC-5	100	30	5
PP/EVA/MC-10	100	30	10
PP/EVA/MC-20	100	30	20
PP/EVA/MC-30	100	30	30

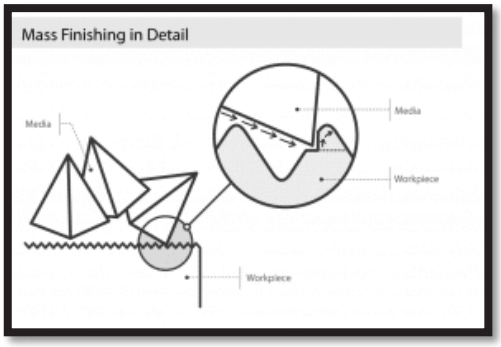
PP/EVA/MC-5 PP/EVA/MC-10 PP/EVA/MC-20

PP/EVA/MC-30

ภาพที่ 1 คอมโพสิตคอมปาวด์ PP/EVA/MC สูตรต่างๆ

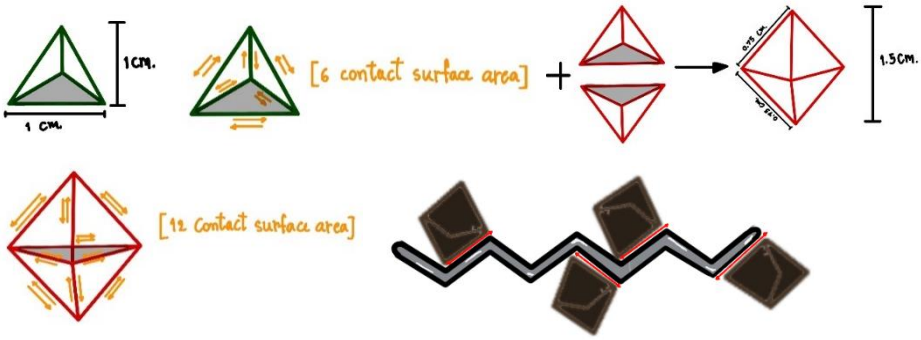
2. ออกแบบแม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นรูป

รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยมเป็นรูปทรงที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการขัด เนื่องจากมีเหลี่ยมและมุมหลายทิศทาง ทำให้มีพื้นที่ในการขัดถูเยอะ สามารถเข้าถึงซอก ร่อง หรือมุมต่างๆ ของชิ้นงานได้ดี จึงนำรูปทรงนี้มาเป็นต้นแบบในการออกแบบรูปทรงใหม่เป็น รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้าน ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิววัสดุขัดในการสัมผัสกับตัวผิวชิ้นงานเป็น 2 เท่า มีมุมแหลมทุกทิศทาง เพื่อให้เข้าถึงซอกหรือร่องเล็ก ๆ ได้ ทำให้การขัดทำความสะอาดผิวชิ้นงานรวดเร็วขึ้น



ภาพที่ 2 รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยมแบบดั้งเดิม

ภาพที่ 3 รูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม 2 ด้านออกแบบใหม่
(ที่มา : https://doerfler-schmidt.de/en/massfinishing/)



ภาพที่ 4 การออกแบบรูปทรงใหม่

3. ขั้นตอนการฉีดขึ้นรูป

นำคอมโพสิตคอมปาวด์ที่ได้ทั้ง 4 สูตร มาฉีดขึ้นรูป ตามรูปทรงแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้ โดยเครื่อง Injection Moulding ยี่ห้อ Sumitomo รุ่น SG50M แม่พิมพ์ในการฉีดขึ้นรูปมีขนาด กว้าง 13.5 cm. สูง 13.5 cm. ยาว 20.5 cm. โดยตั้งค่าอุณหภูมิในการฉีดที่ 180 องศาเซลเซียส Cycle time อยู่ที่ 17.7 วินาที แบ่งเป็น Cooling time 10 วินาที Holding time 0.75 วินาที และ Injection time 0.13 วินาที

ภาพที่ 5 แม่พิมพ์สำหรับฉีดขึ้นรูป

ภาพที่ 6 กระบวนการฉีดขึ้นรูป

4. การทดสอบสมบัติของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส

4.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1) วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น JSM-6400 ยี่ห้อ JEOL ที่กำลังขยาย 50 และ 1000 เท่า

2) วิเคราะห์ความเป็นผลึกของคอมโพสิต โดยวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เมื่อตกกระทบอะตอมหรือโมเลกุลในตัวอย่างด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker

4.2 การทดสอบสมบัติทางกล

1) การทดสอบความทานทนต่อแรงกระแทก (Impact testing) ของวัสดุคอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM D256 ซึ่งเป็นการทดสอบการกระแทกแบบไอซอด (Izod) ทดสอบโดยใช้ค้อนเหวี่ยงมากระแทกชิ้นงาน แล้ววัดค่าออกมาเป็นพลังงานที่สูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก เตรียมขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 12.9x63.5x2.9 มิลลิเมตร แล้วบากบริเวณกลางชิ้นงานด้วยเครื่องบากลึก 2.54 มิลลิเมตร เป็นมุม 45 องศา ทดสอบโดยใช้ค้อนที่มีพลังงาน 2 จูลเหวี่ยงมากระแทกชิ้นงาน แล้ววัดค่าออกมาเป็นพลังงานที่สูญเสียไปในการทำให้ชิ้นงานแตกหัก นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ (1)

$$\text{ความทนแรงกระแทก } (\square/\square^2) = \frac{\text{พลังงาน } (\square)}{\text{พื้นที่บริเวณรอยบาก } (\square^2)} \qquad (1)$$

ภาพที่ 7 ชิ้นงานสำหรับการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก

4.3 การทดสอบสมบัติทางเคมี

1) วิเคราะห์และตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของคอมโพสิต ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) รุ่น IRSpirit ยี่ห้อ SHIMADZU ในช่วงคลื่นตั้งแต่ 650 ถึง 4000 cm^{-1}

4.4 การทดสอบสมบัติทางความร้อน

1) วิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดผลึกและอุณหภูมิในการหลอมเหลวด้วยเครื่อง (Differential Scanning Calorimeter, DSC) รุ่น DSC 214 polyma ยี่ห้อ NETZSCH โดยให้อัตราความร้อนคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ต่อตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิกรัม ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยให้อุณหภูมิแก่ตัวอย่างอยู่ในช่วงตั้งแต่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส

5. การทดลองขัด

1) ใช้เครื่องขัดผิวโลหะแบบจานหมุน (Centrifugal disc machine) ยี่ห้อ Oma and tools

2) ขัดทั้งหมด 5 รอบ แบ่งเป็นเม็ดขัดทั้ง 4 สูตร สูตรละ 1 รอบ และเม็ดขัด Commercial grade 1 รอบ รอบละ 30 นาที ที่ความเร็วถังขัดคงที่ 528 Hz โดยเปิดน้ำให้ไหลเวียนในระบบตลอดกระบวนการขัด เพื่อลดการเกิดความร้อนจากการเสียดสี และมีการใส่น้ำยาขัดทำความสะอาดลงไปวย

3) ใช้เม็ดขัดพลาสติกจำนวน 2.5 กิโลกรัม ใช้ชิ้นงานเป็นแหวนทองเหลืองแบบเรียบไม่มีลวดลาย 10 ชิ้น ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงรูปแบบชิ้นงานทองเหลืองที่ใช้ในการทดลองขัด

ชิ้นงานทองเหลือง	จำนวน (ชิ้น)	สูตรที่ขัด	จำนวนที่ใช้ขัด (ชิ้น)
	10	PP/EVA/MC-5	2
		PP/EVA/MC-10	2
		PP/EVA/MC-20	2
		PP/EVA/MC-30	2
		Commercial grade	2

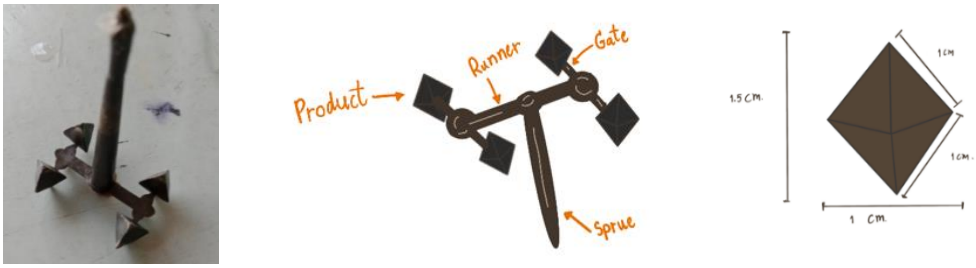
ภาพที่ 9 กระบวนการขัดแบบ Mass Finishing

ผลการวิจัย

1. สมบัติทางกายภาพ

1.1 เม็ดพลาสติกที่ฉีดออกมาได้ในแต่ละสูตร

ในการฉีดขึ้นรูปจะได้รูปแบบชิ้นงานออกมาดังภาพที่ 10 ซึ่งจะประกอบส่วนของ Sprue, Gate, Runner จะเป็นส่วนที่ช่วยให้พลาสติกเหลวไหลเข้าไปสู่ส่วนที่เป็น Product ได้เต็ม Cavity ซึ่ง มีทั้งหมด 4 Cavity และ Product แต่ละชิ้นมีขนาด กว้าง x ยาว = 1 cm. x 1.5 cm.



ภาพที่ 10 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกที่ได้จากการฉีด

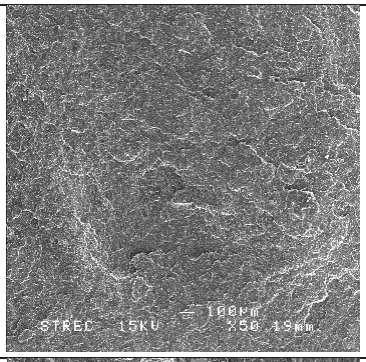
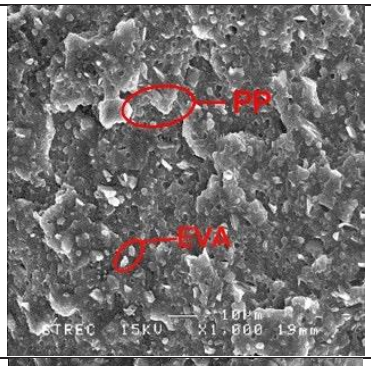
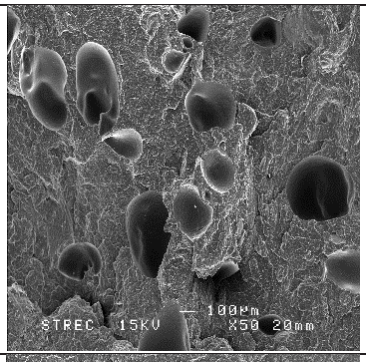
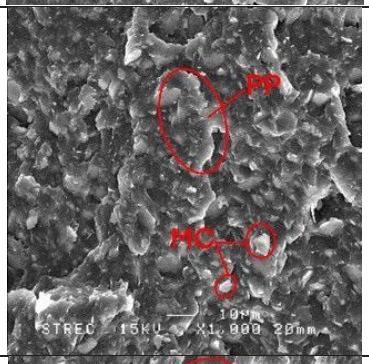
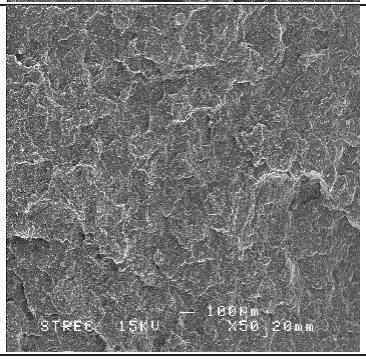
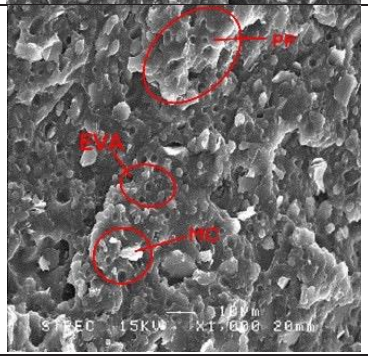
ตารางที่ 4 แสดงภาพเม็ดขัดที่ได้จากการฉีดแต่ละสูตร

สูตร	PP/EVA/MC-5	PP/EVA/MC-10	PP/EVA/MC-20	PP/EVA/MC-30
ภาพตัวอย่างเม็ดแต่ละสูตร				
ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3675 g. พื้นผิวมีความหยาบ สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะคล้ายผิวไม้ รูปทรงไม่ค่อยสมบูรณ์	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3651 g. พื้นผิวมีความหยาบ สีน้ำตาลเข้ม ลักษณะคล้ายผิวไม้ รูปทรงไม่ค่อยสมบูรณ์	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3691 g. ผิวหยาบกว่าสูตรอื่นๆ สีไม่สม่ำเสมอ มีฟองอากาศเกิดขึ้นเยอะ	น้ำหนักเฉลี่ย 0.3773 g. ลักษณะคล้ายผิวไม้ สีเข้มที่สุดใน 4 สูตร มีความแข็ง พื้นผิวมีความสม่ำเสมอ และมีรูปทรงที่สมบูรณ์กว่าสูตรอื่นๆ

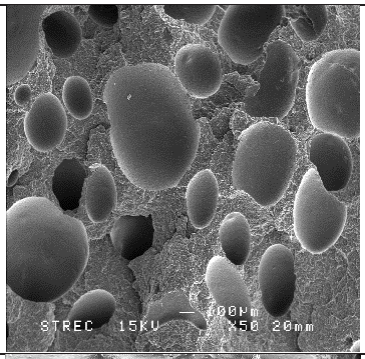
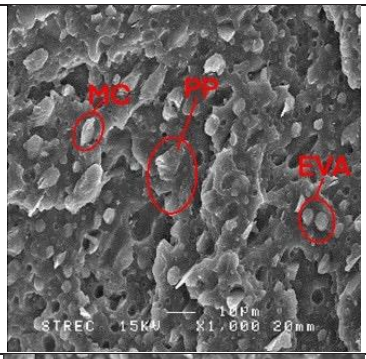
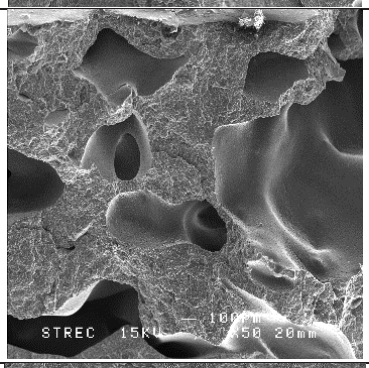
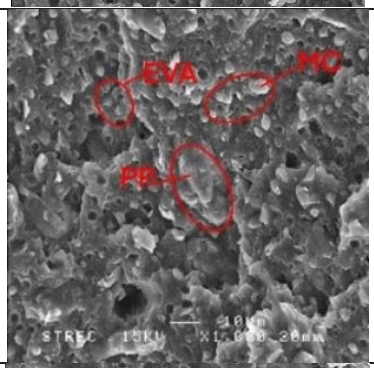
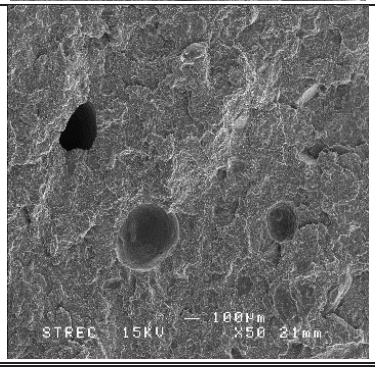
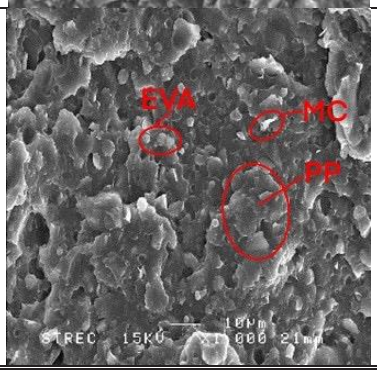
1.2 ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM)

จากตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาลักษณะสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสม PP/EVA ภายใต้กำลังขยาย 1000 เท่า จะเห็นลักษณะสัณฐานวิทยาแบบ continuous phase คือพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทลักษณะคล้ายหยดน้ำกระจายตัวอยู่ภายในเนื้อพอลิพรอพิลีนที่เป็นเมทริกซ์ เป็นลักษณะการผสมกันของพอลิเมอร์แบบไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Aghjeh, Khonakdar & Jafari, 2015) และลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต PP/MC-5 ที่กำลังขยาย 50 เท่าเกิดเป็นรูพรุนขนาดใหญ่จำนวนมาก แสดงถึงความไม่เข้ากันของวัสดุทั้ง 2 และเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะสัณฐานวิทยาของคอมโพสิต PP/EVA/MC-5 ที่กำลังขยาย 50 เท่า จะเห็นว่ารูพรุนลดลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวได้ว่าการเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทช่วยให้การกระจายตัวของไมโครเซลลูโลสดีขึ้น ลดโอกาสในการเกิดช่องว่างบริเวณส่วนที่เชื่อมต่อ (interphase) ระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลสที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความไม่เข้ากันของวัสดุทั้งสอง ปริมาณไมโครเซลลูโลสมีผลต่อลักษณะสัณฐานของคอมโพสิต PP/EVA/MC-10 และ PP/EVA/MC-20 ที่ภาพกำลังขยาย 50 เท่า เกิดเป็นรูพรุนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นปริมาณที่ไม่เหมาะสมในการจับตัวกับพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ทำให้กระจายตัวไม่ทั่วเนื้อเมทริกซ์พอลิพรอพิลีน จึงเกิดการระเหยของความชื้นในไมโครเซลลูโลสไปบางส่วน ทำให้เกิดเป็นรูพรุนขึ้น คอมโพสิต PP/EVA/MC-30 ที่ภาพกำลังขยาย 50 เท่า รูพรุนกลับลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไมโครเซลลูโลส ปริมาณ 30 phr สามารถจับตัวกับพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทได้ดีขึ้น ไมโครเซลลูโลสสามารถกระจายตัวได้ดีในการขึ้นรูป พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของไมโครเซลลูโลสได้

ตารางที่ 5 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส ที่กำลังขยาย 50 และ 1000 เท่า

Sample	Magnification	
	50x	1000x
PP/EVA		
PP/MC-5		
PP/EVA/MC-5		

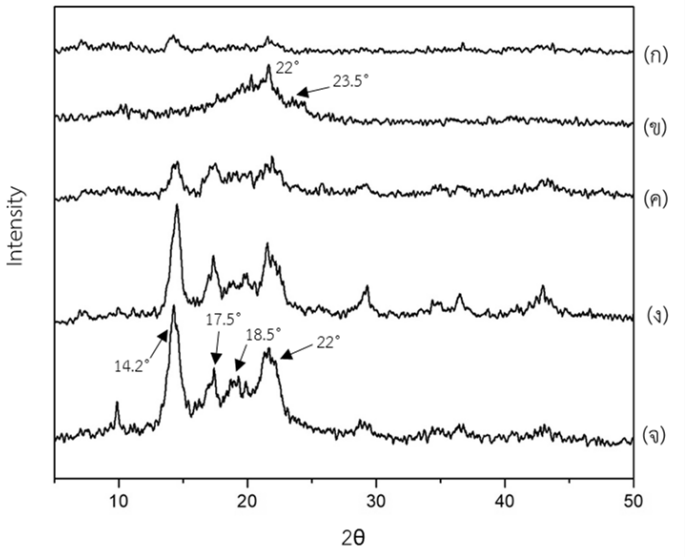
ตารางที่ 5 (ต่อ)

Sample	Magnification	
	50x	1000x
PP/EVA/MC-10		
PP/EVA/MC-20		
PP/EVA/MC-30		

1.3 ผลการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ X-ray Diffraction (XRD)

จากผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างผลึกด้วยการทดสอบเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ในภาพที่ 11 พบว่าพอลิพรอพิลีนมีความเข้มพีคต่ำ บ่งบอกถึงความเป็นผลึกต่ำของพอลิพรอพิลีนเกรดทางการค้าที่นำมาทดสอบ ซึ่งโดยทั่วไปพอลิพรอพิลีนส่วนใหญ่มักเกิดโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกหรือแอลฟา (Monoclinic, α) บนระนาบ (110), (040), (111) และ (041) บริเวณตำแหน่ง2θ ที่ 14, 17, 18.5, 21 และ 22 องศาตามลำดับ ส่วนเซลลูโลสโดยหลักแล้วจะเกิดพีคที่ตำแหน่ง 16 องศา แสดงถึงระนาบ Iβ (200) (Ljungberg, Cavaille, &

Heux, 2006) ในขณะที่พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทจะเกิดโครงสร้างผลึกแบบออโทรอมบิก (Orthorhombic) โดยจะเกิดพีคที่ตำแหน่ง 21.3, 23.5 และ 36.3 องศาของมุมสองเซต้า ซึ่งแสดงถึงผลึกบนระนาบ (110), (200) และ (020) ตามลำดับ และมีลักษณะพีคกว้าง (board) ที่บริเวณใต้พีค 21.3 และ 23.5 องศา ซึ่งแสดงถึงบริเวณอสัณฐานของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Shale, Stephanus, & Pionteck, 2015) และพบความเข้มพีคสูงที่บริเวณตำแหน่ง 22 และ 23.5 องศาของมุม 2θ มีลักษณะฐานพีคกว้างสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้ในภาพที่ 11 (ข) ผลของการเติมไมโครเซลลูโลสต่อความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีนแสดงในภาพที่ 11 (ง) และ (ค) ไมโครเซลลูโลสส่งผลให้ความเข้มพีคของวัสดุคอมโพสิตทั้งที่เติมและไม่ได้เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทสูงขึ้น โดยปรากฏความเข้มพีคสูงที่ตำแหน่ง 14.2, 17.5, 18.5 และ 22 องศา แสดงในภาพที่ 11 (จ) ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกแบบแอลฟาของพอลิพรอพิลีน จึงสามารถกล่าวได้ว่าการเติมไมโครเซลลูโลสช่วยเพิ่มปริมาณความเป็นผลึกแบบแอลฟาของพอลิพรอพิลีน



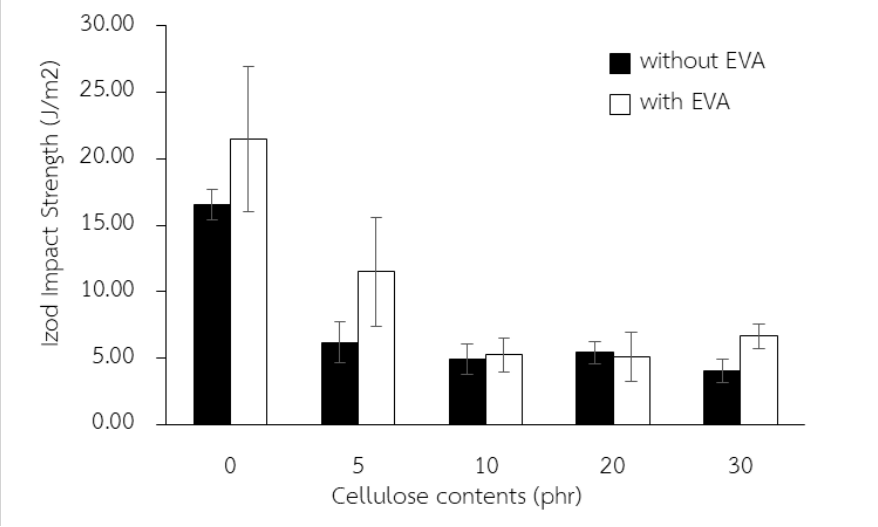
ภาพที่ 11 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (ก) พอลิพรอพิลีน (ข) พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (ค) วัสดุผสมพอลิพรอพิลีนกับพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (ง) วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเซลลูโลสปริมาณ 20 phr และ (จ) วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยเซลลูโลสปริมาณ 20 phr ที่เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท

2. สมบัติทางกล

2.1 ผลการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก (Impact Test)

ผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทกด้วยการทดสอบแบบไอซอด พบว่าการเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทใน พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ทำให้ค่าความต้านทางแรงกระแทกสูงขึ้นกว่าพอลิพรอพิลีน ที่ไม่ได้เติม พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ซึ่งเป็นผลมาจากวิสโคอิลาสติกของ พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นคล้ายยาง ดังแสดงในภาพที่ 12 จะสังเกตได้ว่าการ

เติมไมโครเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงในคอมโพสิตที่ปริมาณต่างๆ ทำให้ค่าความต้านทานแรงกระแทกลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมโพสิต โดยจากภาพการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 50 เท่า จะเห็นว่าวัสดุคอมโพสิตมีช่วงว่างหรือรุพรุนเกิดขึ้น เนื่องจากไมโครเซลลูโลสยังไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ได้ดีเท่าที่ควร ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต เซลลูโลสขนาดไมโครช่วยเพิ่มสมบัติในด้านความเป็นผลึก ทำให้ทนอุณหภูมิได้สูง มีความแข็ง แต่ในขณะเดียวกันก็มีความเปราะด้วย จึงสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ต่ำกว่า พอลิพรอพิลีนบริสุทธิ์ และวัสดุผสมระหว่างพอลิพรอพิลีนและพอลิเอทิลีนไวนิลอะซเตท



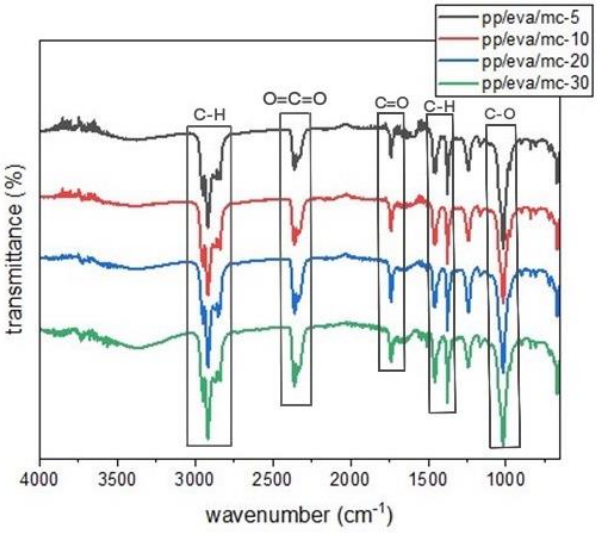
ภาพที่ 12 ความทนต่อแรงกระแทกของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสและเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท

3. สมบัติทางเคมี

3.1 การทดสอบด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

จากการตรวจสอบสมบัติทางเคมีของวัสดุคอมโพสิต พอลิพรอพิลีน/พอลิไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส ด้วยเทคนิค FTIR ดังภาพที่ 14 จะเห็นว่ามีการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดในช่วงคลื่น 2838-2950 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดหดของ C-H Stretching ของแอลเคน และการสั่นแบบงอของหมู่ C-H Bending ที่ตำแหน่ง 1371 cm^{-1} และ 1465 cm^{-1} ซึ่งเป็นอินฟาเรดสเปกตรัมของพอลิพรอพิลีน ส่วนพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทก็พบการสั่นแบบยืดหดของหมู่ C-H Stretching ในช่วงตั้งแต่ 2849-2917 cm^{-1} และการสั่นแบบงอของหมู่ C-H Bending ที่ตำแหน่ง 1371 cm^{-1} และ 1465 cm^{-1} และยังมีการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดที่ตำแหน่ง 1737 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของ C=O Stretching ซึ่งบ่งบอกถึงหมู่อะซิเตทในโมเลกุลของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และพบการดูดกลืนรังสีอินฟาเรดที่ตำแหน่ง 2349 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของ O=C=O Stretching ที่บ่งบอกถึงหมู่คาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวได้ว่าการผสมกันของวัสดุคอมโพสิตไม่พบการดูดกลืนคลื่นรังสีอินฟาเรด

ที่ตำแหน่งใหม่ นอกจากนี้ (Li, et al., 2012) พบว่า สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทเสริมแรงด้วยผงไม้ที่ตำแหน่ง 3391 cm^{-1} ซึ่งแสดงการสั่นแบบยืดหดของหมู่ไฮดรอกซิล มีลักษณะความเข้มของสัญญาณต่ำเมื่อเทียบกับสเปกตรัมของผงไม้ จึงกล่าวได้ว่า หมู่ไฮดรอกซิลของผงไม้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับหมู่คาร์บอนิลของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ทำให้ลดความมีขั้วของผงไม้ และเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างผงไม้และพอลิเมอร์



ภาพที่ 14 อินฟราเรดสเปกตรัมของ วัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/ พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส

4.สมบัติทางความร้อน

4.1 ผลการวิเคราะห์ Differential Scanning Calorimetry (DSC)

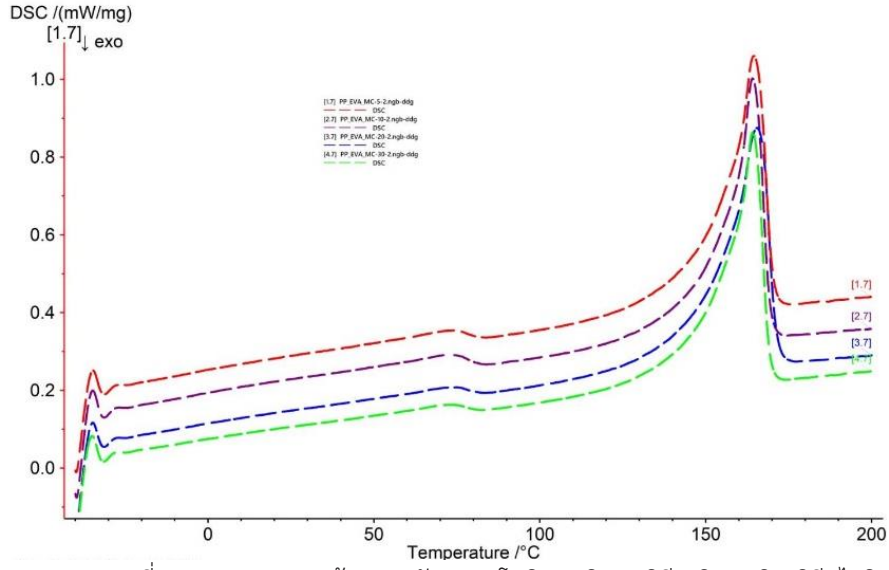
วิเคราะห์อุณหภูมิในการเกิดผลึกและอุณหภูมิในการหลอมเหลว ควบคุมอัตราการให้ความร้อนคงที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ต่อตัวอย่างปริมาณ 10 มิลลิกรัม ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยให้ความร้อนแก่ตัวอย่างตั้งแต่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 200 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส จากนั้นให้ความร้อนอีกครั้งด้วยอัตราเดิมจนถึงอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส สามารถคำนวณร้อยละของผลึกได้จากสมการ

$$\%\ \text{Crystallinity} = \frac{\Delta H_{\square} - \Delta H_{\square}}{\Delta H^{\circ}_{m}} \times 100$$

จากภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วน 5, 10, 20 และ 30 phr พบว่ามีพีคการดูดความร้อนหรือ อุณหภูมิหลอมเหลวใกล้เคียงกันที่ตำแหน่ง 164.1-165.5 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และพลังงานที่ใช้ในการสลายตัวทางความร้อนมีค่าใกล้เคียงกันแตกต่างกันเล็กน้อยตามน้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงอุณหภูมิในการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลส

Sample	T_g(°C)	T_c(°C)	T_m(°C)	ΔH_m(J/g)	X_c (%)
PP/EVA/cellulose-5	-28.2	73.9	164.5	65.34	31.5
PP/EVA/cellulose-10	-27.6	84.2	164.1	55.07	26.6
PP/EVA/cellulose-20	-27.5	83.3	165.5	63.27	30.56
PP/EVA/cellulose-30	-28.4	83.4	164.2	57.01	27.54



ภาพที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีนเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทและเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วน 5, 10, 20 และ 30 phr

จากภาพที่ 15 เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่ 3 ช่วงอุณหภูมิ ช่วงแรกจะอยู่ที่ -27 °C ถึง -28 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่วัสดุคอมโพสิตจะมีสถานะคล้ายแก้ว และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีลักษณะอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นคล้ายยาง ซึ่งเมื่อถึงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงช่วงที่สอง จะอยู่ที่ 73 °C ถึง 85 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดผลึก วัสดุคอมโพสิตจะมีสถานะคล้ายยาง และจะเปลี่ยนจากยางเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ช่วงที่ 3 ที่อุณหภูมิ 164 °C ถึง 165 °C วัสดุคอมโพสิตเกิดการหลอมเหลวจนหมดผลของการเติมไมโครเซลลูโลสต่ออุณหภูมิในการหลอมเหลวของตัวอย่างพบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลวของวัสดุคอมโพสิตมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน ดังนั้นจึงไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมและขึ้นรูปวัสดุ

5. ผลการทดลองขัด

ผลการทดลองขัดแหวนเรียบด้วยเม็ดขัดสูตรต่างๆ และเม็ดขัด Commercial grade เป็นเวลา 30 นาที พบว่าผิวของชิ้นงานทองเหลืองหลังการขัดแตกต่างกันเล็กน้อย คือคราบสกปรกหลุดออกบางส่วน รอยขีดข่วนต่างๆไม่ถูกลบออก ผิวของชิ้นงานสว่างขึ้นเล็กน้อย สูตร PP/EVA/MC-30 ให้ผลลัพธ์ในการขัดดีที่สุด คือสามารถลบคราบสกปรกต่างๆได้ค่อนข้างเยอะ ปรับพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองให้สว่างขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังตารางที่ 9 ทั้งภาพที่ถ่ายจากกล้องโทรศัพท์และกล้องกำลังขยาย 60 เท่า และเมื่อขัดเปรียบเทียบกับเม็ดขัด Commercial grade ในตารางที่ 10 ก็พบว่า เม็ดขัดสูตร PP/EVA/MC-30 รูปทรงนี้ก็สมารถขัดได้อย่างดี มุมแหลมของรูปทรงสามารถเข้าถึงซอกหรือร่องต่างๆในชิ้นงานได้ ชิ้นงานทองเหลืองมีความสะอาด และสีพื้นผิวมีความสว่างมากขึ้นกว่า ผลการขัดด้วยเม็ดขัด Commercial grade ในระยะเวลาการขัดที่เท่ากัน จึงกล่าวได้ว่าเม็ดขัดรูปทรงพีระมิดสาเหลี่ยม 2 ด้านที่ออกแบบใหม่นี้ สามารถช่วยลดระยะเวลาในการขัดได้

ตารางที่ 9 แสดงพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการขัดด้วยเม็ดขัดสูตรต่างๆ

สูตร	**กล้องโทรศัพท์**		**กล้องกำลังขยาย 60 เท่า**	
PP/EVA/MC-5	ก่อนขัด	หลังขัด	ก่อนขัด	หลังขัด
PP/EVA/MC-10				

ตารางที่ 9 (ต่อ)

สูตร	กล้องโทรศัพท์		กล้องกำลังขยาย 60 เท่า	
PP/EVA/MC-20				
PP/EVA/MC-30				

ตารางที่ 10 แสดงพื้นผิวชิ้นงานทองเหลืองที่ผ่านการขัดด้วยเม็ดขัด Commercial grade

สูตร	กล้องโทรศัพท์		กล้องกำลังขยาย 60 เท่า	
	ก่อนขัด	หลังขัด	ก่อนขัด	หลังขัด
Commercial grade				

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าคุณสมบัติของวัสดุคอมโพสิตระหว่างพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/เสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสที่อัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการผลิตวัสดุขัดเครื่องประดับ ได้ข้อสรุปดังนี้

1) การที่ใช้พอลิพรอพิลีนเป็นเนื้อเมทริกซ์ และเสริมแรงด้วยไมโครเซลลูโลสนั้นทำให้พอลิพรอพิลีนมีความเป็นผลึกมากขึ้น ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติที่แข็งแรง ความต้านทานแรงกระแทกของวัสดุคอมโพสิตที่เติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทมีค่ามากขึ้น เป็นผลมาจากลักษณะวิสโคอิลาสติกของพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นคล้ายยาง

2) การเติมพอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทช่วยให้ช่องว่างระหว่างพอลิพรอพิลีนและไมโครเซลลูโลสน้อยลง มีความเข้ากันมากขึ้น ทำให้ความไม่ชอบน้ำและน้ำมันของวัสดุคอมโพสิตที่มีเซลลูโลสเป็นสารเสริมแรงมากขึ้น เหมาะกับการนำไปประยุกต์เป็นวัสดุขัด ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อรูปทรงหรือทำให้เกิดความเสียหายของวัสดุขัด ระหว่างกระบวนการขัดแบบเปียก

3) การลดขนาดจากเซลลูโลสเป็นไมโครเซลูโลส ทำให้กระจายตัวได้ดีในพอลิเมอร์เมทริกซ์ ปริมาณไมโครเซลลูโลสมีผลต่อลักษณะพื้นผิวของคอมโพสิต ที่ไมโครเซลลูโลสอัตราส่วน 30 phr จะกระจายตัวทั่วเนื้อเมทริกซ์มากกว่า ทำให้การขึ้นรูปเป็นวัสดุขัดได้รูปทรงที่สมบูรณ์และพื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากกว่าสูตรอื่นๆ

4) การทดสอบผลจากการศึกษาลักษณะของโครงสร้างผลึกด้วยการทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์พบว่าไมโครเซลลูโลสช่วยเพิ่มความเป็นผลึกของพอลิพรอพิลีน

5) ผลอินฟราเรดสเปกตรัมของวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส พบหมู่ฟังก์ชันเดิมของพอลิพรอพิลีน พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท และเซลลูโลส โดยไม่พบหมู่ฟังก์ชันใหม่เกิดขึ้น

6) พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตทมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 73.2 องศาเซลเซียส พอลิพรอพิลีนมีอุณหภูมิหลอมเหลวเท่ากับ 165.5 องศาเซลเซียส การเติมไมโครเซลลูโลสไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิพรอพิลีน และไม่ส่งผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผสมและขึ้นรูปวัสดุ ทำให้วัสดุคอมโพสิตมีจุดหลอมเหลวที่สูงสามารถทนต่อความร้อนที่อาจเกิดจากการเสียดสีหรือขัดถูระหว่างกระบวนการขัดเครื่องประดับได้ ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลสจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นวัสดุสำหรับขัดเครื่องประดับ

7) ผลจากการทดลองขัดพบว่าเม็ดขัดสูตร PP/EVA/MC-30 ให้ผลขัดที่ดีที่สุด และรูปทรงที่ออกแบบใหม่สามารถช่วยลดระยะเวลาในการขัดได้เมื่อเทียบผลการขัดกับเม็ดขัด Commercial grade

8) จากการทดสอบสมบัติต่างๆของคอมโพสิตพอลิพรอพิลีน/พอลิเอทิลีนไวนิลอะซิเตท/ไมโครเซลลูโลส จึงสรุปได้ว่าการเติม ไมโครเซลลูโลสปริมาณ 30 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งให้สมบัติที่ดีทางกายภาพและทางกล

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนงานวิจัยจาก มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทั้งเอื้อเฟื้อการใช้สถานที่และเครื่องมือในการศึกษาวิจัย รองศาสตราจารย์ ดร.ชิราวุฒิ เพชรเย็น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ในการดำเนินการค้นคว้าวิจัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงแข บุตรกูล อาจารย์ประจำ

วิทยาลัยอุตสาหกรรมสร้างสรรค์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้การสนับสนุนชิ้นงานทองเหลืองในการทดลองงานวิจัย บริษัทโอมา แอนด์ ทูลส์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อการใช้สถานที่และเครื่องขัดผิวโลหะในการทำการทดลองขัดเครื่องประดับ และยังให้คำแนะนำต่างๆเกี่ยวกับกระบวนการขัด

เอกสารอ้างอิง

การดี เลียวไพโรจน์ และภูมิพร ธรรมสถิตย์เดช. (ม.ป.ป.). **แผนปฏิบัติการส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมรายสาขา** อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม-สสว. [Online]. Available : https://www.sme.go.th/upload/mod_download/อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ.pdf [2564, เมษายน 1].

Alviti, S. (2004). **Practical Guide to Mass Finishing Jewelry**. [Online]. Available : https://www.ganoksin.com/article/practical-guide-to-mass-finishing-jewelry/ [2564, มีนาคม 30].

Mhumak, C. & Pechyen, C. (2018). Development and Characterization of Polypropylene/Polyethylene Vinyl Acetate/Micro Cellulose Trays as a Prototype for Chilled Food Packaging Application. **Walailak Journal of Science and Technology (WJST), 15**(11), 765-777.

Aghjeh, M.R., Khonakdar, H.A. & Jafari, S.H. (2015). **Application of mean-field theory in PP/EVA blends by focusing on dynamic mechanical properties in correlation with miscibility analysis**. ScienceDirect : Composites Part B 79 (2015) 74-82.

Crawford, C.B. (2017). Physiochemical properties and degradation. **Microplastic Pollutants || Physiochemical properties and degradation,** 57-100.

Brigham, C. (2018). **Biopolymers : Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics. Green Chemistry || Biopolymers,** 753-770.

Yao, D., Qu, B. & Wu, Q. (2007). **Photoinitiated crosslinking of ethylene-vinyl acetate copolymers and characterization of related properties, 47**(11), 1761-1767.

Keledi, G. (2012). Tensile and impact properties of three-component PP/wood/elastomer composites. **Express Polymer Letters, 6**(3), 224-236.

Ljungberg, N., Cavaille, J. & Heux, L. (2006). Nanocomposites of isotactic polypropylene reinforced with rod-like cellulose whiskers. **Polymer, 47**, 6285-6292.

Shale, S.J., Stephanus, L.A. & Pionteck, J. (2015). Effect of Surfactant on EG Dispersion in EVA and Thermal and Mechanical Properties of the System. **Journal of Applied Polymer Science, 132**(4).

Niranjan, K. & Lu, S. (2006). **Process characterization and roughness optimization in mass finishing**. Department of Systems Science and Industrial Engineering SUNY Binghamton.

Salemane, M.G. & Luyt, A. S. (2005).Thermal and Mechanical Properties of Polypropylene–Wood Powder Composites. **Journal of Applied Polymer Science, Department of Chemistry, University of the Free State Qwaqwa Campus, 100**(5), 4173-4180.

Li, D., Li, J., Hu, X. & Li, L. (2012). Effects of Ethylene Vinyl Acetate Content on Physical and Mechanical Properties of Wood-Plastic Composites. **BioResources, 7**(3), 2916-2932.

การศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ/พอลิเอสเตอร์และอิพอกซี่สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง

Theoretical and Property Test of Light Weight Armour Composite from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics/Polyester and Epoxy for Ballistic and Stabbing Protection

ธัญญาเรศ ทองยศ*
Thanyares Thongyos
นที ศรีสวัสดิ์**
Natee Srisawat
นรรจพร เรืองไพศาล**
Nanjaporn Roungpaisan
ชิราวุฒิ เพชรเย็น***
Chiravoot Pechyen
สุรเชษฐ์ ตุ้มมี****
Surachet Toommee

Received : February 14, 2022
Revised : July 8, 2022
Accepted : July 21, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ งานวิจัยนี้เป็น

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Master of Science students Materials and Textile Technology Program Faculty of Science and Technology Thammasat University
**อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Lecturer at the Department of Textile Engineering Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi
***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology, Thammasat University
****อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาอุตสาหกรรมศิลป์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Lecturer of the Industrial Arts Program Faculty of Industrial Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University

การประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ พัฒนาเป็นชุดเกราะน้ำหนักเบาจากผ้าผืนธรรมชาติ 2 มิติ สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง เส้นใยที่ใช้ในการขึ้นรูปผ้าผืน ได้แก่ เส้นใยจากฝ้าย เส้นใยจากลำต้นกัญชง และเส้นใยจากใบสัปปะรด โดยขึ้นรูปเส้นด้ายเดี่ยวด้วยวิธีการตีเกลียว จากนั้นศึกษาทิศทางการจัดเรียงตัวเส้นด้ายต่อความสามารถในการรับแรงกระแทกของกระสุนปืน เปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงกระแทกของเส้นใย (เส้นด้าย) ในทิศทางการจัดเรียงตัวที่แตกต่างกัน และทดสอบระดับการป้องกันของเสื้อเกราะตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ การขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ สำหรับพัฒนาชุดเกราะกันกระสุนและเป้าฝึกยิง เริ่มจากการเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์ พอลิเอสเตอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) จากนั้นขึ้นรูปคอมโพสิตแบบแผ่นผ้าผืนธรรมชาติ โดยใช้โมล์ดเปิด ขนาด 300x300 มม.^{3} ผ้าผืนที่ใช้ ประกอบด้วย 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton) คอมโพสิตผ้าผืนมีการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายในทิศทางเดียว (Unidirectional), ทิศทางขวาง (Cross-ply) และทิศทางแบบมุม (Angle-ply) จากนั้นนำคอมโพสิตที่ได้ไปศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy: SEM) ทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้ายและผ้าผืนสองมิติด้วยการทดสอบแรงดึง (Tensile tests) และทดสอบความสามารถในการต้านการเจาะทะลุ (Ballistic tests) ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ ตามลำดับ จากการทดสอบความแข็งแรงผ้าผืน พบว่า ผ้าผืนธรรมชาติ 70%C (Cotton)-30%H (Hemp) และ 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) ทนต่อแรงดึงสูงสุด เมื่อเทียบกับ 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton)

คำสำคัญ : เกราะเบาคอมโพสิต / ผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ / พอลิเอสเตอร์-อิพอกซี่ / ขีปนาวุธ-การแทง

ABSTRACT

Theoretical and properties test of light weight armour composite from 2-Dimension (2D) natural fabrics. This research is the application of composite materials from natural fibers. Evolved into light weight armor composite from 2-Dimension (2D) natural fabrics for defense against missiles and stabbing. Fibers used in fabric forming are cotton, hemp and pineapple leaves. Forming single yarn by twisting method. Then study the orientation of the fibers (Yarns) on the impact strength of the projectiles. Compare the impact performance on the fibers (Yarns) in different orientations, and test the protection level of the armor according to the NIJ test standard. Composite molding from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics. For developing bulletproof body armor and training targets. The first step is to prepare the polymer matrix Unsaturated polyester (SUNDHOMA SMF-7213-CN), Epoxy (EPICLON UE-3505P-2) and Epoxy (Epoxy 535A-7255B). Then form a composite sheet from 2-Dimension (2D) Natural Fabrics, 1-

layer, 2-layers, and 4-layers using an open mold (300x300 mm^2). The fabrics used consisted of fabrics formulas: 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) and 100%C (Cotton). For forming a single 4-layer composite sheet. Lastly, forming the test specimen by bringing put together a composite sheet for use as an impact plate in bulletproof body armor. In which the reinforced matrix (fabric) is arranged overlap in a unidirectional, Cross-ply and Angle-ply direction. Then studied for physical characteristics with scientific instruments using the Scanning Electron Microscopy technique, Test the strength of yarn and 2-Dimension (2D) Natural Fabrics with a Tensile test, And penetration resistance test according to the NIJ test standards, respectively. The results of the fabric strength test showed that natural fabrics 70%C (Cotton)-30%H (Hemp) and 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) had the highest tensile strength compared to 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton).

Keywords : Light Weight Armour Composite / 2-Dimension (2D) Natural Fabrics / Polyester-Epoxy / Ballistic-Stabbing

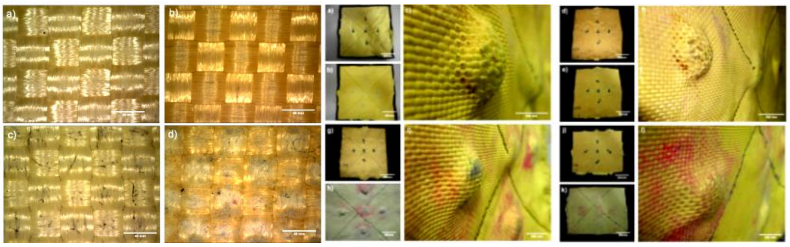
บทนำ

จากประสบการณ์การลงพื้นที่ปฏิบัติงานของผู้วิจัย ในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้ของประเทศไทย ปี 2563 ผู้วิจัยพบกับสถานการณ์ความรุนแรง และความเสี่ยงต่อการถูกลอบยิง เจ้าหน้าที่ทหาร และตำรวจ ผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงอาสาสมัครในพื้นที่ ซึ่งเป็นกำลังหลักในการรักษาความสงบ ยุติความรุนแรง แสดงให้เห็นว่า ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับบาดเจ็บ หรือสูญเสียชีวิต เนื่องจากอุปกรณ์ช่วยป้องกันตัวที่จำกัด เพื่อลดความเสี่ยงด้าน การสูญเสีย จึงมีความจำเป็นต้องรักษาชีวิตของบุคลากรเหล่านี้หรือลดความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ ดังนั้น เสื้อเกราะกันกระสุนจึงเป็นอุปกรณ์ช่วยในการป้องกันชีวิตและลดระดับความรุนแรงจากกระสุนปืน

แผ่นรับแรงกระแทกสำหรับเสื้อเกราะกันกระสุนส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ เสื้อเกราะกันกระสุน จากเส้นใยสังเคราะห์อะรามิดหรือเคฟล่าร์ ซึ่งสามารถคงรูปได้ดี มีน้ำหนักเบา ดูดซับพลังงานจากกระสุนปืนและ ลดการเกิดอาการฟกช้ำได้ดี ส่วนเสื้อเกราะกันกระสุนจากแผ่นเซรามิกเป็นแผ่นรับแรงกระแทก มีความแข็งแรง แต่อาจเกิดการแตกบริเวณแผ่นเซรามิก หากมองในด้านการพัฒนาเสื้อเกราะกันกระสุนจากฝีมือคนไทย เช่น เสื้อ เกราะกันกระสุนจากเส้นใยไนลอนและพอลิเอสเตอร์ เสื้อเกราะกันกระสุนจากแผ่นฟิล์มเซลลูลอยด์ เสื้อเกราะ กันกระสุนจากแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมและแผ่นอะลูมิเนียม และเสื้อเกราะกันกระสุนคุณภาพสูงจากแผ่นเซรามิก และแผ่นโพลิเมอร์ HDPE เสื้อเกราะกันกระสุนที่ใช้ในประเทศไทยนำเข้าจากต่างประเทศและมีที่ผลิตเองใน ประเทศแต่มีราคาสูงและพัฒนาต่อยอดได้ยากและมีน้ำหนักมาก (กุลธร, 2018)

Rodrigo Fernandes Nascimento และคณะ ได้รายงานว่าเสื้อเกราะกันกระสุนแบบอ่อน (Soft ballistic vest) มีส่วนประกอบของผ้าประสิทธิภาพสูงที่ทำจากเส้นใยสังเคราะห์ (เส้นใยอะรามิด) เสื้อเกราะกัน

กระสุนจากเส้นใยอะรามิดมีน้ำหนักเบา และระดับการป้องกันที่ดี เนื่องจากมีความทนทานต่อแรงเสียดทานสูง มีความยืดหยุ่นและคงทนต่อความคมของอาวุธ เมื่อนำมาซ้อนทับกัน จะทำให้มีคุณสมบัติแข็งกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน การนำผ้าผืนจากเส้นใยอะรามิดมาเรียงซ้อนทับกัน โดยวางสลับแนวกันให้เกิดการทำมุม 90 องศา เพื่อให้เสื้อเกราะมีทั้งความแข็งแรง และความยืดหยุ่น ซึ่งส่วนใหญ่จะมีการทอขึ้นรูปเป็นผืนแบบสองมิติ เมื่อกระสุนปืนพุ่งชนเสื้อเกราะ พลังงานหรือแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจะถูกดูดซับและกระจายแรงออกไปตามแนวเส้นใย ส่งผลให้หัวกระสุนปืนสูญเสียรูปทรง และพลังงาน ความเร็วของกระสุนลดลง จากภาพที่ 1 แสดงเกราะผ้าจากเส้นใยอะรามิดหลังการทดสอบ จากรูปพบว่าความเสียหาย (รอยเจาะ) ของกระสุนปืนมีการเจาะเพียงบางส่วนและไม่เกิดการเจาะทะลุอย่างสมบูรณ์ (Rodrigo, F.N., et al. 2020)



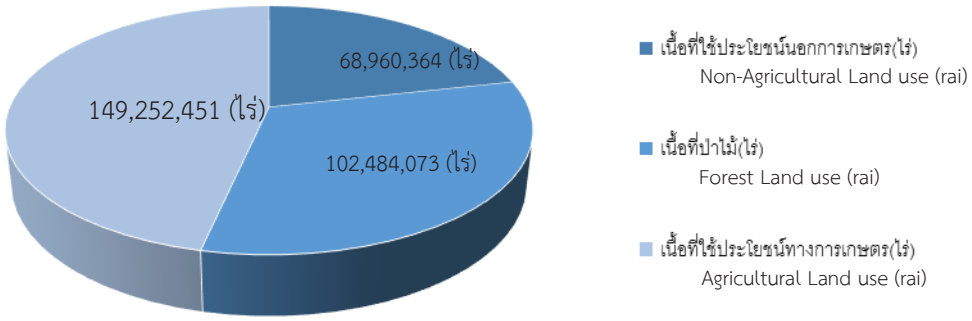
Credit: J MATER RES TECHNOL. 2020.9(5). 10334-10345.

ภาพที่ 1 เกราะผ้าอะรามิดหลังการทดสอบการยิงกระสุนปืน (ดัดแปลงจาก Rodrigo, F.N., et al., 2020)

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น การใช้วัสดุประเภทเส้นใยสังเคราะห์ให้ประสิทธิภาพที่ดี แต่มีราคาที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยธรรมชาติที่พบมากภายในประเทศ ประยุกต์ใช้วัสดุคอมโพสิตจากเส้นใยธรรมชาติ พัฒนาเป็นชุดเกราะน้ำหนักเบาจากผ้าผืนธรรมชาติ 2 มิติ สำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง โดยใช้เส้นใยจากฝ้าย เส้นใยจากลำต้นกัญชง และเส้นใยจากใบสัปปะรด เนื่องจากพบว่ามีองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติอย่างเปอร์เซ็นต์เซลลูโลสและเปอร์เซ้นต์เฮมิเซลลูโลสสูง (Farah, N.M.P., et al., 2020) อีกทั้งเส้นใยฝ้าย เส้นใยกัญชง และเส้นใยสัปปะรดมีสมบัติทางกลการทนต่อแรงดึงสูงกว่าเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น (M. Asim., et al., 2015)

อีกทั้งหากมองในเชิงอุตสาหกรรมสามารถจัดหาแหล่งวัตถุดิบ (Raw materials) ที่มีราคาถูกและมีปริมาณมากพอ สำหรับใช้ในกระบวนการผลิต เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติที่ใช้พบได้มากในประเทศ นำไปสู่การศึกษาผลของการจัดเรียงตัวของเส้นใยภายในเส้นด้ายต่อประสิทธิภาพการรับแรงกระแทกผ้าผืนธรรมชาติเข้ากับกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตแบบลามิเนต อินทรียวัตถุที่เลือกใช้คือ เส้นใยกัญชง เส้นใยฝ้าย และเส้นใยสัปปะรด จากสถิติทางการเกษตรด้านการใช้ที่ดินพบว่า มีพื้นที่เกษตรกรรมกว่า 149.25 ล้านไร่ จากพื้นที่ประเทศ 320.696 ล้านไร่ โดยแบ่งพื้นที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรเป็น นาข้าว 68.72 ล้านไร่ สวนไม้ผล/ไม้ยืนต้น 36.94 ล้านไร่ พืชไร่ 30.74 ล้านไร่ ไม้ดอก/ไม้ประดับ 1.40 ล้านไร่ และพื้นที่ทางการเกษตรอื่นๆ 11.45 ล้านไร่ หากกล่าวถึงพืชไร่ สัปปะรด เป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจส่งออกสำคัญ โดยประเทศไทย เป็น 1 ใน 10

ประเทศผู้ผลิตสัปปะรดโรงงานที่สำคัญ มีพื้นที่ปลูก 0.43 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ยต่อปีอยู่ที่ 1.89 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)



ภาพที่ 2 แสดงพื้นที่การใช้ที่ดินประเทศไทย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563)

เส้นใยที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ ในประเทศไทยเส้นใยจากพืชที่ใช้มากที่สุดคงเป็นเส้นใยฝ้าย ด้วยคุณสมบัติและการใช้งานที่กว้างขวางประกอบกับเป็นพืชที่ปลูกง่ายแทบทุกพื้นที่ ปัจจุบันพบว่ามีการผลิตเส้นใยจากการนำขยะทางการเกษตรที่ได้หลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิต เช่น ใบสัปปะรด และลำต้นกัญชง ซึ่งปัจจุบันสามารถปลูกพืชชนิดนี้ได้ และพบแนวโน้มพื้นที่ปลูกมากขึ้น สำหรับการผลิตผ้าผืนส่วนหนึ่งใช้บริโภคภายในประเทศเพื่อเข้าสู่อุตสาหกรรมขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์และจัดจำหน่ายในรูปของผ้าผืน คิดเป็นร้อยละ 80 และที่เหลืออีกร้อยละ 20 เป็นการส่งออกนอกประเทศ (วีระศักดิ์, 2542)

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาวัสดุคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ เส้นใยฝ้าย เส้นใยกัญชง และเส้นใยสัปปะรดที่สามารถจัดหาได้ ไม่มีข้อห้ามในการนำเข้า ราคาไม่แพง สามารถใช้ทดแทนเส้นใยสังเคราะห์ได้ โดยจะศึกษาผลการการจัดเรียงตัวของเส้นใยต่อความสามารถในการต้านทานการเจาะทะลุของกระสุนปืน

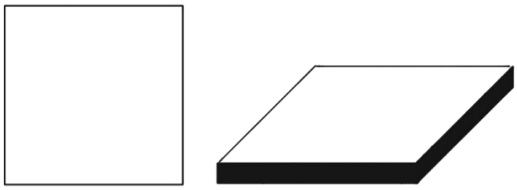
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทฤษฎีและทดสอบสมบัติเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ และศึกษาผลการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายจากเส้นใยธรรมชาติ เพื่อพัฒนาเป็นเสื้อเกราะกันกระสุนและเป้าฝึกยิงสำหรับป้องกันขีปนาวุธและการแทง โดยการทดสอบด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งขั้นตอนในการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

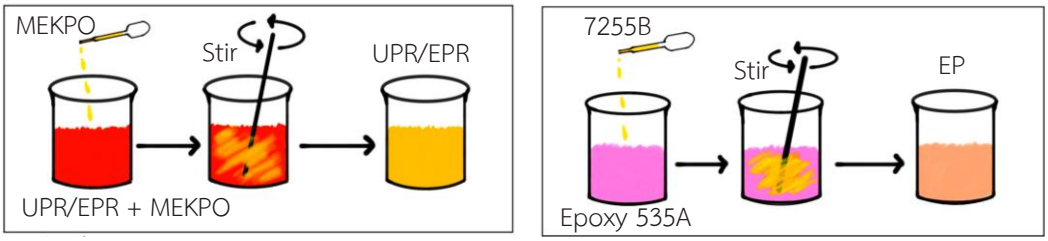
ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์และโมล์ด

โมล์ดสำหรับการวิจัยในครั้งนี้เป็นโมล์ดแบบเปิด ขนาด 300x300 มม.^{3} สำหรับใช้ขึ้นรูปคอมโพสิต ดังแสดงในภาพที่ 3 พอลิเมอร์เมตริกซ์ที่ใช้สำหรับขึ้นรูปคอมโพสิต คือ พอลิเอสเตอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) จาก

บริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด ทดลองเปรียบเทียบกับอิพอกซี 535A (Epoxy 535A: บริษัท นีโอเทค คอมโพสิท จำกัด) โดยพอลิเอสเตอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) ใช้สารช่วยให้เกิดการแข็งตัว คือ MEKPO (Methyl ethyl ketone peroxide) ในอัตราส่วน 1:100 ในขณะที่อิพอกซี 535A (Epoxy 535A) ใช้ 7255B ช่วยให้เกิดการแข็งตัว ในอัตราส่วน 30:70 สำหรับขั้นตอนการเตรียมพอลิเมอร์เมตริกซ์แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 โมล์ดแบบเปิดสำหรับใช้ในการขึ้นรูปคอมโพสิตแบบแผ่น

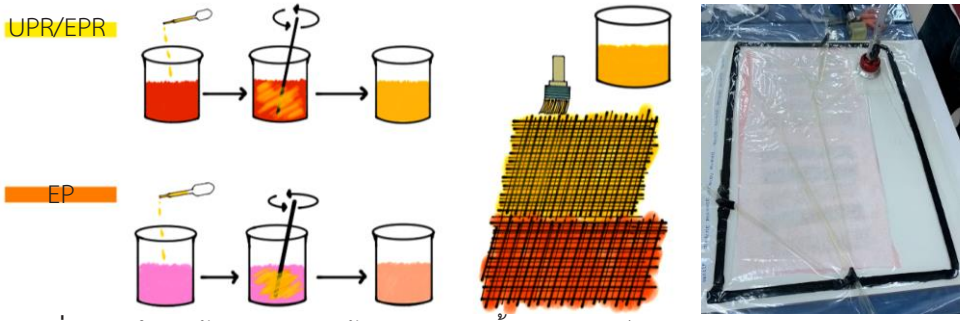


ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการเตรียมโพลิเอสเทอร์/อิพอกซี (UPR/EPR) และอิพอกซี (Epoxy 535A)

ขั้นตอนที่ 2 การขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น 2 ชั้น และ 4 ชั้น

ในขั้นตอนนี้จะทำการขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 4 ชั้น ขนาด 1x4 นิ้ว สำหรับทดสอบการทนต่อแรงดึงของวัสดุ ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 โดยใช้พอลิเมอร์เมตริกซ์จากขั้นตอนที่ 1 ในการขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืน 70%C (Cotton)-30%H (Hemp), 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple), 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple), 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) และ 100%C (Cotton) จากบริษัท เอสทีเท็กซ์ไทล์ จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยวางผ้าผืนลงบนโมลด์ จากนั้นเทเรซินลงบนผ้าผืน ทาเคลือบเรซินให้ทั่วผ้าผืน จากนั้นวางผ้าผืนอีกชั้น และทาเคลือบเรซินอีกครั้ง เคลือบจนครบทุกชั้น จากนั้นใช้ลูกกลิ้งไล่เพื่อไล่ฟองอากาศ เพื่อลดการเกิดช่องว่างหรือรูพรุนในเนื้อวัสดุ หลังจากเคลือบเรซินทั้งหมด วาง Peel ply ลงบนชิ้นงานคอมโพสิต จากนั้นตามด้วย Release film, Bleeder และสุดท้ายปิดด้วย Bagging film เพื่อแวคคัมกำจัดอากาศด้านใน สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปแสดงดังภาพที่ 5 จากนั้นขึ้นรูปคอมโพสิตผ้าผืน 4 ชั้น กำหนดให้ทิศทางของเส้นด้ายพุ่งในผ้าผืนเป็นทิศทางหลักการจัดเรียงซ้อนทับกันของผ้าผืนแต่ละชั้นใน

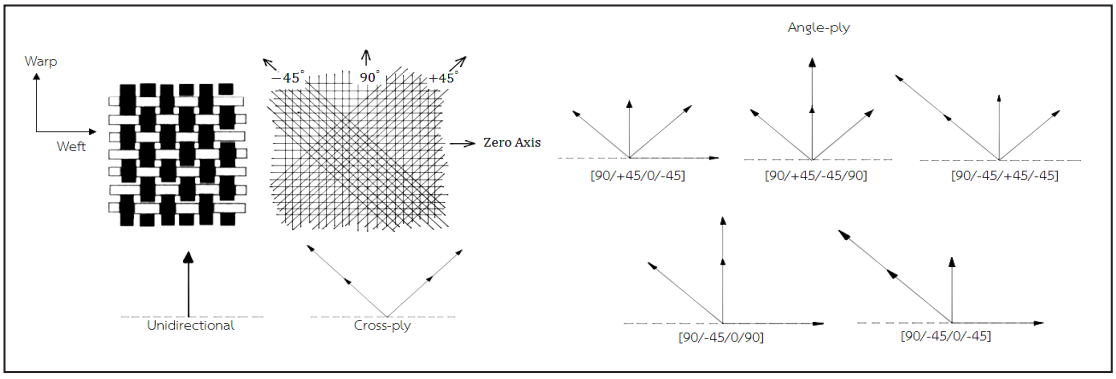
ทิศทางต่าง ๆ ได้แก่ ทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) แบบขวาง (Cross-ply) และแบบมุมสมมาตร (Angle-ply) ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 5 คอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบเลย์อัป (Hand Lay-up Technique)

ตารางที่ 1 แสดงคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ 5 สูตรผ้าผืน ในโพลิเอสเทอร์ อิพอกซีไวนิล/อิพอกซี

Unsaturated polyester resin (SUNDHOMA SMF-7213-CN)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp
Epoxy vinyl ester resin (EPICLON UE-3505P-2)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp
Epoxy (353A-7255B)				
100%Cotton	95%Cotton-5%Pineapple	89%Cotton-11%Pineapple	70%Cotton-30%Pineapple	70%Cotton-30%Hemp



ภาพที่ 6 ทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายหลักแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional), แบบทิศทางขวาง (Cross-ply) และทิศทางจัดวางตัวแบบมุม (Angle-ply) (ดัดแปลงจาก วีระศักดิ์, 2542)

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบสมบัติชิ้นงานตัวอย่าง

1. ศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของผ้าผืนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) Model: JEOL JSM7800F, JAPAN กำลังขยายระหว่าง 50-1000 เท่า

2. ทดสอบความแข็งแรงผ้าผืน (ทิศทางเส้นด้ายพุ่ง และยืน) พร้อมทดสอบคอมโพสิตเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก และความแข็งแรงการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์กับเส้นใย ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile – Stress vs. Strain (from position) Machine Source: H50KS ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM-D5034

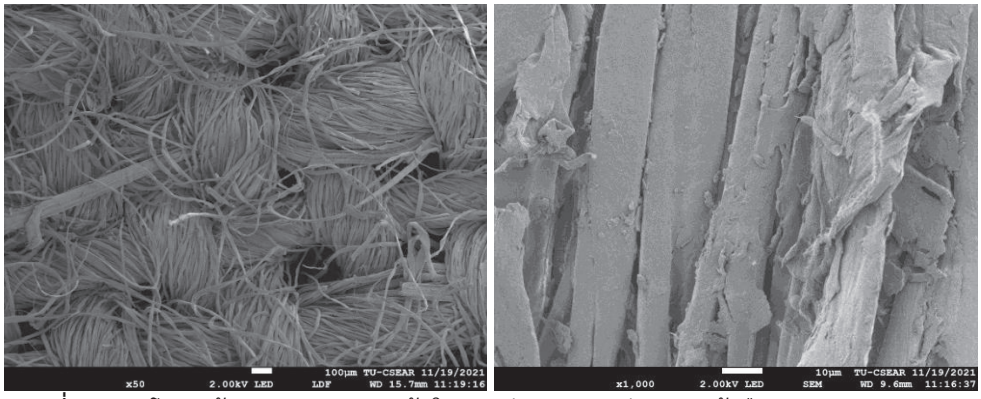
3. หาหมู่ฟังก์ชันของผ้าผืน (70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C) และคอมโพสิตจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ (Unsaturated polyester resin, Epoxy vinyl ester resin และ Epoxy 535A-7255B) ด้วย Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) Model: QATR-S(Dia) ในช่วงความยาวคลื่น 400-4000 ต่อเซนติเมตร

4. ศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าผืน (70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C) ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) Model: DSC 214 ที่อุณหภูมิ -40 ถึง 250 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที

5. ทดสอบความสามารถการต้านการเจาะทะลุ เกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ 0101 ในระดับการทดสอบ 1 และ 2 ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm Full Metal Copper Jacket และ .357 Magnum Jacketed Lead Soft Point 3.

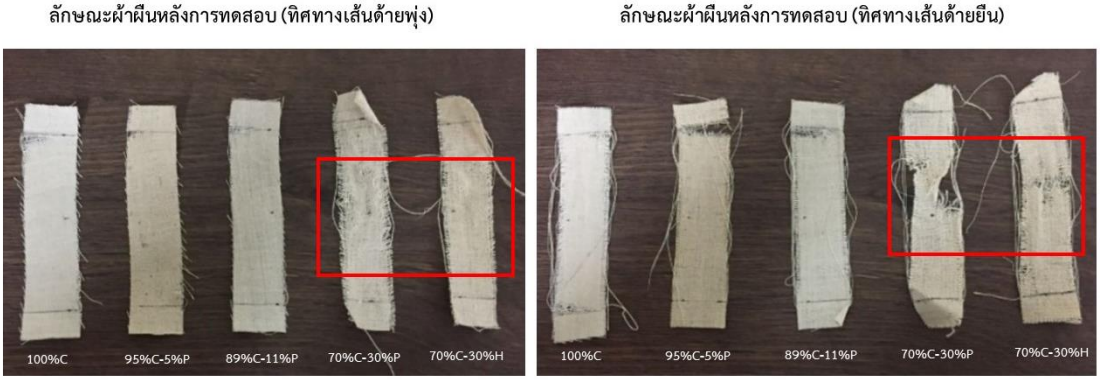
ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางกายภาพ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning electron microscopy (SEM) แสดงดังภาพที่ 7 พบว่าลักษณะการถักทอกันของเส้นด้าย โดยเส้นด้ายยืนวางข้ามเส้นด้ายพุ่งเส้นแรก และลอดใต้เส้นด้ายพุ่งเส้นที่สอง (ภาพที่ 7 ซ้าย) ผ้าผืนที่มีจุดขัดระหว่างเส้นด้ายสูงทำให้ผ้าที่ทอมีความแข็งแรงสูง เส้นด้ายเดี่ยว 1 เส้น ประกอบด้วยเส้นใยธรรมชาติจากฝ้าย/สัปปะรด/กัญชง ซึ่งนำเข้ามารวมกันด้วยวิธีตีเกลียวเพื่อรวมเส้นใยหลายๆ เส้นเป็นเส้นด้ายเดี่ยว 1 เส้น สำหรับทอขึ้นรูปเป็นผ้าผืน และจากการศึกษาลักษณะเส้นด้ายเดี่ยวที่กำลังขยาย 1000 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 7 (ขวา) พบว่าเส้นใยในมีการเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน ลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระ และพบรอยแตก/ฉีกขาด ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนการตีเกลียวเพื่อรวมเส้นด้ายหรือในระหว่างการถักทอเป็นผ้าผืน



ภาพที่ 7 แสดงโครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยและลักษณะการถักทอของผ้าผืนธรรมชาติแบบสองมิติ

2. ผลการทดสอบความแข็งแรงผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ในทิศทางเส้นด้ายยืน และเส้นด้ายพุ่ง ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile – Stress vs. Strain (ASTM-D5034) ชิ้นงานทดสอบถูกดึงด้วยแรงกระทำที่เท่ากัน ด้วยอัตรา 2 มิลลิเมตรต่อนาที โดยให้แรงเข้าไปในตัวชิ้นงานจนถึงจุดฉีกขาด/แตกหัก แสดงดังภาพที่ 8 จากภาพพบว่า ลักษณะการฉีกขาดของผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P มีการฉีกขาดที่บริเวณส่วนจับยึดชิ้นงาน บริเวณส่วนบนและส่วนล่าง ทั้งทิศทางการดึงของเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน ในขณะที่ผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H มีการฉีกขาดที่บริเวณส่วนกลาง แต่ลักษณะความเสียหายหลังการทดสอบ พบว่า การดึงในทิศทางของเส้นด้ายพุ่งดีกว่าทิศทางของเส้นด้ายยืน เนื่องจากมีสัดส่วนของเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชงที่เพิ่มเข้าไปมากกว่าเส้นด้ายยืน ซึ่งมีเพียงเส้นใยจากฝ้ายเท่านั้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความแข็งแรง (Stress vs. Strain) ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 8 ลักษณะการฉีกขาดของผ้าผืนหลังการทดสอบ ทิศทางเส้นด้ายพุ่ง (ซ้าย) และทิศทางเส้นด้ายยืน (ขวา)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึง ผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ (ทิศทางพุ่ง-ยืน)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
100%C (Cotton) – P (Weft)	170	405	15.2
95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) - P (Weft)	86.7	208	13.2
89%C (Cotton)-11%P (Pineapple) - P (Weft)	152	389	10.2
70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) - P (Weft)	227	230	11.2
70%C (Cotton)-30%H (Hemp) - P (Weft)	228	218	11.2
100%C (Cotton) – Y (Warp)	170	254	15.2
95%C (Cotton)-5%P (Pineapple) - Y (Warp)	135	289	12.2
89%C (Cotton)-11%P (Pineapple) - Y (Warp)	162	55.7	13.2
70%C (Cotton)-30%P (Pineapple) - Y (Warp)	128	47.3	31.4
70%C (Cotton)-30%H (Hemp) - Y (Warp)	152	77.8	29.9

ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชง สำหรับเส้นด้ายเดี่ยว (เส้นด้ายพุ่ง) เปรียบเสมือนการสร้างจุดบกพร่อง (Defect) ในผ้าผืน ส่งผลให้ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก (Stress) ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าผืน สูตร 100%C ทั้งเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน แต่ในทางตรงข้ามแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน สำหรับผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H มีมากกว่าผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P ถึง 50% ดังนั้น จุดบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อความแข็งแรงชิ้นงานในทางที่ดีขึ้น/แย่ลง ขึ้นอยู่กับปริมาณเส้นใยที่เพิ่มเข้าไป

ผลการทดสอบการทนแรงดึง คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น ด้วยโพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) สำหรับผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P, 70%C-30%P และ 70%C-30%H ในทิศทางหลักอย่างทิศทางของเส้นด้ายพุ่ง พบว่า คอมโพสิตผ้าผืนในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) สำหรับสูตร 89%C-11%P สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำได้ดีที่สุดในพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน แต่ในทางตรงข้ามแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน สูตร 70%C-30%H มีมากกว่า สูตร 89%C-11%P ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น ในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP 100%C (Cotton)	368	1800	77.2
EP 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	310	2030	77.2
EP 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	382	2370	67.3
EP 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	537	2440	57.5
EP 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	635	2770	47.6
EPR 100%C (Cotton)	375	1460	6.30
EPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	281	1340	7.28
EPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	352	1540	7.28
EPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	492	1820	5.41
EPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	591	2150	7.28
UPR 100%C (Cotton)	418	2020	10.2
UPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	202	1210	5.31
UPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	395	1830	7.28
UPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	542	1760	6.30
UPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	582	1560	5.31

ผลการทดสอบการทนแรงดึงคอมโพสิตเพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการยึดติดระหว่างพอลิเมอร์เมตริกซ์และเส้นใย คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้น ด้วยโพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) สำหรับผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P, 70%C-30%P และ 70%C-30%H ในทิศทางหลักอย่างทิศทางของเส้นด้ายพุ่ง พบว่า คอมโพสิตผ้าผืน สูตร 70%C-30%H ในโพลิเอสเทอร์ ความสามารถในการยึดติดและทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) อีกทั้งแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงานมากกว่าสูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P และ 70%C-30%P ดังแสดงในตารางที่ 3

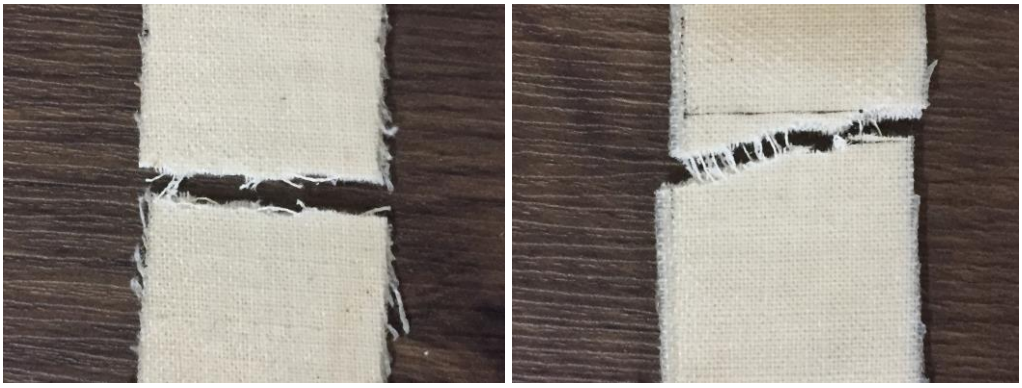
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้น ในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP)

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP/EP 100%C (Cotton)	723	2450	7.36
EP/EP 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	553	2320	5.7
EP/EP 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	703	2940	4.54
EP/EP 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	1170	3090	3.58
EP/EP 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	1170	2960	3.37
EPR/EPR 100%C (Cotton)	798	2000	10.80
EPR/EPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	713	1970	9.69
EPR/EPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	725	1850	6.98
EPR/EPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	903	1850	4.74
EPR/EPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	962	1850	5.14
UPR/UPR 100%C (Cotton)	947	1810	11.2
UPR/UPR 95%C (Cotton)-5%P (Pineapple)	770	1830	2.36
UPR/UPR 89%C (Cotton)-11%P (Pineapple)	927	2190	7.28
UPR/UPR 70%C (Cotton)-30%P (Pineapple)	1400	2500	5.31
UPR/UPR 70%C (Cotton)-30%H (Hemp)	1500	2390	6.30

ผลการทดสอบการทนแรงดึงคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น โพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A-7255B) ด้วยวิธีทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile จากการทดลองพบว่า ลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (A1, A2, A3 และ A5) มีลักษณะฉีกขาดแยกออกจากกันเป็นสองชิ้นชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 9 (ซ้าย) ในขณะที่ทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) การฉีกขาดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังพบเส้นใยบางส่วนเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 9 (ขวา)

คอมโพสิตผ้าผืน สูตร 100%C ในทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (ตารางที่ 4) พบว่า การจัดเรียงตัวเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) และแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงานให้ผลการทดลองที่ดีสุด เมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน หากเปรียบเทียบผลกับลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานหลังการทดสอบ เกิดข้อขัดแย้งขึ้น เนื่องจากการจัดเรียงตัวแบบ Unidirectional พบการฉีกขาดเป็นสองชิ้นส่วนอย่างชัดเจน เนื่องจากชิ้นงานได้รับแรงภายนอก

ที่เข้ามากระทำต่อชิ้นงานพร้อมกันทั้ง 4 ชั้น ทำให้เส้นใยที่เป็นส่วนเสริมแรงเกิดการฉีกขาดทันที ขณะที่การจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) มีการฉีกขาดของชิ้นงานไม่สมบูรณ์ โดยพบว่าชิ้นงานคอมโพสิตในแต่ละชั้นเกิดการกระจายแรงตามทิศทางการจัดเรียงตัวแบบมุมสูงกว่า ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญในการวิจัยเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติในครั้งนี้ เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเทียบ พบว่า การจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบทิศทางการจัดเรียงตัวเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) สูงสุด เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile และเส้นด้ายที่รับแรงโดยตรง คือ เส้นด้ายพุ่ง ซึ่งเป็นทิศทางการทนต่อแรงดึงได้ดีที่สุด และชิ้นงานมีการกระจายตัวของแรงเพียงสองทิศทางเท่านั้น ในขณะที่ การจัดเรียงตัวแบบมุม Angle-Ply (A4) ความสามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำต่ำกว่าการจัดเรียงแบบ Unidirectional ซึ่งแตกต่างเพียงเล็กน้อย (ตารางที่ 4) แต่ลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานไม่สมบูรณ์ อีกทั้งเส้นด้ายพุ่งภายในชิ้นงานมีการกระจายตัวของแรงที่มากกว่า ซึ่งลักษณะพิเศษนี้คือเป้าหมายของงานวิจัยชุดเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติ



ภาพที่ 9 แสดงลักษณะการฉีกขาดคอมโพสิตผ้าผืนแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น ในทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบ Unidirectional, Cross-Ply และ Angle-Ply (A1, A2, A3, A4 และ A5)

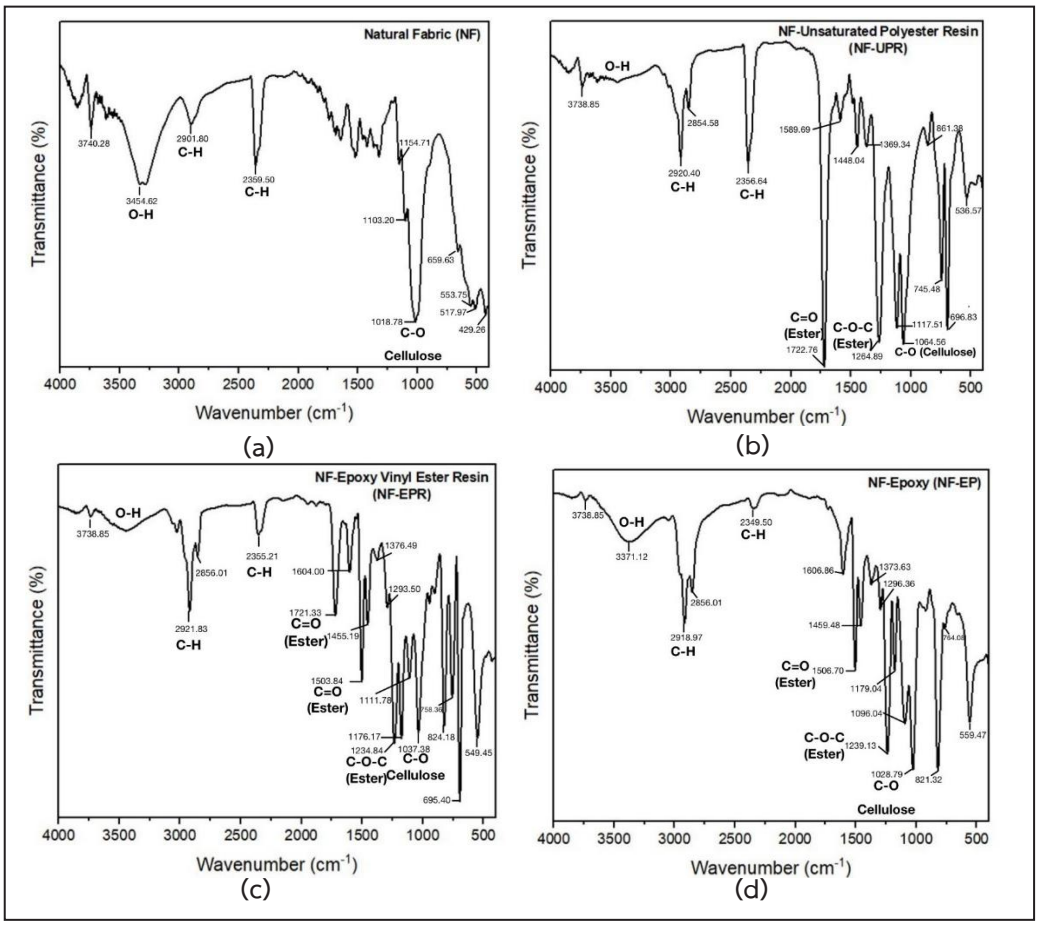
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึงของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น ในโพลิเอสเทอร์ (UPR) อิพอกซี (EPR) และอิพอกซี (EP) สำหรับทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งในทิศทางต่างกัน

Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP - Unidirectional	1830	3120	7.64
EP - Cross-Ply	1770	3000	8.23
EP - Angle-Ply 1	1560	2930	8.72
EP - Angle-Ply 2	1710	3200	8.28
EP - Angle-Ply 3	1410	2800	8.38

ตารางที่ 4 (ต่อ)

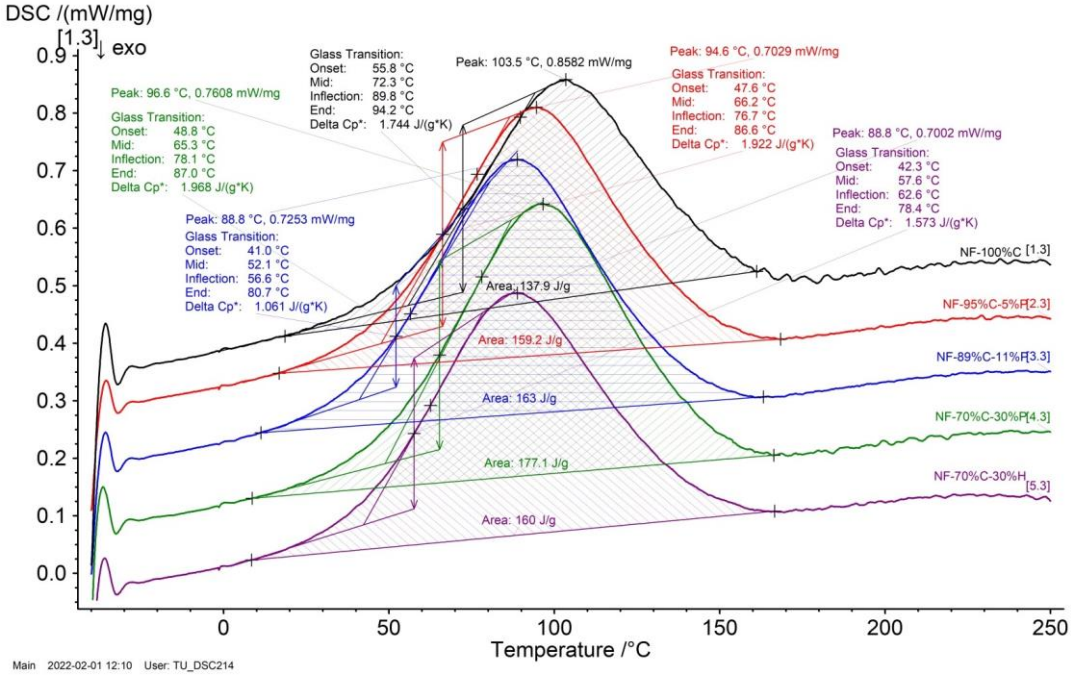
Sample Name	Ultimate Force (N)	Young Modulus (MPa)	Elongation (%)
EP - Angle-Ply 4	1580	2970	7.23
EP - Angle-Ply 5	1460	2940	6.75
EPR - Unidirectional	1940	2030	10.2
EPR - Cross-Ply	1760	2030	10.0
EPR - Angle-Ply 1	1550	2390	10.4
EPR - Angle-Ply 2	1720	2060	10.8
EPR - Angle-Ply 3	1470	1970	12.1
EPR - Angle-Ply 4	1830	2120	11.2
EPR - Angle-Ply 5	1630	2020	12.7
UPR - Unidirectional	2120	2200	10.1
UPR - Cross-Ply	2090	2050	9.34
UPR - Angle-Ply 1	1600	1980	9.24
UPR - Angle-Ply 2	1630	1810	8.26
UPR - Angle-Ply 3	1410	1880	6.82
UPR - Angle-Ply 4	1800	2050	9.46
UPR - Angle-Ply 5	1750	1930	11.4

3. ผลการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันผ้าผืนธรรมชาติ สูตร 70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ในช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 400-4000 ต่อเซนติเมตร จากภาพที่ 10 (a) ผ้าผืนธรรมชาติ (NF) พบหมู่ฟังก์ชัน C-O ของเซลลูโลสที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1018.78 ในขณะที่คอมโพสิต NF-UPR (ภาพที่ 10 b) NF-EPR (ภาพที่ 10 c) และ NF-EP (ภาพที่ 10 d) พบที่ตำแหน่ง 1064.56, 1037.38 และ 1028.79 ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง 1722.76 และ 1264.89 พบหมู่ฟังก์ชัน C=O และ C-O-C เอสเทอร์ สำหรับคอมโพสิตผ้าผืนโพลิเอสเทอร์ (NF-UPR) ในขณะที่อิพอกซี (NF-EPR) พบหมู่ C=O ที่เลขคลื่น 1721.33 และ 1503.84 และพบหมู่ C-O-C ที่ความยาวคลื่น 1234.84 ส่วนอิพอกซี (NF-EP) พบหมู่ C=O ที่ตำแหน่ง 1506.70 และพบหมู่ฟังก์ชัน C-O-C ที่ตำแหน่ง 1239.13



ภาพที่ 10 แสดงสเปกตรัม FTIR ผ้าผืนธรรมชาติ (NF) และคอมโพสิต NF-UPR, NF-EPR และ NF-EP

4. ผลการทดสอบสมบัติทางความร้อน (Thermal Properties) ด้วยเทคนิค Differential scanning calorimetry (DSC) เพื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ (ภาพที่ 11) พบว่า พลังงานความร้อนที่เริ่มผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุจนถึงจุดสูงสุด และมีผลต่อโครงสร้างภายในของเส้นใยในผ้าผืนธรรมชาติ สูตร 100%C อยู่ที่ 103.5 องศาเซลเซียส, 0.8582 mW/mg ในขณะที่ผ้าผืน สูตร 95%Cotton-5% Pineapple, 89%Cotton-11%Pineapple, 70%Cotton-30%Pineapple และ 70%Cotton-30%Hemp พลังงานความร้อนอยู่ที่ 94.6 องศาเซลเซียส (0.7029 mW/mg), 88.8 องศาเซลเซียส (0.7253 mW/mg), 96.6 องศาเซลเซียส (0.7608 mW/mg) และ 88.8 องศาเซลเซียส (0.7002 mW/mg) ตามลำดับ



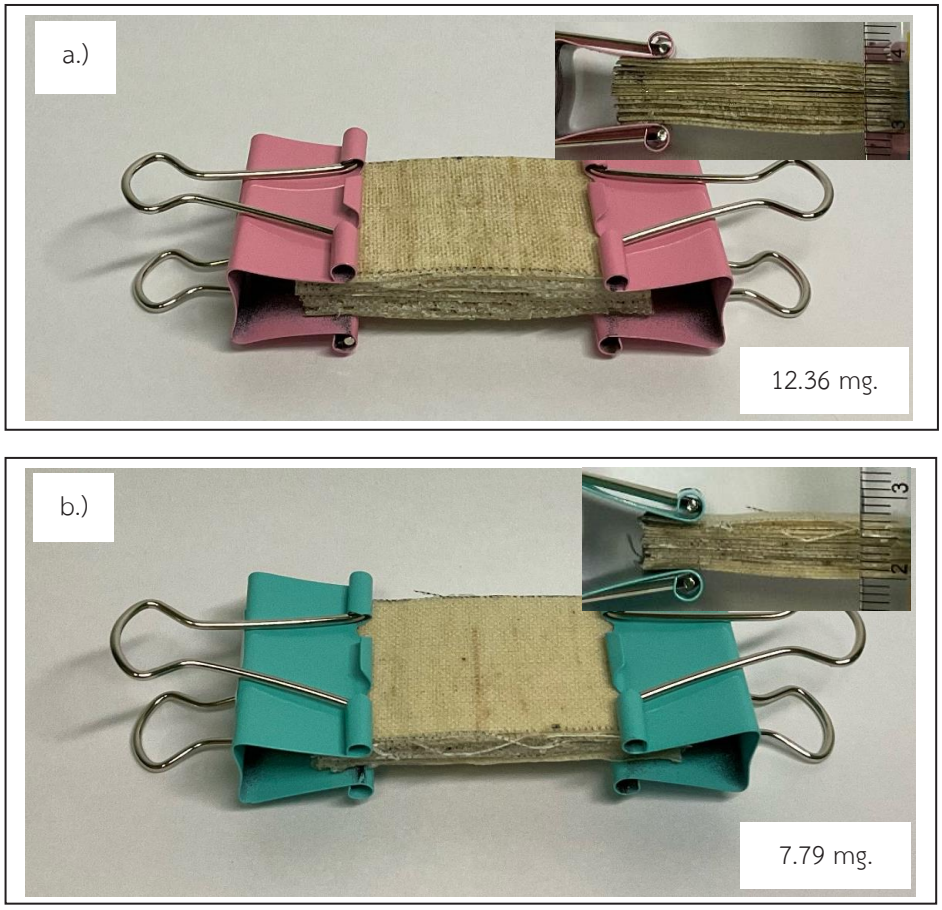
ภาพที่ 11 DSC Curves ผ้าผืน 70%C-30%H, 70%C-30%P, 89%C-11%P, 95%C-5%P และ 100%C

5. การทดสอบความสามารถการต้านการเจาะทะลุ (Ballistic tests) เกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ ตามมาตรฐานการทดสอบ NIJ ในระดับการทดสอบ 1 และ 2 ด้วยกระสุนปืนขนาด 9 mm Full Metal Copper Jacket และ . 357 Magnum Jacketed Lead Soft Point 3.

a. ชิ้นงานขนาดทดสอบ 10x25.4x50.8 มม.^{3} น้ำหนัก 12.36 g หากทำการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการต้านการเจาะทะลุของกระสุนปืน ขนาด 10x200x200 มม.^{3} น้ำหนักอยู่ที่ 383.16 g (สำหรับกรณีผ้าผืน สูตร 70%C-30%P และ 70%C-30%H) ภาพที่ 12 a

b. ชิ้นงานขนาดทดสอบ 7x25.4x50.8 มม.^{3} น้ำหนัก 7.79 g หากทำการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับทดสอบการต้านการเจาะทะลุของกระสุนปืน ขนาด 10x200x200 มม.^{3} น้ำหนักอยู่ที่ 241.49 g (สำหรับกรณีผ้าผืน สูตร 100%C 95%C-5%P และ 89%C-11%P) ภาพที่ 12 b

***หมายเหตุ: การทดสอบการต้านการเจาะทะลุ ชิ้นงานตัวอย่างอยู่ระหว่างการวิจัย



ภาพที่ 12 แสดงชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อเปรียบเทียบน้ำหนักและความหนาของชิ้นงานจากผ้าผืน ทั้ง 5 สูตร

อภิปรายผล

จากผลการทดลอง พบว่า ผ้าผืนที่มีจุดขัดระหว่างเส้นด้ายสูงส่งผลให้ผ้าที่ทอมีความแข็งแรงสูง และจากการศึกษาลักษณะเส้นด้ายเดี่ยวที่กำลังขยาย 1000 เท่า พบว่าภายในเส้นด้ายเดี่ยวมีการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางเดียวกัน ลักษณะพื้นผิวเป็นแบบขรุขระ และพบรอยแตก/ฉีกขาด ซึ่งเป็นผลจากขั้นตอนการตีเกลียวเพื่อรวมเส้นด้ายหรือในระหว่างการถักทอเป็นผ้าผืน สำหรับการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันผ้าผืนธรรมชาติ เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ ด้วยเทคนิค Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ที่ช่วงเลขคลื่น (Wavenumber) 400-4000 ต่อเซนติเมตร ผ้าผืนธรรมชาติ พบหมู่ฟังก์ชัน C-O ของเซลลูโลสที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1018.78 ในขณะที่คอมโพสิตจากพอลิเมอร์เมตริกซ์ พอลิเอสเตอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN), อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) พบที่ตำแหน่ง 1064.56, 1037.38 และ 1028.79 ตามลำดับ

การทดสอบความแข็งแรงผ้าผืนธรรมชาติในทิศทางเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืน ด้วยวิธีการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM-D5034 ด้วยอัตรา 2 มิลลิเมตรต่อนาที พบว่าผ้าผืน

ธรรมชาติ 100%C, 95%C-5%P และ 89%C-11%P มีการฉีกขาดบริเวณส่วนจับยึดชิ้นงาน (บน-ล่าง) ในขณะที่ 70%C-30%P และ 70%C-30%H เกิดการฉีกขาดบริเวณส่วนกลาง การทดสอบความแข็งแรงในทิศทางเส้นด้ายพุ่งดีกว่าทิศทางเส้นด้ายยืน การเพิ่มเส้นใยสัปปะรดและเส้นใยกัญชง สำหรับเส้นด้ายเดี่ยวในทิศทางเส้นด้ายพุ่งเปรียบเสมือนการสร้างจุดบกพร่อง (Defect) ในผ้าผืน ส่งผลให้ความสามารถในการทนต่อแรงภายนอก (Stress) ลดลงเมื่อเทียบกับผ้าผืน สูตร 100%C

การทดสอบความแข็งแรงคอมโพสิตผ้าผืน โพลิเอสเทอร์ (SUNDHOMA SMF-7213-CN) อิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) พบว่า คอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 1 ชั้น 89%C-11%P สามารถทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน ในขณะที่แรงสูงสุดที่ใส่เข้าไป 70%C-30%H มากกว่า ส่วนคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 2 ชั้น สูตร 70%C-30%H ในโพลิเอสเทอร์ ความสามารถในการยึดติดและทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์อย่างอิพอกซี (EPICLON UE-3505P-2) และอิพอกซี (Epoxy 535A) อีกทั้งแรงสูงสุดที่ใส่เข้าไปในชิ้นงาน มีมากกว่าผ้าผืน สูตร 100%C, 95%C-5%P, 89%C-11%P และ 70%C-30%P จากการทดสอบคอมโพสิตผ้าผืนแบบแผ่นเดี่ยว 4 ชั้น พบว่า ลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional), แบบขวาง (Cross-Ply) และแบบมุม (Angle-Ply A1, A2, A3 และ A5) มีลักษณะถูกดึงให้ขาดแยกออกจากกันเป็นสองชิ้นชัดเจน ในขณะที่ลักษณะการฉีกขาดของคอมโพสิตในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) มีการฉีกขาดที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากยังพบเส้นใยบางส่วนยังคงเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงาน

การจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์เมตริกซ์ชนิดเดียวกัน หากเปรียบเทียบผลกับลักษณะการฉีกขาดของชิ้นงานหลังการทดสอบ พบว่าการจัดเรียงตัวของเส้นด้ายพุ่งแบบทิศทางเดียวกัน (Unidirectional) สามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) สูงสุด เนื่องจากเป็นการทดสอบแบบ Flat Specimen Tensile เส้นด้ายพุ่งรับแรงโดยตรง และเป็นทิศทางการทนต่อแรงดึงได้ดีที่สุด ภายในชิ้นงานมีการกระจายแรงเพียงสองทิศทางเท่านั้น ในขณะที่ การจัดเรียงตัวแบบ Angle-Ply (A4) ความสามารถทนต่อแรงภายนอก (Stress) ที่มากระทำต่ำกว่า ซึ่งแตกต่างเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเส้นด้ายพุ่งภายในชิ้นงานมีการกระจายแรงที่มากกว่า ซึ่งเป็นเป้าหมายงานวิจัยเกราะน้ำหนักเบาคอมโพสิตในครั้งนี้

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านการเจาะทะลุของคอมโพสิตผ้าผืนธรรมชาติ 16 ชั้น โดยใช้อาวุธปืนพกสั้น รุ่น SIG Sauer P320 ความเร็ว 1198 ft/s (365 m/s) ด้วยกระสุนปืนจริงขนาด 9 mm Luger โดยชิ้นงานทดสอบถูกวางห่างจากปลายกระบอกปืน เป็นระยะ 5 เมตร คอมโพสิตผ้าผืน (100%C, 70%C-30%P และ 70%C-30%H) ในพอลิเมอร์เมตริกซ์ (Epoxy: 535A) ในทิศทางการจัดเรียงตัวแบบทิศทางเดียว (Unidirectional) และแบบมุมสมมาตร (Angle-Ply) มุมสมมาตรรูปแบบที่ 2 เนื่องจากมีผลการทดสอบการต้านทานต่อแรงดึงภายนอกจากการทดสอบด้วยเทคนิค Flat Specimen Tensile ที่ดี

อีกทั้งเกราะเบาคอมโพสิต 70%C-30%P และ 70%C-30%H น้ำหนักชิ้นงานอยู่ที่ 383.16 g ในขณะที่สูตร 100%C 95%C-5%P และ 89%C-11%P น้ำหนักอยู่ที่ 241.49 g ซึ่งมีน้ำหนักเบามากเมื่อเทียบกับชุด

เกราะที่มีอยู่ในปัจจุบัน สำหรับการวิจัยเกราะเบาคอมโพสิตจากผ้าผืนธรรมชาติสองมิติ นอกจากเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเส้นใยเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้ว ยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและนำเข้าชุดเกราะจากเส้นใยสังเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต และได้รับการสนับสนุนพอลิเมอร์เมตริกซ์ โพลิเอสเทอร์ (Unsaturated polyester resin: SUNDHOMA SMF-7213-CN) และอิพอกซี (Epoxy vinyl ester resin: EPICLON UE-3505P-2) จากบริษัท สยามเคมีคอลอินดัสตรี้ จำกัด และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการทดลองและเครื่องมือทดสอบสมบัติวัสดุคอมโพสิต สามารถทำให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

กุลธร ใจประดิษฐ์. (2561). **เสื้อเกราะกันกระสุนสายพันธุ์ใหม่ (The New Flak Jacket).** [Online]. Available : https://www.mtts.ac.th/mtts2/images/pdf/TheNewFlakJacket.pdf [2565, กุมภาพันธ์ 9].

เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. (2563). **สารสนเทศเศรษฐกิจการเกษตรรายสินค้า ปี 2563.** กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. (2542). **อุตสาหกรรมสิ่งทอไทย.** กรุงเทพฯ : ภาควิชาวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

M. Asim., Khalina Abdan, M. Jawaid, M. Nasir, Zahra Dashtizadeh, M. R. Ishak and M. Enamul Hoque. (2015). A review on pineapple leaves fibre and its composites. **International journal of polymer science, 4**.

Padzil, F.N.M., Ainun, Z.M.A., Naziratulasikin Abu Kassim., Lee, S.H., Hidayah Ariffin & Edi Syams Zainudin. (2020). Chemical, physical and biological treatments of pineapple leaf fibers. **Pineapple Leaf Fibers,** 73-90.

Rodrigo, F.N. et al. (2020). Influence of UV radiation and moisten associated with natural weathering on the ballistic performance of aramid fabric armor. **J Mater Res Technol, 9**(5), 10334-10345.

ฟิล์มเคลือบผิวอ่อนตัวจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่าง-คอนยัคกลูโคแมนแนน : สมบัติทางเคมีกายภาพและลด/ป้องกันการผลิตอะฟลาทอกซินในถั่วลิสง

Active Different Molecular Weight of Chitosan-Konjac Glucomannan Edible Film Coating : Physicochemical and Aflatoxin Binding Properties in Peanuts

อัครชา หาญวัฒนกุล*
Akkaracha Hanwattanakul
อัญญานี โมกกรานต์**
Anyanee Mokkran
ธัญจิรา อินทนาศักดิ์**
Thanjira Intanasak
เบญญา เชิดหิรัญกร***
Benya Cherdhirunkorn
ชิราวุฒิ เพชรเย็น***
Chiravoot Pechyen
สุรเชษฐ์ ตุ้มมี****
Surachet Toommee

Received : February 14, 2022
Revised : June 13, 2022
Accepted : July 21, 2022

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้นำคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานมาใช้เพื่อทำการวิจัยและทดสอบในกระบวนการผลิตฟิล์ม

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Master of Science program students Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
**นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Bachelor of Science program students Materials Science Faculty of Science and Technology Thammasat University
***อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer in Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
****อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Lecturer at Faculty of Industrial Technology Kamphaeng Phet Rajabhat University

ที่สามารถบริโภคได้สำหรับนำมาประยุกต์ใช้ในการเคลือบถั่วลิสงเพื่อลด/ป้องกันการเกิดสารพิษอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้นและอาจส่งผลอันตรายต่อผู้บริโภค ฟิล์มบริโภคได้สามารถเตรียมได้โดยการผสม 1% w/v ของคอนยัคกลูโคแมนแนนกับ 1% w/v ของไคโตซานในสารละลายกรดแอซีติก การรวมไคโตซานลงไปในฟิล์มบริโภคได้มีการใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน 3 ช่วง ดังนี้ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (L-Mw), น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (M-Mw) และน้ำหนักโมเลกุลสูง (H-Mw) จากนั้นเติมกลีเซอรอลที่ทำหน้าที่เป็น พลาสติไซเซอร์ในแต่ละอัตราส่วนของสารผสม สารละลายคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ อัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในโครงสร้างของแผ่นฟิล์มบริโภคได้และสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM) พบว่า ฟิล์ม KGM มีพื้นผิวหยาบและมีความไม่สม่ำเสมอมากที่สุด จากการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer : XRD) พบว่า ในทุกตัวอย่างของฟิล์มจะเกิดพีคกว้างที่ 2θ เท่ากับ 20° เมื่อมีปริมาณของ KGM เพิ่มมากขึ้น และฟิล์ม KGM/CS มีความเข้ากันได้ดียืนยันได้จากการปรากฏหมู่ฟังก์ชัน N-H bending จากการวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer : FTIR) นอกจากนี้ฟิล์ม CS(M-Mw) แสดงค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุด (39.29 MPa) และฟิล์ม KGM/CS(L-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) มีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 17.84 MPa, 15.88 MPa และ 10.33 MPa ตามลำดับ ฟิล์มผสม KGM/CS(L-Mw) แสดงการยับยั้งอะฟลาทอกซินในถั่วลิสงได้ดีที่สุด ดังนั้นการนำสารเคลือบมาประยุกต์ใช้สามารถรักษาคุณภาพของถั่วลิสงเนื่องจากได้รับการประเมินลักษณะทางกายภาพและเคมี ดังนั้นการเคลือบฟิล์มบริโภคได้ซึ่งมีคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน เป็นทางเลือกที่มีแนวโน้มในการควบคุมสารพิษอะฟลาทอกซินที่เกิดจากเชื้อราในถั่วลิสงโดยไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพในการเก็บรักษา

คำสำคัญ : ฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ / คอนยัคกลูโคแมนแนน / ไคโตซาน / อะฟลาทอกซิน / ถั่วลิสง

ABSTRACT

In this study, konjac glucomannan (KGM) and chitosan (CS) are researched and tested in the process of edible film production for consumption purposes applied onto peanuts to reduce/prevent aflatoxins that cause harm to consumers. The edible films were prepared by blending 1% w/v of KGM with 1% w/v of CS in acetic acid aqueous solution. In the preparation stage, the incorporation of chitosan in edible films are used by different molecular weights; (Lower molecular weight of chitosan (L-Mw), Medium molecular weight of chitosan (M-Mw) and Higher molecular weight of chitosan (H-Mw). Then, Glycerol was added as a plasticizer in the mixture ratio. The solutions of konjac glucomannan and chitosan are mixed together with different ratios. The different mixture ratios leads to the change in structure and properties of the films. As a result, scanning electron microscopy (SEM) analysis showed that the surface of

KGM film has the most rough and uneven. X-ray diffractometer (XRD) showed that all of the film samples have a very broad peak at 2θ around 20° when the content of KGM blended into the films increases. The good compatibility of KGM/CS films were confirmed by the presence of N-H bending analyzed by Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR). Furthermore, the CS-M-Mw film shows the maximum tensile strength (39.23 MPa). The KGM/CS-L-Mw, KGM/CS-M-Mw and KGM/CS-H-Mw films were 17.87 MPa, 15.90 MPa and 10.33 MPa, respectively. The KGM/CS-L-Mw film showed the greatest inhibition of aflatoxin produced by fungi in peanuts. Therefore, the application of the tested coatings preserved the quality of peanuts as measured by some physicochemical attributes. From this, composite edible film coatings containing KGM and CS offer a promising alternative to control aflatoxin contamination caused native fungal in peanuts without negatively affecting their quality over storage.

Keywords : Edible Film Coating / Konjac Glucomannan / Chitosan / Aflatoxin / Peanuts

บทนำ

ฟิล์มหรือสารเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้เป็นวัสดุที่สามารถบริโภคได้โดยตรง ทำหน้าที่กีดขวางและป้องกันรวมไปถึงสามารถเพิ่มคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์อาหาร นอกจากนี้ฟิล์มเหล่านี้มักทำมาจากส่วนประกอบที่สามารถบริโภคได้ซึ่งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ชีวภาพ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ฟิล์มโปรตีน เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี คอลลาเจน เป็นต้น ฟิล์มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น เซลลูโลส เพกติน สตาร์ช กัม เป็นต้น และฟิล์มไขมัน เช่น ไขพาราฟิน ไขผึ้ง ไขรำข้าว ไตรกลีเซอไรด์ เป็นต้น (รังสินี, 2559) มีส่วนสำคัญในการย่อยสลายได้ทางชีวภาพและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Trinetta, 2016) การดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันได้ให้ความสำคัญกับการดูแลสุขภาพร่างกายเป็นอย่างมากโดยมีการปรับเปลี่ยนวิธีการบริโภคอาหารที่มีประโยชน์มากขึ้น อาหารที่นิยมรับประทานและเป็นส่วนประกอบในอาหารคาวหวานต่างๆ รวมไปถึงเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่พร้อมรับประทาน คือ ถั่วลิสง ซึ่งถั่วลิสงเป็นพืชตระกูลถั่วอุดมไปด้วยคุณค่าทางสารอาหารที่สูง ซึ่งผู้บริโภคอาจจะไม่ได้สังเกตถึงอันตรายที่แฝงอยู่ในถั่วลิสง ถั่วลิสงมีสารพิษที่เกิดจากเชื้อราชนิดหนึ่งที่มีชื่อเรียกว่า สารอะฟลาทอกซิน เป็นสารพิษที่เชื้อ *Aspergillus flavus* และ *Aspergillus parasiticus* สร้างขึ้น สารพิษอะฟลาทอกซินที่เกิดจากเชื้อราขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในระหว่างการเจริญเติบโตของพืชและการเก็บรักษา (Dhanamjayulu, et al., 2019) ในระยะพัฒนาฝักหรือภายหลังจากการเก็บเกี่ยว ทำให้เชื้อราสายพันธุ์ *Aspergillus* เข้าทำลายได้ง่ายและเกิดการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซิน มักเกิดการปนเปื้อนมากที่สุดในช่วงก่อนทำการเก็บเกี่ยวเนื่องจากเมื่อฝักแก่เต็มที่แล้วจะแตกออกจึงเป็นช่องทางให้เชื้อราสามารถเข้าทำลายได้ง่าย ถั่วลิสงที่มีการปนเปื้อนของสารอะฟลาทอกซินในปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และไม่สามารถบริโภคได้ (Yan, et al., 2021) จึงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงให้สามารถเก็บรักษาได้นานยิ่งขึ้น โดยการเคลือบหรือการห่อหุ้มด้วย

วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ได้จากธรรมชาติ สามารถสัมผัสอาหารได้โดยตรง สามารถรับประทานได้ ดังนั้นจึงได้ทำการพัฒนาฟิล์มเคลือบผิวที่สามารถบริโภคได้ผสมไคโตซานและคอนยัคกลูโคแมนแนน นำมาประยุกต์ใช้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสง ทั้งนี้ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติสามารถสกัดได้จากเปลือกกุ้ง เปลือกปู และกระดองปลาหมึก เป็นต้น มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากมีลักษณะที่ไม่เป็นพิษและปลอดสารก่อภูมิแพ้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรีย (Dong, et al., 2020) โดยกลไกในการยับยั้งเชื้อราของไคโตซานเกิดจากการทำงานระหว่างประจุบวกบนสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานกับประจุลบบนผิวของเชื้อราทำให้เกิดการรั่วไหลของอิเล็กโทรไลต์ (electrolytes) และส่วนประกอบอื่นๆภายในเซลล์ของเชื้อรา ซึ่งเชื่อว่าจะส่งผลต่อรูปร่างของผนังเซลล์ที่ไปรบกวนกระบวนการทำงานของเอนไซม์ทำให้สามารถสามารถชะลอหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ (Dewi and Nur, 2018) นอกจากนี้ไคโตซานยังมีความสามารถในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มที่ดีและสามารถย่อยสลายได้ชีวภาพ สำหรับคอนยัคกลูโคแมนแนนหรือบุกเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากบุกซึ่งมีหัวอยู่ใต้ดิน ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวางในการเตรียมฟิล์มที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพหรือบริโภคได้ เนื่องจากไม่เป็นพิษและยังได้รับการนำไปใช้ในด้านวิทยาศาสตร์ทางอาหาร ชีววิทยาและการแพทย์ เนื่องจากมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูง (Sun, et al., 2020)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเตรียมฟิล์มบริโภคได้จากวัสดุเชิงประกอบคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานโดยใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกัน 3 ช่วงน้ำหนักโมเลกุล ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง และน้ำหนักโมเลกุลสูง ที่จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกล กายภาพและสมบัติในการยับยังเชื้อรา และนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารเคลือบบนถั่วลิสงที่มีโอกาสในการเกิดสารอะฟลาทอกซิน (Aflatoxin) ที่เป็นสาเหตุให้ถั่วมีการเสื่อมเสียทางกายภาพ สามารถลดปริมาณสารอะฟลาทอกซินที่ปนเปื้อนได้ จึงสามารถยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ถั่วลิสงไว้ได้นานขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

ผงบุก (Konjac powder : บริษัท กรุงเทพเคมีจำกัด) ไคโตซาน (Chitosan, Mw = 80-125 kDa, 125-500 kDa and 500-900 kDa, %DD = 90-95% : บริษัท ไบโอ21 จำกัด) กลีเซอรอล (Glycerol, $C_3H_8O_3$) : บริษัท กรุงเทพเคมี จำกัด) กรดแอซีติก (Acetic acid, CH_3COOH 99.7% : บริษัท เอเพกซ์ เคมิเคิล จำกัด) และน้ำขจัดไอออน (Deionized water)

การเตรียมฟิล์มจากคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน

เตรียมสารละลายผงบุก (KGM) ที่ความเข้มข้น 1% w/v ในน้ำ DI นำไปกวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และเตรียมสารละลายไคโตซาน (CS) ที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (L-Mw), น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (M-Mw) และน้ำหนักโมเลกุลสูง (H-Mw) โดยเตรียมไคโตซานแต่ละน้ำหนักโมเลกุลที่ความเข้มข้น 1% w/v ในสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.5% v/v นำไปกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายที่เตรียมได้ทั้งสองมาผสมกันที่อัตราส่วนระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนต่อไคโตซาน [konjac glucomannan(KGM) : chitosan(CS)] เท่ากับ 100:0,

0:100 และ 80:20 โดยมีชื่อของฟิล์มตัวอย่าง ดังนี้ KGM, CS(L-Mw), CS(M-Mw), CS(H-Mw), KGM/CS(L-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) จากนั้นเติมกลีเซอรอล 0.3% v/v เพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ นำไปกวนอีกครั้งจนเข้ากันดีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อได้สารละลายขึ้นรูปฟิล์มแล้วนำมาเทลงบนจานเพาะเชื้อแก้ว ทำให้แห้งโดยการนำเข้าตู้อบลมร้อนที่ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

การเคลือบเมล็ดถั่วลิสงด้วยสารละลายขึ้นรูปฟิล์มบริโภคได้จากคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน

วิธีการเคลือบเมล็ดถั่วลิสงด้วยสารละลายขึ้นรูปฟิล์มบริโภคได้สามารถทำได้ตามวิธีการดังต่อไปนี้ เริ่มต้นจากนำเมล็ดถั่วลิสงแห้งพร้อมเปลือกที่ยังไม่ได้ผ่านการอบ 500 กรัม ใส่ลงไปในสารละลายขึ้นรูปฟิล์มที่เตรียมไว้ที่อัตราส่วนต่างๆให้ทั่วเมล็ดถั่วลิสง จากนั้นเทลงบนตะแกรงสแตนเลสแล้วทำให้แห้งบนจานเพาะเชื้อแก้ว เก็บรักษาตัวอย่างถั่วลิสงไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 14 วัน เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้น

การวิเคราะห์และทดสอบสมบัติของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน

ภายหลังจากการเตรียมฟิล์มและสารละลายเคลือบผิวบริโภคได้จากคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน จะนำฟิล์มที่เตรียมได้มาวิเคราะห์และทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมีและสมบัติอื่นๆ รวมไปถึงเมล็ดถั่วลิสงที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลายขึ้นรูปฟิล์มและเมล็ดถั่วลิสงที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบมาทำการทดสอบ ดังนี้

1. วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (scanning electron microscopy : SEM)

2. วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer : FTIR)

3. วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometer : XRD)

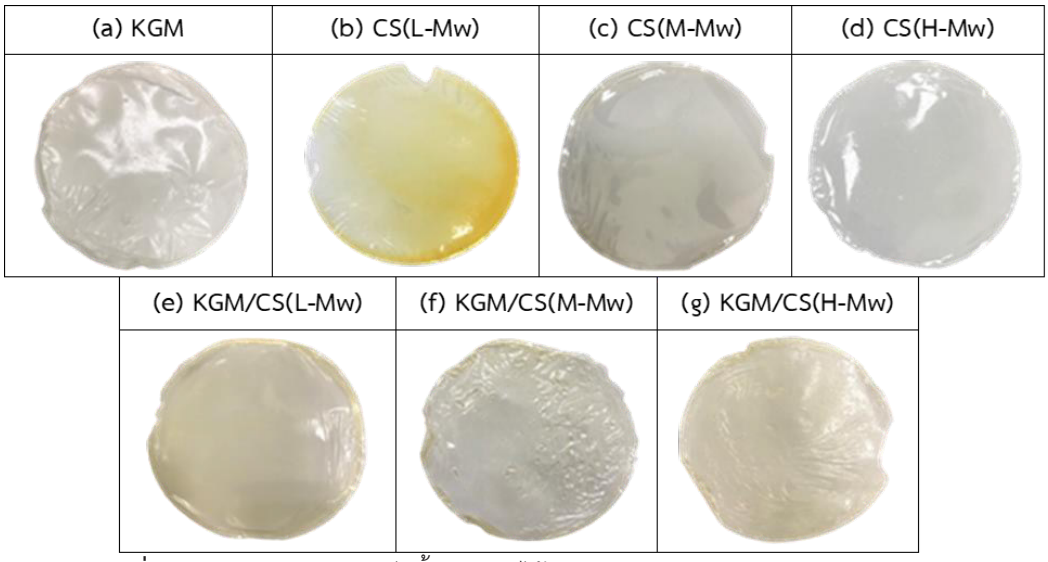
4. วิเคราะห์สมบัติเชิงกลของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน โดยการวิเคราะห์หาค่าความสามารถในการต้านทานแรงดึง (tensile strength), เปอร์เซ็นต์ของการยืด (% elongation, %E) ตามมาตรฐาน ASTM D882

5. วิเคราะห์หาปริมาณของอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้นในถั่วลิสงภายหลังจากการทำการเคลือบด้วยสารขึ้นรูปฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานเทียบกับถั่วลิสงที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ ด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography (HPLC) โดยใช้ fluorescence detector ที่ความยาวคลื่น excitation 360 nm และ emission 440 nm

ผลการวิจัย

1. การเตรียมฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้

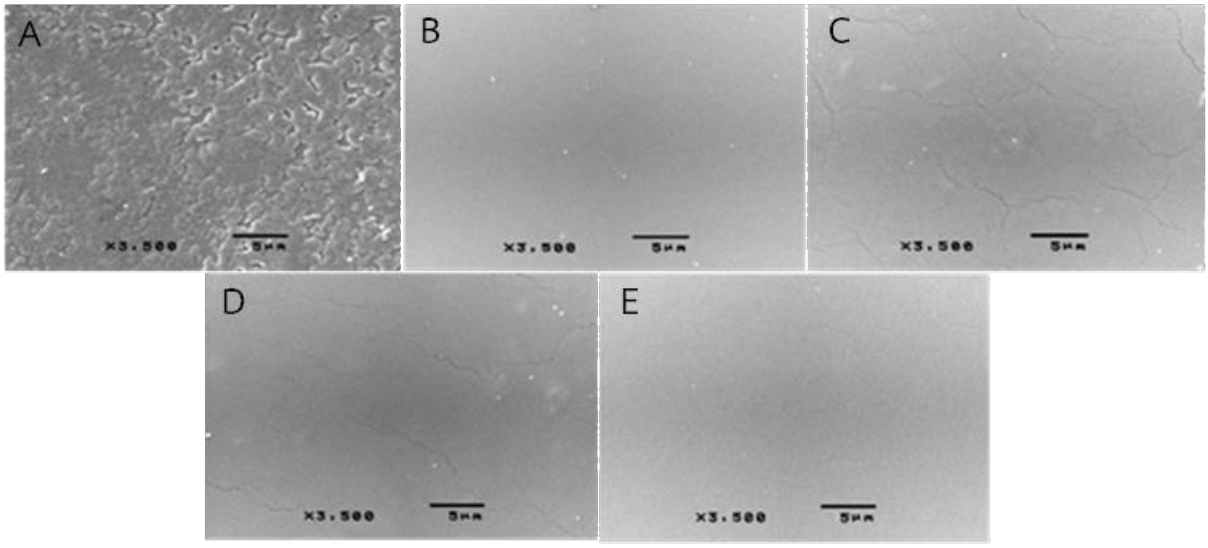
จากการทดลองเตรียมฟิล์มโดยการเตรียมสารละลายคอนยัคกลูโคแมนแนน (KGM) ที่ความเข้มข้น 1% w/v ละลายในน้ำ DI และเตรียมสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน 3 ช่วง ได้แก่ 80 – 125, 125 - 500 และ 500 – 900 kDa ที่ความเข้มข้น 1% w/v ละลายในสารละลายกรดแอซีติกความเข้มข้น 0.5% v/v จากนั้นนำสารละลายทั้งสองชนิดมาผสมกันตามอัตราส่วนที่แตกต่างกัน และเติมกลีเซอรอลที่ความเข้มข้น 0.3% v/v ลงไปในสารละลายเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์และนำไปขึ้นรูปฟิล์มด้วยวิธีการหล่อ (casting method) ดังแสดงในภาพที่ 1 ในการทำการทดลองเตรียมฟิล์มคอนยัคกลูโคแมนแนน ฟิล์มไคโตซาน และฟิล์มผสมระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนกับไคโตซาน พบว่า ฟิล์มในแต่ละอัตราส่วนจะมีเนื้อสัมผัส ความบาง สี ความโปร่งใสที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งลักษณะที่แตกต่างกันของฟิล์มเหล่านี้เกิดจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ (L-Mw), น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (M-Mw) และน้ำหนักโมเลกุลสูง (H-Mw) โดยฟิล์ม CS(L-Mw) ดังภาพที่ 1b มีลักษณะเป็นสีเหลืองและไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสอดคล้องกับการมีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงที่มีค่าต่ำสุด จึงส่งผลให้ฟิล์มมีความเปราะแตกง่ายและทำให้สามารถลอกฟิล์มออกจากภาชนะได้ยากที่สุด ในขณะที่ฟิล์มที่มีการผสมระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนกับไคโตซาน เมื่อไคโตซานมีน้ำโมเลกุลสูงขึ้นจะมีแนวโน้มเกิดรอยที่มีลักษณะคล้ายเส้นใยเพิ่มขึ้นบนผิวของฟิล์ม จึงส่งผลให้ผิวของฟิล์มมีความขรุขระมากขึ้น



ภาพที่ 1 ลักษณะปรากฏของฟิล์มทั้ง 7 ชนิด ได้แก่ (a) KGM; (b); CS(L-Mw); (c) CS(M-Mw) (d) CS(H-Mw); (e) KGM/CS(L-Mw); (f) KGM/CS(M-Mw); (g) KGM/CS(H-Mw)

2. ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้

จากการทดสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มในแต่ละอัตราส่วน แสดงดังภาพที่ 2 พบว่าพื้นผิวของฟิล์ม KGM มีความไม่เรียบ ขรุขระ เนื่องจากสารละลายคอนยัคกลูโคแมนแนนมีความหนืดสูงและเกิดฟองกาศขึ้นในสารละลายระหว่างทำการหล่อขึ้นรูปฟิล์มซึ่งเป็นการยากที่จะกำจัดฟองอากาศออกไป (Yan, et al., 2020) ในขณะที่ฟิล์มไคโตซานค่อนข้างมีความเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ถึงแม้ว่าจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นในระหว่างเตรียมสารละลายและการหล่อขึ้นรูปฟิล์มแต่สามารถกำจัดฟองอากาศออกไปได้ง่ายกว่าสารละลายคอนยัคกลูโคแมนแนน ส่วนพื้นผิวของฟิล์มผสม KGM/CS(L-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) ค่อนข้างมีความเรียบแน่นและมีความเป็นเนื้อเดียวกัน

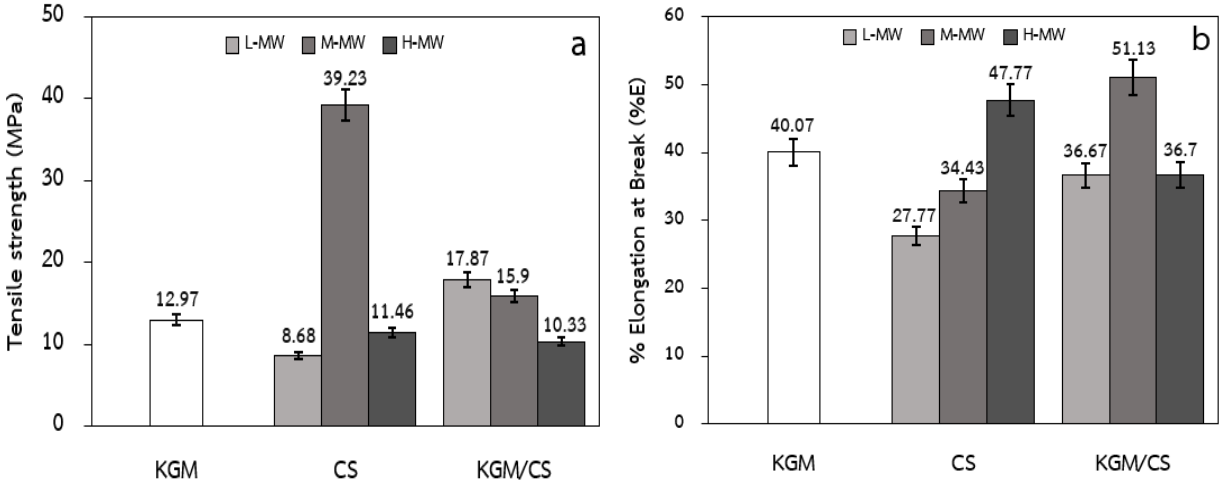


ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ (A) KGM; (B) CS; (C) KGM/CS(L-Mw); (D) KGM/CS(M-Mw); (E) KGM/CS(H-Mw)

3. การทดสอบสมบัติเชิงกลและความหนาของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้

จากการศึกษาความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม KGM, CS(L-Mw), CS(M-Mw), CS(H-Mw), KGM/CS(L-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) แสดงดังภาพที่ 3a และ 3b พบว่า ฟิล์ม CS(M-Mw) มีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงมากที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มอื่น ๆ เนื่องจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีโครงสร้างภายในที่ไม่มีรอยแตก มีความเป็นเนื้อเดียวกันสูง พื้นผิวเรียบและความสม่ำเสมอ ไม่มีฟองกาศหรือรูพรุนเกิดขึ้น ในขณะที่ฟิล์ม KGM/CS(L-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) มีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงลดต่ำลงตามลำดับ จากผล

การทดลอง ฟิล์มไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงต่ำที่สุด แต่เมื่อมีการผสมคอนยัคกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วนระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนต่อไคโตซานเท่ากับ 80 : 20 ทำให้ฟิล์มผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึง (TS) มากกว่าฟิล์มอื่น ๆ เนื่องจากการมีปริมาณของคอนยัคกลูโคแมนแนนเพิ่มขึ้นจะทำให้ฟิล์มผสมมีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงดีขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับการมีอยู่ของพันธะไฮโดรเจนจะทำให้โครงสร้างของฟิล์มมีความเสถียร (Yan, et al., 2020) และที่น้ำหนักโมเลกุลสูงจะทำให้มีค่าของความแข็งแรงที่ต่ำจะมีความเป็นระเบียบต่ำ ซึ่งอาจจะเกี่ยวกับการทำลายโครงสร้างเดิมของไคโตซาน (Alekseeva, et al., 2009) เมื่อค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%E) ลดลง ซึ่งทั้งสองค่านี้เป็นค่าที่สอดคล้องกัน กล่าวคือ ค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงสูงแสดงว่ามีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ความสามารถในการยืดตัวลดต่ำลง เนื่องมาจากการก่อตัวของโครงสร้างที่มีความแน่นมากขึ้น (Bof, et al., 2015) จากการศึกษาผลของการเติมกลีเซอรอล พบว่า กลีเซอรอลที่เติมเข้าไปเพื่อทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์จะทำให้แรงระหว่างโมเลกุลของสายโซ่ของพอลิเมอร์ที่อยู่ใกล้กันอ่อนตัวลง มีปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้นและทำให้ความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงลดลงด้วย (Bourtoom, 2008)

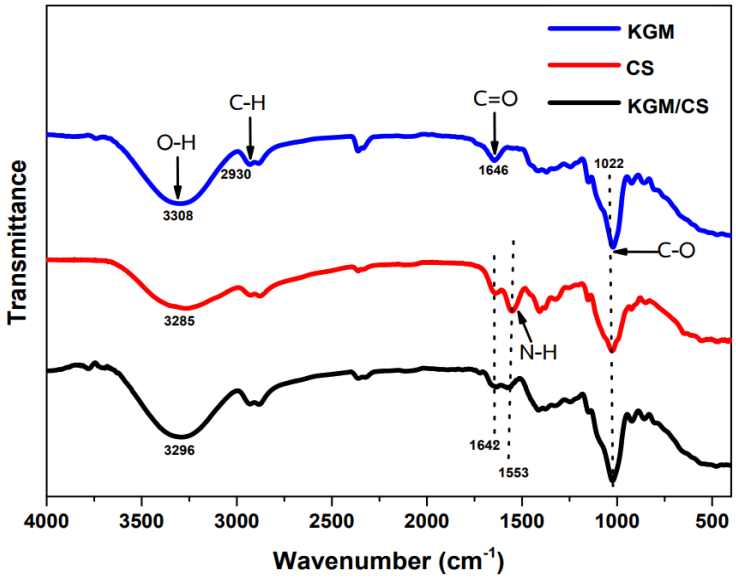


ภาพที่ 3 สมบัติเชิงกลของฟิล์ม KGM, CS และ KGM/CS (a) แสดงค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึง และ (b) แสดงร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของฟิล์ม

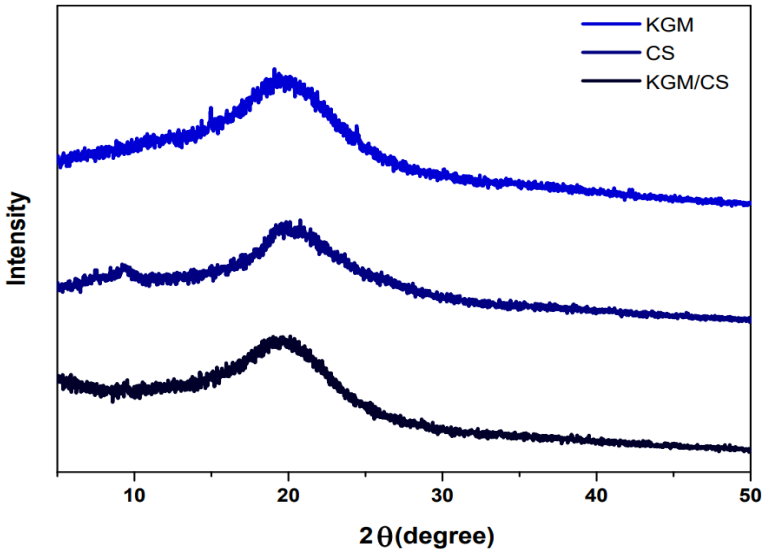
4. การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและโครงสร้างผลึกของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้

วิเคราะห์เอกลักษณะของฟิล์มด้วยเทคนิค FTIR แสดงดังภาพที่ 4 พบว่าฟิล์มคอนยัคกลูโคแมนแนนแสดงการสั่นแบบยืดของหมู่ O-H, C-H, C=O และ C-O ปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 3308 cm^{-1}, 2930 cm^{-1}, 1646 cm^{-1} และ 1022 cm^{-1} ในขณะที่ฟิล์มไคโตซานแสดงการสั่นแบบยืดของหมู่ O-H, C-H, C=O

และ C-O ปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 3273 cm^{-1}, 2930 cm^{-1}, 1642 cm^{-1} และ 1022 cm^{-1} และพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1553 cm^{-1} แสดงการสั่นแบบงอของหมู่ $-NH_2$ (amide) สำหรับฟิล์ม KGM/CS จะพบว่ามีการสั่นแบบงอของหมู่ $-NH_2$ ซึ่งเป็นการยืนยันถึงการมีอยู่ของไคโตซานที่ทำการผสมเข้าไปในสารละลายคอนยัคกลูโคแมนแนน จากการศึกษาของ Ye, et al. (2006) พบว่าฟิล์มที่มีการผสมระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานแถบของการดูดกลืนจะเกิดการเลื่อนตำแหน่งไปที่เลขคลื่นที่ต่ำลงเมื่อมีปริมาณของคอนยัคกลูโคแมนแนนเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างไคโตซานและคอนยัคกลูโคแมนแนน และจากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ด้วยเครื่อง XRD แสดงดังภาพที่ 5 พบว่าฟิล์มคอนยัคกลูโคแมนแนนปรากฏพีคกว้าง (broad peak) ที่ตำแหน่งมุม 2θ ประมาณ 20° และแสดงโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบหรือมีความไม่เป็นผลึก (amorphous) (Wu, et al., 2019) ในขณะที่ฟิล์มไคโตซานปรากฏพีคที่ตำแหน่ง 2θ ประมาณ 9.5° และ 20° ตาม JCPDS Card No. 39-1894 (Sari, et al., 2019) ไคโตซานมีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นกึ่งผลึก (semicrystalline) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นผลึกและไม่เป็นผลึก ในฟิล์มไคโตซานมีแรงภายในโมเลกุลระหว่าง NH^{3+} และหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ในไคโตซานถูกจำกัดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสายโซ่ไคโตซานและทำให้ความเป็นผลึกของไคโตซานลดลง (Mathew, et al., 2006)



ภาพที่ 4 สเปกตรัม FTIR ของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ของ KGM, ฟิล์ม CS และฟิล์ม KGM/CS



ภาพที่ 5 สเปกตรัม XRD ของฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้ของ KGM, ฟิล์ม CS และฟิล์ม KGM/CS

5. วิเคราะห์หาปริมาณของอะฟลาทอกซินที่เกิดขึ้นในถั่วลิสงภายหลังจากการทำการเคลือบด้วยสารขึ้นรูปฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้จากคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซาน

ในขั้นตอนการเตรียมการเคลือบเมล็ดถั่วลิสงจะเตรียมตัวอย่างทั้งหมดดังตารางที่ 1 โดยสารละลายขึ้นรูปฟิล์มจะใช้ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน 3 ช่วง ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ปานกลาง และสูง พบว่าถั่วลิสงที่ทำการเคลือบด้วยสารละลาย CS(L-Mw), CS(M-Mw) และ KGM/CS(L-Mw) ไม่สามารถตรวจพบได้ แสดงว่าไม่มีอะฟลาทอกซินเกิดขึ้นที่เมล็ดถั่วลิสง ในขณะที่เมล็ดถั่วลิสงที่ไม่ได้เคลือบมีปริมาณของอะฟลาทอกซินเกิดขึ้น 1.42 µg/Kg และถั่วลิสงที่ทำการเคลือบด้วยสารละลาย CS(H-Mw), KGM/CS(M-Mw) และ KGM/CS(H-Mw) มีปริมาณของอะฟลาทอกซินเท่ากับ 27.19 µg/Kg, 57.88 µg/Kg และ 11.63 µg/Kg ตามลำดับ ที่ระยะการเก็บรักษา 14 วัน ถั่วลิสงที่เคลือบด้วยสารละลาย CS(H-Mw), KGM/CS(M-Mw) มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ตามประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2551) ตามมาตรฐานเลขที่ มกษ. 4702(G) – 2560 ได้กำหนดปริมาณอะฟลาทอกซินทั้งหมดในเมล็ดถั่วลิสงต้องไม่เกิน 20 µg/Kg และจากการศึกษาอิทธิพลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน พบว่า ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถลดหรือป้องกันอะฟลาทอกซินได้ดีกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยกลไกการยับยั้งเชื้อของไคโตซานเกิดจากการที่ไคโตซานมีหมู่ NH^{3+} เกิดแรงทางไฟฟ้า (electrostatic) กับเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีน รวมไปถึงองค์ประกอบภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้การซึมผ่านของสารมีการเปลี่ยนแปลง เกิดการยับยั้งการจำลองของ DNA จึงทำให้เซลล์ตายในที่สุด (บุญภพ และคนอื่นๆ, 2560) ซึ่งไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะสามารถทะลุไปยังผนังเซลล์เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงสามารถข้ามผ่านไปยังเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ควบคุมการจำลอง DNA จึงทำให้เซลล์ตาย ในขณะที่ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะไม่สามารถซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อราที่เกิดได้ แต่จะสร้างชั้นขึ้นที่ผิวของเชื้อรา (Li, et al., 2010) จึงทำให้ไม่สามารถวัดการกระจายตัวของสารอะฟลาทอกซินได้

โดยทั่วไปแล้วฟิล์มหรือสารเคลือบควรจะมีการผ่านของออกซิเจนและไอน้ำที่ต่ำ เพื่อไม่ให้อาหารสัมผัสกับสภาพแวดล้อมภายนอก (Bourbon, et al., 2011) จึงจะสามารถชะลอการเกิดเชื้อราได้และประสิทธิภาพของไคโตซานที่สามารถทำลายพื้นผิวของผนังเซลล์ที่จะไปรบกวนเอนไซม์ที่ทำให้เชื้อราไม่สามารถเจริญเติบโตได้

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาปริมาณอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงก่อนและหลังเคลือบด้วยสารละลายขึ้นรูปฟิล์มที่สามารถบริโภคได้

ตัวอย่าง	ปริมาณของอะฟลาทอกซิน (µg/Kg)	Limit of detection (LOD): µg/Kg
ไม่ได้เคลือบ	1.42	1.00
CS(L-Mw)	Not detected	1.00
CS(M-Mw)	Not detected	1.00
CS(H-Mw)	27.19	1.00
KGM/CS(L-Mw)	Not detected	1.00
KGM/CS(M-Mw)	57.88	1.00
KGM/CS(H-Mw)	11.63	1.00

อภิปรายผล

จากผลการทดลอง ในการเตรียมฟิล์มเคลือบผิวบริโภคได้จากคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน 3 ช่วง ได้แก่ 80-125 kDa, 125-500 kDa และ 500-900 kDa และนำมาประยุกต์ใช้กับเมล็ดถั่วลิสงเพื่อลดการปนเปื้อนของเชื้อราที่ผลิตสารพิษอะฟลาทอกซิน พบว่า ฟิล์ม CS(M-Mw) มีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดและฟิล์ม CS(L-Mw) มีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงต่ำที่สุด แต่เมื่อมีการผสมคอนยัคกลูโคแมนแนน ในอัตราส่วนระหว่างคอนยัคกลูโคแมนแนนต่อไคโตซานเท่ากับ 80 : 20 ทำให้ฟิล์มผสมคอนยัคกลูโคแมนแนนและไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าความสามารถในการต้านทานต่อแรงดึงมากขึ้น ซึ่งพบว่าน้ำหนักโมเลกุลและอัตราส่วนของคอนยัคกลูโคแมนแนนต่อไคโตซานมีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและสมบัติในด้านอื่นๆ นอกจากนี้ฟิล์ม CS(L-Mw), CS(M-Mw) และ KGM/CS(L-Mw) สามารถลดหรือชะลดการเกิดอะฟลาทอกซินในเมล็ดถั่วลิสงได้ ดังนั้นฟิล์ม KGM/CS(L-Mw) แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมที่ดีกว่าฟิล์มอื่นๆ คอนยัคกลูโคแมนแนนหรือบุกและไคโตซานจึงสามารถนำไปใช้ทำเป็นฟิล์มหรือสารเคลือบที่สามารถบริโภคได้และนำไปประยุกต์ใช้ในการปกป้องอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๔ ผู้รับทุนขอขอบคุณทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ตามสัญญาเลขที่ ทบ 28/2563) และได้รับทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมจากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2565 (ตามสัญญาเลขที่ NRCT-TUGG 5/2565)

เอกสารอ้างอิง

บุญภพ ไชยศรีขวัญ, ณัฐธิดา รักกะเปา, อติพล พัฒิยะ, จรัสลักษณ์ เพชรวัง และอุไรวรรณ วีระพันธ์. (2560). ฤทธิ์และกลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของไคโตซานตลอดจนอนุพันธ์และคอมพอสิตของไคโตซาน. **วารสารวิทยาศาสตร์ มศว, 33**(1), 297-315

ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เรื่อง กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551. (2560, 27 มิถุนายน). ราชกิจจานุเบกษา. เล่มที่ 134.

รังสินี โสธรวิทย์. (2560). **ฟิล์มและสารเคลือบพอลิเมอร์ชีวภาพสำหรับระบบอาหาร**. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Alekseeva, M., Fedoseeva, E., Frolov, V., Nistratov, V. & Smirnova, L. (2009). **The strength of chitosan films. the role of molecular weight, the degree of order, the nature of contre-ion**. (pp. 65-74).

Bof, M.J., Bordagaray, V.C., Locaso, D.E. & García, M.A. (2015). Chitosan molecular weight effect on starch-composite film properties. **Food Hydrocolloids, 51**, 281-294.

Bourbon, A.I., et al. (2011). Physico-chemical characterization of chitosan-based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight. **Journal of Food Engineering, 106**(2), 111-118.

Bourtoom, T. (2008). Plasticizer effect on the properties of biodegradable blend film from rice starch-chitosan. **Songklanakarin Journal of Science and Technology, 30**, 149-165.

Dewi, R. & Nur, R. M. (2018). Antifungal Activity of Chitosan on Aspergillus spp. **International Journal of Bioengineering & Biotechnology, 2**, 24-30.

Dhanamjayulu, P., Boga, R.B. & Mehta, A. (2019). Inhibition of aflatoxin B1 biosynthesis and down regulation of aflR and aflB genes in presence of benzimidazole derivatives without impairing the growth of Aspergillus flavus. **Toxicon, 170**, 60-67.

Dong, C., et al. (2020). Effects of edible chitosan coating on Harbin red sausage storage stability at room temperature. **Meat Sci, 159**, 107919.

Li, X.-f., et al. (2010). Chitosan kills Escherichia coli through damage to be of cell membrane mechanism. **Carbohydrate Polymers, 79**(3), 493-499.

Mathew, S., Brahmakumar, M., & Abraham, T. E. (2006). Microstructural imaging and characterization of the mechanical, chemical, thermal, and swelling properties of starch-chitosan blend films. **Biopolymers, 82**(2), 176-187.

Sari, K., Abraha, K., Roto, R., Mashadi, & Suharyadi, E. (2019). Effect of milling time on microstructures of nano-sized chitosan. **Journal of Physics: Conference Series, 1170**(1), 012058.

Sun, J., Jiang, H., Wu, H., Tong, C., Pang, J. & Wu, C. (2020). Multifunctional bionanocomposite films based on konjac glucomannan/chitosan with nano-ZnO and mulberry anthocyanin extract for active food packaging. **Food Hydrocolloids**, 107.

Trinetta, V. (2016). **Edible Packaging**. In Reference Module in Food Science.

Wu, C., et al. (2019). Preparation and characterization of konjac glucomannan-based bionanocomposite film for active food packaging. **Food Hydrocolloids, 89**, 682-690.

Yan, L., et al. (2021). Effect of non-aflatoxigenic strains of Aspergillus flavus on aflatoxin contamination of pre-harvest peanuts in fields in China. **Oil Crop Science, 6**(2), 81-86.

Yan, Y., et al. (2020). Preparation and characterization of Konjac glucomannan and pullulan composite films for strawberry preservation. **Carbohydrate Polymers, 243**.

Ye, X., Kennedy, J.F., Li, B. & Xie, B.J. (2006). Condensed state structure and biocompatibility of the konjac glucomannan/chitosan blend films. **Carbohydrate Polymers, 64**(4), 532-538.

การวิเคราะห์แบบจำลองข้อมูลเพื่อจำแนกโดเมน DGA และ Legitimate จากผู้ประสงค์ร้ายในการเข้าใช้อินเทอร์เน็ต

Analysis of Data Model to Distinguish DGA and Legitimate Domains from Malicious Person Accessing the Internet

สุกฤษฎิ์ สรหงษ์*
Sugrid Sorrahong
อรรถพล ป้อมสถิตย์**
Auttapon Pomsathit
บุญเรือง เกิดอรุณเดช***
Boonruang Kerdaroondej

Received : February 17, 2022
Revised : April 7, 2022
Accepted : July 25, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอแนวทางในการนำวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบมีผู้สอน (Supervised Machine Learning) มาใช้ในการวิเคราะห์ และจำแนกประเภท (Classification) ระหว่างชื่อโดเมนที่ถูกต้อง (Legitimate Domain Name) และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน (Domain Generation Algorithms: DGA) โดยนำรูปแบบในการตัดสินของมนุษย์มากำหนดเป็นแอตทริบิว (Attribute) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ เช่น ความยาวของชื่อโดเมน จำนวนตัวอักษรและตัวเลขที่ถูกนำมาประกอบในชื่อโดเมน (Domain Name) จำนวนคำที่มีความหมายที่อยู่ในชื่อโดเมน และจำนวนคำที่สามารถอ่านออกเสียงได้ที่อยู่ใน

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต
Master of Science Program in Cybersecurity Management College of Digital Innovation Technology, Rangsit University
**อาจารย์หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต
Lecturer in Master of Science Program in Cybersecurity Management College of Digital Innovation Technology, Rangsit University
***ผู้เชี่ยวชาญด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาพฤติกรรม และระบบสารสนเทศ, กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ, กระทรวงสาธารณสุข
Consultant and Expert in Strategy, Behavior Modification, Information Technology, Department of Service Support, Ministry of Public Health

ชื่อโดเมน เป็นต้น โดยนำตัวอย่างชื่อโดเมนที่ถูกต้อง จำนวน 50,000 รายการ และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึม สำหรับสร้างโดเมน จำนวน 50,000 รายการ รวมทั้งสิ้น 100,000 รายการ เป็นข้อมูลตั้งต้นเพื่อป้อนให้กับแบบจำลองต้นไม้การตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย (Classification and Regression Tree: CART) แบ่งเป็นชุดข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Data) จำนวน 70% และชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Data) จำนวน 30% โดยใช้ภาษาไพทอน (Python) และชุดคำสั่งที่สำคัญ (Library) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ เมื่อวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ หลังจากปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยวิธีการตัดกิ่งในขณะเรียนรู้ (Pre Pruning) โดยใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) พบว่าแบบจำลองสามารถจำแนกประเภทระหว่างระหว่างชื่อโดเมนที่ถูกต้อง และ ชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) 97.25% ความแม่นยำ (Precision) 96.25% ค่าการระลึกได้ (Recall) 97.25% และค่าเฉลี่ย Harmonic Mean (F1 Score) 96.75%

คำสำคัญ : การเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบมีผู้สอน / ชื่อโดเมน / อัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน / ต้นไม้การตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย

ABSTRACT

This research proposed an approach to applying Supervised Machine Learning methods to the analysis and classification between legitimate domain names and domain names generated by Domain Generation Algorithms (DGA). By human decision-making methods to define attributes in domain names analysis. For instance, the length of a domain name, the number of letters and numbers that are components of a domain name, the number of meaningful words in a domain name, and the number of pronounceable words in a domain name. The population of huge domain names consists of 50,000 legitimate domain names and 50,000 DGA. Then are split into 70% training datasets and 30% testing datasets before being fed into the classification and regression tree model (CART) using Python and Libraries. After improving the efficiency of the model with the pre-pruning method and evaluating the performance of the model with the confusion matrix, the decision tree model classifies between legitimate domain names and DGA more efficiently, which provides accuracy is 97.25%, precision is 96.25%, recall is 97.25%, and F1 score is 96.75%.

Keywords : Supervised Machine Learning / Domain Name / Domain Generation Algorithms (DGA) / Classification and Regression Tree (CART)

บทนำ

ปัจจุบัน ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นระบบที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาของประเทศในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านความมั่นคง เศรษฐกิจ และสังคม มีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนขององค์กรในหลายมิติให้สำเร็จลุล่วงได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ และในขณะเดียวกันมีผู้ไม่ประสงค์ดีได้นำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้เป็นเครื่องมือสำหรับโจมตีระบบอื่นๆ ส่งผลให้ไม่สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง (Integrity) สูญเสียข้อมูลที่เป็นความลับ (Confidentiality) หรือแม้กระทั่งถูกระงับการให้บริการ (Availability) เหล่านี้ล้วนเป็นภัยคุกคามที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบเทคโนโลยีสารสนเทศขององค์กรทั้งสิ้น ขณะนี้มีภัยคุกคามในรูปแบบต่างๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก และมีแนวโน้มที่จะทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลการจัดอันดับภัยคุกคามทางไซเบอร์ที่แสดงในเอกสาร ENISA Threat Landscape 15 Top Threats in 2020 (The European Union Agency for Cybersecurity, 2020) เผยแพร่โดยหน่วยงาน The European Union Agency for Cybersecurity (ENISA) ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับงานด้านความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ในสหภาพยุโรป พบว่าภัยคุกคามทางไซเบอร์ 3 อันดับแรก คือ 1. มัลแวร์ (Malware) 2. การโจมตีเว็บไซต์ (Web-based attacks) และ 3. ฟิชชิ่ง (Phishing) โดยเฉพาะอย่างยิ่งมัลแวร์ ซึ่งถูกจัดอันดับให้เป็นภัยคุกคามทางไซเบอร์อันดับที่ 1 นั้น มักถูกพบว่ามีการนำอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน (Domain Generation Algorithms: DGA) มาใช้เป็นเครื่องมือในการโจมตีระบบเทคโนโลยีสารสนเทศต่างๆ ร่วมกับมัลแวร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้อัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมนในการปิดบังช่องทางที่แท้จริงที่ผู้ไม่ประสงค์ดีใช้ในการรับและส่งข้อมูล รวมถึงใช้ในการโจมตี ด้วยเหตุนี้ อัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน จึงเปรียบเสมือนภัยคุกคามทางไซเบอร์รูปแบบหนึ่งที่องค์กรควรให้ความสำคัญในการตรวจสอบ และเตรียมการรับมือ เพื่อลดความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับข้อมูล และระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีความสำคัญขององค์กร

อัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน เป็นขั้นตอนหรือวิธีการหนึ่งที่ผู้ไม่ประสงค์ดีมักนำมาใช้งานร่วมกับมัลแวร์เพื่อซ่อนพรางชื่อโดเมน (Domain Name) ที่แท้จริง ที่ผู้ไม่ประสงค์ดีได้จดทะเบียนไว้สำหรับใช้เป็นช่องทางในการติดต่อย้อนกลับ (Call back) ไปยังเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมและสั่งการ (Command and Control: C2) (Chowdhury, 2019) โดยการสร้างชื่อโดเมนออกมาอย่างต่อเนื่องเป็นจำนวนมาก ด้วยวิธีการสุ่มอย่างมีรูปแบบ ซึ่งล้วนเป็นชื่อโดเมนที่ไม่สามารถจดจำ หรือทำความเข้าใจได้โดยง่าย เช่น nlik88f8hokpv81g.com และ 1tobh33u4gyfuu6o7mz12j7v08.com เป็นต้น หลังจากที่ระบบหรือเครื่องของเป้าหมายติดเชื้อมัลแวร์ จะส่งข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการติดต่อย้อนกลับระหว่างระบบหรือเครื่องเป้าหมายที่ติดเชื้อ กับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมและสั่งการออกไปตามรายชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นทั้งหมด ซึ่งผู้ไม่ประสงค์ดีได้นำรายชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นด้วยวิธีการดังกล่าวบางส่วนไปจดทะเบียนเพื่อรับหมายเลขที่อยู่บนระบบเครือข่าย (IP Address) รอไว้ก่อนหน้า โดยนำไปใช้งานร่วมกับเครื่องเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้สำหรับควบคุมและสั่งการ เพื่อรอการติดต่อย้อนกลับจากระบบหรือเครื่องเป้าหมายที่ติดเชื้อ หากมีรายชื่อโดเมน หรือหมายเลขที่อยู่บนระบบเครือข่ายรายการใดถูกตรวจพบ และถูกปิดกั้นการเชื่อมต่อ (Blocked) ผู้ไม่ประสงค์ดีสามารถนำรายชื่อโดเมนอื่นที่ได้จดทะเบียนไว้มาใช้ในการโจมตีต่อเนื่องได้ทันที จะเห็นได้ว่ากระบวนการดังกล่าวสร้างความ

ยากลำบากในการตรวจสอบเพื่อหารายชื่อโดเมนที่ใช้ในการโจมตีจริงเพียงไม่กี่รายการ จากรายชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นจำนวนมากนี้ ส่งผลให้ผู้ดูแลระบบไม่สามารถป้องกัน หรือยับยั้งการเชื่อมต่อที่เป็นภัยคุกคามนี้ได้อย่างทันท่วงที

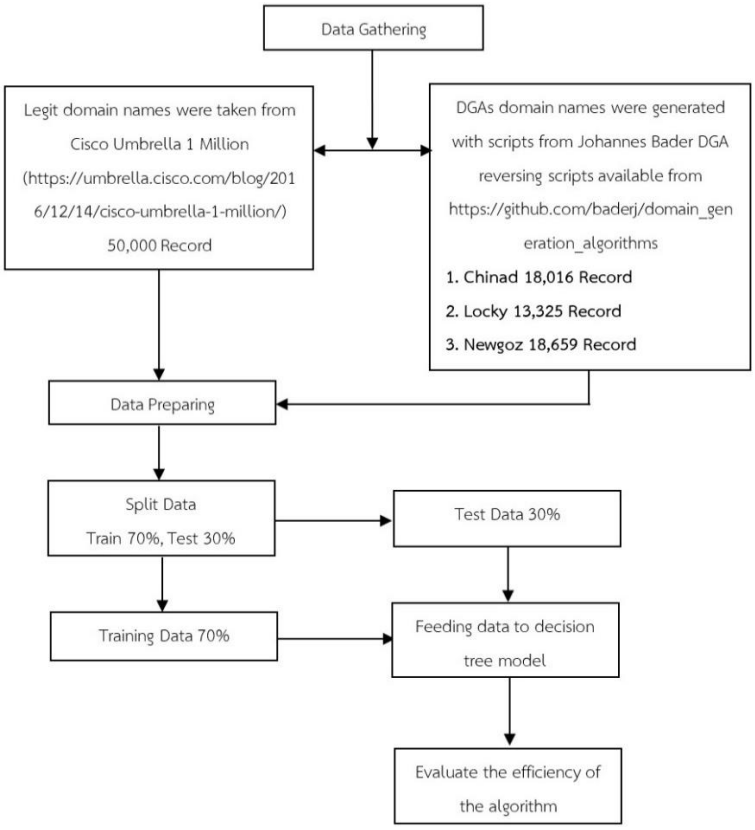
งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอเกี่ยวกับแนวทางในการนำวิธีการเรียนรู้ของเครื่องจักรแบบมีผู้สอน (Supervised Machine Learning) (G.P., R., S., & Gladston, 2020) มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ และจัดหมวดหมู่ (Classification) ชื่อโดเมน โดยนำรูปแบบในการตัดสินใจแบบมนุษย์มาป้อนให้กับเครื่องจักรได้นำไปเรียนรู้เพื่อหาความสัมพันธ์ จดจำรูปแบบ และลักษณะของชื่อโดเมนในแต่ละประเภท เช่น ความยาวของชื่อโดเมน จำนวนตัวอักษรและตัวเลขที่ถูกนำมาประกอบในชื่อโดเมน ความหมายของคำในชื่อโดเมน และความสามารถในการอ่านออกเสียงของคำในชื่อโดเมน โดยการนำตัวอย่างชื่อโดเมนที่อยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยชื่อโดเมนที่ถูกต้อง (Legitimate Domain Name) และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมนเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ โดยใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) ในการประมวลผลเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะหรือรูปแบบที่ใช้ในการจัดหมวดหมู่หรือแยกประเภท รวมไปถึงการทำนายรูปแบบ (Prediction) ระหว่างชื่อโดเมนที่ถูกต้อง และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ จำนวนทั้งสิ้น 5 ขั้นตอน ประกอบด้วย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล
2. การจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้อง
3. การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์
4. การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกประเภทโดยใช้กระบวนการต้นไม้ตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย (Classification and Regression Tree: CART) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล
5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

จากขั้นตอนทั้งหมดสามารถนำมาสรุปเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยได้ดังนี้



ภาพที่ 1 แสดงผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย รายชื่อโดเมนที่ถูกต้อง (Legitimate Domain Name) จากโครงการ Cisco Umbrella 1 Million (Hubbard, 2016) มาใช้ในการวิจัย โดยข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วยรายชื่อโดเมน (Domain Name) ที่ได้รับความนิยมสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในขณะที่ท่องเว็บไซต์ จำนวน 1,000,000 รายชื่อ ซึ่งผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการปรับลดรายชื่อโดเมนสำหรับนำมาใช้ในการวิจัยลงเหลือเพียง 50,000 รายชื่อ และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน (Domain Generation Algorithms: DGA) จากฐานข้อมูล GitHub โดย Johannes Bader ในหัวข้อ “domain_generation_algorithms” (Bader, 2015) ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทำกระบวนการย้อนกลับ กับรายชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน จำนวน 47 รูปแบบ โดยผู้ดำเนินการวิจัยได้เลือกข้อมูลชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมนที่มักถูกพบว่ามีการนำมาใช้งานร่วมกันอยู่บ่อยครั้ง เพื่อนำมาใช้ในการวิจัย จำนวน 3 รูปแบบ ได้แก่ Chinad จำนวน 18,016 รายการ Locky จำนวน 13,325 รายการ และ Newgoz จำนวน 18,659 รายการ รวมทั้งสิ้น 100,000 รายการ

2. การจัดเตรียมข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ถูกต้อง (กุญแจสำคัญ)

การที่เครื่องคอมพิวเตอร์จะสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลได้ โดยนำรูปแบบในการตัดสินใจของมนุษย์มาป้อนให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้เรียนรู้ และนำไปใช้ในการวิเคราะห์นั้น ข้อมูลจะต้องถูกแปลงให้อยู่ในรูปแบบที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจได้เสียก่อน ซึ่งขั้นตอนนี้ถือเป็นกุญแจที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดคุณลักษณะของแอตทริบิว (Attribute) เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับป้อนให้กับแบบจำลองในการจำแนกประเภทของอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน ประกอบด้วย 2.1 การกำหนดชื่อแอตทริบิวและค่าที่ใช้ในการประมวลผล และ 2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning)

2.1 การกำหนดชื่อแอตทริบิวและค่าที่ใช้ในการประมวลผล โดยการนำชุดคำสั่งที่สำคัญ (Library) ในภาษาไพธอน (Python) เช่น 1) Tldextract 2) Nltk_word 3) Pronouncing และ 4) Wordsegment มาใช้การประมวลผลเพื่อทำการกำหนดค่าให้กับแอตทริบิวต่างๆ จำนวนทั้งสิ้น 12 ตัว ได้แก่ subdomain, maindomain, length, word_length, num_length, pronouncing, pronounce_elements, can_pronounce, in_dict, word_elements, elements และ elements_indict โดยขอยกตัวอย่างชื่อโดเมน “www.flightradar24.com” เพื่อใช้สำหรับประกอบการทำความเข้าใจการใช้งานชุดคำสั่ง เพื่อกำหนดค่าให้กับแอตทริบิวที่สำคัญ ดังนี้

1) Tldextract ทำหน้าที่วิเคราะห์ชื่อโดเมน เพื่อทำการแยกโดเมนในระดับสูงสุด (Top Level Domain: TLD) ออกจากโดเมนย่อย (Subdomain) และส่วนต่อท้าย (Suffix) จากตัวอย่างข้างต้นเมื่อผ่านการประมวลผลโดยการใช้ Tldextract Library (Kurkowski, 2020) จะได้ผลเป็น Subdomain = ‘www’, Domain = ‘flightradar24’, Suffix = ‘com’ ดังนั้นแอตทริบิว subdomain จะมีค่า = ‘www’ และแอตทริบิว maindomain จะมีค่า = ‘flightradar 24’ ส่วนแอตทริบิว length หาค่าได้จากการนับจำนวนตัวอักษรและตัวเลขของแอตทริบิว maindomain รวมกัน = 13 ตัว แอตทริบิว word_length หาค่าได้จากการนับค่าจำนวนตัวอักษรของแอตทริบิว maindomain มีค่า = 11 ตัว และแอตทริบิว num_length หาค่าได้จากการนับค่าจำนวนตัวเลขของแอตทริบิว maindomain มีค่า = 2 ตัว

2) Pronouncing ทำหน้าที่วิเคราะห์ชื่อโดเมน ในที่นี้คือแอตทริบิว maindomain เพื่อตรวจสอบความสามารถในการอ่านออกเสียงของคำที่ถูกนำมาตั้งเป็นชื่อโดเมนว่าเป็นคำที่สามารถอ่านออกเสียงได้หรือไม่ จากตัวอย่างข้างต้นเมื่อผ่านการประมวลผลโดยการใช้ Pronouncing Library (Parrish, 2015) จะได้ผลเป็น [['F L AY1 T'], ['R EY1 D AA2 R'], []] ดังนั้นแอตทริบิว pronouncing จะมีค่า = [['F L AY1 T'], ['R EY1 D AA2 R'], []] จากนั้นแอตทริบิว pronounce_elements จะเก็บค่าที่ได้จากการนับจำนวนสมาชิกทั้งหมดที่ pronouncing เก็บไว้ = 3 ตัว และแอตทริบิว can_pronounce จะเก็บเฉพาะค่าของจำนวนสมาชิกที่สามารถอ่านออกเสียงจริงๆ เท่านั้น ซึ่งมีจำนวน = 2 ตัว

3) Nltk_word ทำหน้าที่วิเคราะห์ชื่อโดเมน เพื่อทำการตรวจสอบชื่อโดเมนหลัก (maindomain) ที่ยังไม่ผ่านการสกัดคำไปตรวจสอบกับฐานข้อมูลพจนานุกรม (ภาษาอังกฤษ) ที่บรรจุอยู่ใน

nltk.corpus โดยการใช้ nltk_word Library (Bird, Klein, & Loper, 2009, pp.261-289) ในการตรวจสอบจากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่า flightradar24 เป็นคำที่ไม่มีอยู่ในพจนานุกรม ดังนั้น in_dict จะมีค่า = 0

4) Wordsegment ทำหน้าที่สกัดคำออกมาจากชื่อโดเมนหลัก จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่า flightradar24 หลังจากผ่านการประมวลผลโดยการใช้ wordsegment Library (Jenks, 2018) จะได้ผลเป็น ['flight', 'radar', '24'] ดังนั้นตัวแปร word_element จะมีค่า = ['flight', 'radar', '24'] โดยแอตทริบิว elements จะเก็บค่าที่ได้จากการนับจำนวนสมาชิกทั้งหมดที่ word_element ซึ่งมีค่า = 3 และแอตทริบิว elements_indict จะเก็บค่าจำนวนคำที่สามารถสกัดออกมาจากชื่อโดเมนหลัก และเป็นคำที่มีอยู่ในพจนานุกรม ซึ่งมีค่า = 2

เมื่อดำเนินการกำหนดชื่อแอตทริบิวและค่าที่ใช้ในการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วจะได้ไฟล์นามสกุล “.CSV” ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 2

class_type	domain	subclass_type	subdomain	maindomain	length	word_length	num_length	pronouncing	pronounce_elements	can_pronounce	in_dict	word_elements	elements	elements_indict
legit	google.com	legit	www	google	6	6	0	[['G UW1 G AH0 L']]	1	1	0	['google']	1	0
legit	www.google.com	legit	www	google	6	6	0	[['G UW1 G AH0 L']]	1	1	0	['google']	1	0
legit	microsoft.com	legit	www	microsoft	9	9	0	[['M AY1 K R OW2 S AO1 F T']]	1	1	0	['microsoft']	1	0
dga	3jep1yaj1qxty3zizw13h3lmm.org	newgoz	www	3jep1yaj1qxty3zizw13h3lmm	25	18	7	[[], ['M']]	2	1	0	['3jep1yaj1qxty3zizw13h3l', 'mm']	2	0
dga	bz2fi81j9u5g97ibjymsezz1b.com	newgoz	www	bz2fi81j9u5g97ibjymsezz1b	25	17	8	[[], ['B IY1']]	2	1	0	['bz2fi81j9u5g97ibjymsezz1', 'b']	2	1
dga	1f9fxz41eo9bn3h5q4fp14vqxus.net	newgoz	www	1f9fxz41eo9bn3h5q4fp14vqxus	27	17	10	[[], ['EH1 K S'], ['AH1 S', 'Y UW2	3	2	0	['1f9fxz41eo9bn3h5q4fp14vq', 'x', 'us']	3	2
dga	5h9vh5oqp2699oi2.ru	chinad	www	5h9vh5oqp2699oi2	16	8	8	[[]]	1	0	0	['5h9vh5oqp2699oi2']	1	0
dga	you0krwoykp75dmg.biz	chinad	www	you0krwoykp75dmg	16	13	3	[['Y UW1'], []]	2	1	0	['you', '0krwoykp75dmg']	2	1
dga	7panmowwofbyytfe.net	chinad	www	7panmowwofbyytfe	16	15	1	[[]]	1	0	0	['7panmowwofbyytfe']	1	0
dga	bosevbyjjvvlno.xyz	locky	www	bosevbyjjvvlno	14	14	0	[[]]	1	0	0	['bosevbyjjvvlno']	1	0
dga	xmlmwax.click	locky	www	xmlmwax	7	7	0	[['EH2 K S EH2 M EH1 L'], []]	2	1	0	['xml', 'mwax']	2	0
dga	akuuwmmu.ru	locky	www	akuuwmmu	8	8	0	[[], [], []]	3	0	0	['aku', 'uw', 'mmu']	3	1

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างข้อมูลหลังจากผ่านการประมวล เพื่อระบุค่าให้กับแอตทริบิว (Attribute) เสร็จสิ้นแล้ว

2.2 การทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) โดยการนำข้อมูลที่ผ่านกระบวนการกำหนดชื่อแอตทริบิวและค่าที่ใช้ในการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วมาตรวจสอบเพื่อกำจัดค่ามลทินหรือค่าที่ไม่พึงประสงค์ออกจากชุดข้อมูล ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดในระหว่างการประมวลผล หรืออาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง และมีความคลาดเคลื่อน จากการประมวลผลข้อมูลดังกล่าวพบว่าข้อมูลที่ไม่สามารถนำมาประมวลผลเพื่อระบุค่าได้ จำนวน 13 รายการ ผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้ทำความสะอาดข้อมูลด้วยวิธีการลบ (Delete) หรือนำกลุ่มข้อมูลที่มีปัญหา จำนวน 13 รายการ ออกจากชุดข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์คิดเป็นอัตราส่วนโดยประมาณร้อยละ 0.013 ซึ่งถือเป็นกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดเล็กมาก ไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ซึ่งยังคงมีค่าใกล้เคียง 100,000 รายการอยู่ โดยคงเหลือข้อมูลที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปทั้งสิ้น จำนวน 99,987 รายการ

3. การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

การแบ่งข้อมูลเพื่อใช้สำหรับการเรียนรู้และการทดสอบ คือ การนำข้อมูลที่ได้จัดเตรียมไว้มาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดย ส่วนที่ 1 คือ ข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ (Training Data) จำนวน 69,990 รายการ ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปป้อนให้กับแบบจำลองการเรียนรู้ (Training Model) เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์

ได้เรียนรู้และจดจำรูปแบบ ลักษณะ และความสัมพันธ์ของข้อมูล สำหรับนำไปใช้ในการจำแนกประเภท และนำไปสร้างเป็นแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใน (Decision Tree Model) ส่วนที่ 2 คือ ข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบ (Testing Data) จำนวน 29,996 รายการ ข้อมูลในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในการประเมินผลการเรียนรู้ของแบบจำลองการเรียนรู้ (Training Model) โดยการนำชุดคำสั่ง (Library) train_test_split ที่บรรจุอยู่ใน Sklearn (Pedregosa, 2011, pp.2825-2830) มาใช้ในการดำเนินการแบ่งข้อมูล โดยมีอัตราส่วนระหว่างข้อมูลที่ใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ เป็น 70:30

4. การสร้างแบบจำลองเพื่อจำแนกประเภทโดยใช้กระบวนการต้นไม้ตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย (Classification and Regression Tree: CART)

ในขั้นตอนนี้ผู้ดำเนินการวิจัยได้นำกระบวนการสร้างต้นไม้ตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย มาใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งสามารถประมวลผลได้จากข้อมูลที่อยู่ในแต่ละแอตทริบิว (Attribute) ในลักษณะ If – Else แบบไบนารี โดยการแตกกิ่งของต้นไม้ที่สามารถแตกกิ่งได้เพียง 2 กิ่ง แบบเวียนบังเกิด (Recursive) จนกว่าจะเข้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่ง ได้แก่ 1) ข้อมูลที่พิจารณาอยู่มีลักษณะเหมือนกัน หรือถูกจำแนกให้อยู่ในประเภทเดียวกัน และ 2) ไม่เหลือข้อมูลให้นำมาพิจารณาต่อแล้ว (Leo Breiman, 1984) ซึ่งได้ผลลัพธ์เป็นข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทบรรจุใน Node สุดท้าย โดยประมวลผลข้อมูลรายชื่อโดเมนที่ได้จากการแบ่งข้อมูลสำหรับเรียนรู้ ร้อยละ 70 จำนวน 69,990 รายการ เพื่อสร้างแบบจำลองการจำแนกประเภท (Classification Model) และทำการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยข้อมูลสำหรับทดสอบ ร้อยละ 30 จำนวน 29,996 รายการ โดยการใช้ค่าดัชนีจีนี่ (Gini Index) ในการพิจารณาแบ่งข้อมูล ซึ่งสามารถคำนวณค่าดัชนีจีนี่ได้จากสูตร ดังนี้

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^{n} pi^2$$

เมื่อ $$\Delta Gini(A) = Gini(D) - Gini_A(D)$$

และ $$Gini_A(D) = \frac{|D1|}{|D|} Gini(D) + \frac{|D2|}{|D|} Gini(D_2)$$

5. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินประสิทธิภาพของการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification Evaluate) โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการแบ่งข้อมูลที่ใช้สำหรับการทดสอบร้อยละ 30 จำนวน 29,996 รายการ ซึ่งข้อมูลชุดนี้คือข้อมูลที่แบบจำลองไม่เคยรู้จักมาก่อน โดยใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ในการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy), ค่าความแม่นยำ (Precision), ค่าการระลึกได้ (Recall) และค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic Mean (F1 Score) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

ค่าความถูกต้อง (Accuracy) $Accuracy = \frac{(TP+TN)}{(TP+FP+TN+FN)}$

ค่าความแม่นยำ (Precision) $Pricision = \frac{TP}{(TP+FP)}$

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

ค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic Mean (F1 Score) $F1\ Score = 2\frac{(Precision\ x\ Recall)}{(Precision+Recall)}$

ผลการวิจัย

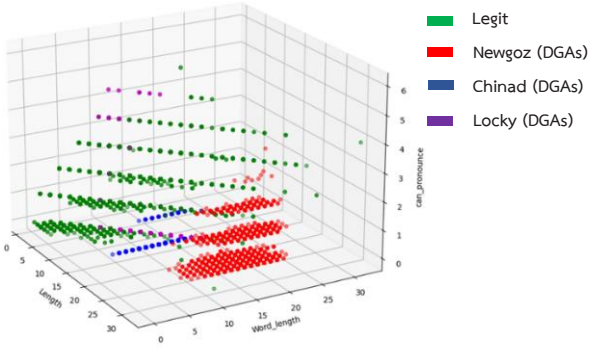
จากขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างชื่อโดเมนที่ถูกต้อง และชื่อโดเมนที่ถูกสร้างขึ้นมาจากอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน ประกอบด้วยผลการวิจัยที่สำคัญ ดังนี้

1. ค่าความบริสุทธิ์ (ΔGini)

ค่าความบริสุทธิ์ (ΔGini) ของข้อมูลสูงที่สุดจะถูกเลือกเป็นแอตทริบิวที่ใช้ในการแบ่งข้อมูล โดยสามารถคำนวณค่าความบริสุทธิ์ของข้อมูลได้จากสมการ (ΔGini) = Gini (D) – Gini $_A$ (A) เมื่อ D คือ ชุดข้อมูล และ A คือ แอตทริบิว ที่อยู่ในชุดข้อมูล (D) มีผลดังนี้

length	0.684238	elements	0.017456
word_length	0.164553	num_length	0.002676
can_pronounce	0.077410	elements_indict	0.002519
pronounce_elements	0.051017	in_dict	0.000130

เมื่อนำข้อมูลที่มีค่าความบริสุทธิ์ของข้อมูล (ΔGini) สูงที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ length, word_length และ can_pronounce มาแสดงผลในรูปแบบของกราฟ 3 แนวแกน (3D Graph) จะสามารถมองเห็นรูปแบบการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูลได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 รูปแบบการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูล โดยใช้แอตทริบิว (Attribute) ที่มีค่าความบริสุทธิ์ของข้อมูล (ΔGini) สูงที่สุด 3 อันดับแรก คือ length, word_length และ can_pronounce

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลการเรียนรู้ (Training Data)

จากข้อมูลรายชื่อโดเมนที่ใช้สำหรับการเรียนรู้ จำนวน 69,991 รายการ คิดเป็นร้อยละ 70 จากข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 99,987 รายการ สามารถนำมาสร้างเป็นแบบจำลองในการสร้างเงื่อนไขเพื่อจำแนกประเภทกลุ่มข้อมูลที่เป็นเป้าหมาย ได้แก่ Legit, Chinad, Locky และ Newgoz ซึ่งประกอบด้วยจำนวนชั้นความลึกทั้งหมด 16 ชั้น และมีเงื่อนไขที่ใช้ในการจำแนกประเภทของรายชื่อโดเมนจำนวน 508 เงื่อนไข สามารถแสดงผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองในภาพที่ 4

report ข้อมูลเรียนรู้

	precision	recall	f1-score	support
chinad	1.00	0.99	1.00	12593
legit	0.98	0.97	0.97	34945
locky	0.87	0.93	0.90	9387
newgoz	1.00	1.00	1.00	13065
accuracy			0.97	69990
macro avg	0.96	0.97	0.97	69990
weighted avg	0.97	0.97	0.97	69990

Train set accuracy = 0.9719388484069152

ภาพที่ 4 แสดงผลการประเมินค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลการเรียนรู้ (Training Data)

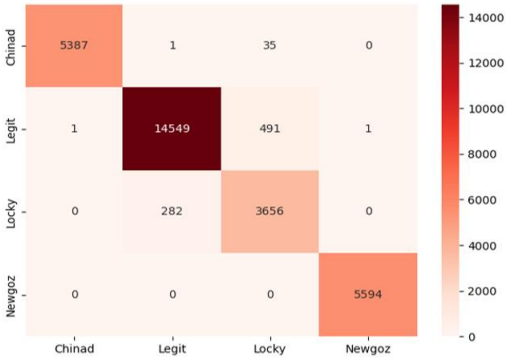
3. ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลทดสอบ (Testing Data)

การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ จำนวน 29,997 รายการ คิดเป็นร้อยละ 30 จากข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 99,987 รายการ สามารถนำมาทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการสร้างเงื่อนไขเพื่อจำแนกประเภทกลุ่มข้อมูลที่เป็นเป้าหมาย ได้แก่ Legit, Chinad, Locky และ Newgoz โดยใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ในการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy), ค่าความแม่นยำ (Precision), ค่าการระลึกได้ (Recall) และค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic Mean (F1 Score) โดยผลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง และจำนวนความถูกต้องในการจำแนกประเภทของแบบจำลองถูกแสดงในภาพที่ 5

report ข้อมูลทดสอบ

	precision	recall	f1-score	support
chinad	1.00	0.99	1.00	5423
legit	0.98	0.97	0.97	15042
locky	0.87	0.93	0.90	3938
newgoz	1.00	1.00	1.00	5594
accuracy			0.97	29997
macro avg	0.96	0.97	0.97	29997
weighted avg	0.97	0.97	0.97	29997

Test set accuracy = 0.972963963062973



ภาพที่ 5 แสดงผลการประเมินค่าประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ (Testing Data)

4. การปรับปรุงประสิทธิภาพของแบบจำลอง

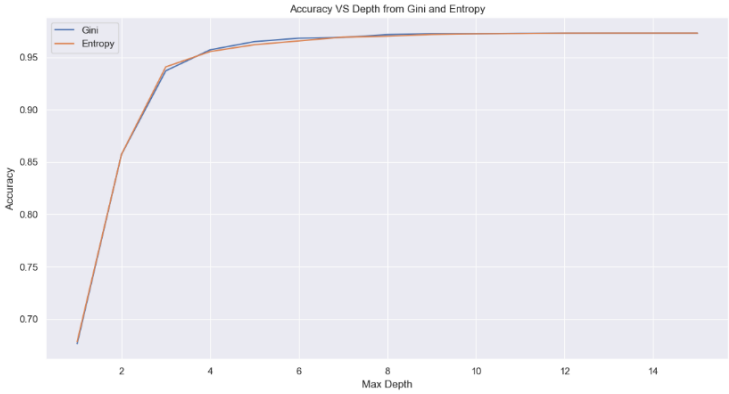
จากผลการวิจัยที่ได้นำเสนอนี้ ผู้ดำเนินการวิจัยได้ดำเนินการลดความซับซ้อนของแบบจำลองด้วยวิธีการตัดกิ่งในขณะเรียนรู้ (Pre Pruning) เนื่องจากแบบจำลองมีผลการทดสอบระหว่างข้อมูลที่นำมาใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบ นั้น มีความสอดคล้องและใกล้เคียงกันมาก ซึ่งจากผลการวิจัยที่ได้รับจากชุดข้อมูลทั้งคู่มีความถูกต้อง (Accuracy) สอดคล้องกันสูงถึงร้อยละ 97 ซึ่งหมายความว่าแบบจำลองมีความเหมาะสม (Model Fit) ต่อการนำไปใช้งานแล้ว แต่เนื่องจากแบบจำลองมีชั้นความลึก (Max Depth) มากถึง 16 ชั้น จึงทำให้แบบจำลองมีความซับซ้อน และยากต่อการนำไปแปรผล อีกทั้งค่าความซับซ้อน (Alpha: α) ของแบบจำลองที่ประมวลผลได้โดยใช้วิธีการตัดกิ่งแบบค่าความซับซ้อน (Cost Complexity Pruning) มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ($\alpha < 0$) (F. Esposito, Malerba, Semeraro, & Kay, 1997, pp.476-491) ส่งผลให้ไม่สามารถดำเนินการลดความซับซ้อนของแบบจำลองด้วยวิธีการตัดกิ่งแบบค่าความซับซ้อนได้ (Floriana Esposito, Malerba, Semeraro, & Tamma, 1999, pp.277-299) ดังแสดงผลการหาค่าความซับซ้อน (Alpha: α) ของแบบจำลองและผลความถูกต้องของแบบจำลองที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลที่นำมาใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบ ในภาพที่ 6

```
ตรวจสอบค่าความถูกต้องจากข้อมูลเรียนรู้
col_0          chinad  legit  locky  newgoz
subclass_type
chinad          12510      0     83       0
legit               7  33746   1192       0
locky               0    682   8705       0
newgoz              0      0      0   13065
Train set accuracy =0.9719388484069152
Test set accuracy =0.972963963062973

{'ccp_alphas': array([ 0.00000000e+00, -2.71050543e-20,  3.18323993e-09,  3.26849641e-09,
        8.14550306e-09,  9.29005167e-09,  9.39133243e-09,  1.25019062e-08,
        1.58650009e-08,  1.79758232e-08,  1.84403494e-08,  2.06048630e-08,
        3.15533590e-08,  3.35524588e-08,  4.75202508e-08,  4.89271783e-08,
```

ภาพที่ 6 แสดงรายการค่าความซับซ้อน (Cost Complexity Pruning) มีค่าน้อยกว่าศูนย์ ($\alpha < 0$) และผลความถูกต้อง (Accuracy) ของแบบจำลองที่สอดคล้องกันระหว่างข้อมูลที่นำมาใช้ในการเรียนรู้ และข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดสอบ

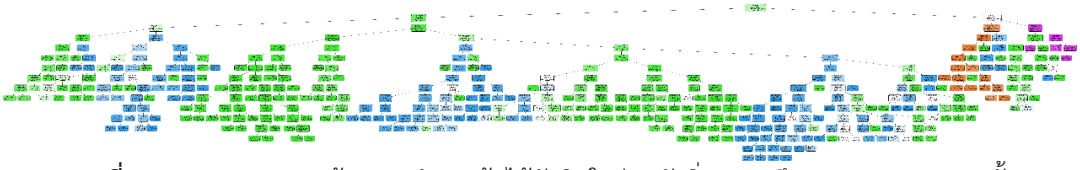
การตัดกิ่งในขณะเรียนรู้ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องที่ได้จากเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแอตทริบิวสำหรับสร้างแบบจำลองระหว่าง Gini และ Entropy เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าดังกล่าวกับชั้นความลึก (Max Depth) ของแบบจำลอง (Breslow & Aha, 1997, pp.1-40) จากการนำค่าดังกล่าวมาพล็อตเป็นกราฟ พบว่าค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่ได้จาก Gini (เส้นสีน้ำเงิน) และ Entropy (เส้นสีส้ม) เป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแอตทริบิวมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกันมาก โดยที่ชั้นความลึกเท่ากับ 9 จะได้ค่าความถูกต้องสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 97 โดยประมาณ และจะคงค่านี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นที่ 16 ดังแสดงในภาพที่ 7



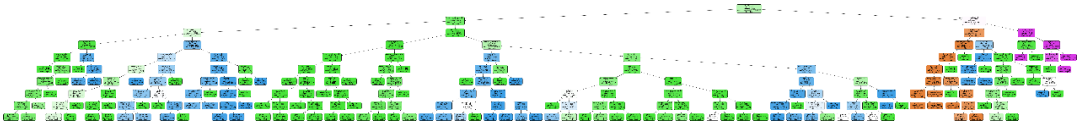
ภาพที่ 7 แสดงค่าความถูกต้อง (Accuracy) ที่ได้จากเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกแอตทริบิว (Attribute) ระหว่าง Gini และ Entropy เพื่อใช้ในการหาค่าชั้นความลึก (Max Depth) ที่เหมาะสม

ดังนั้น ผู้ดำเนินการวิจัยจึงดำเนินการปรับค่าชั้นความลึกของแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) โดยกำหนดค่าชั้นความลึกเท่ากับ 9 และทำการประเมินประสิทธิ์ภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ โดยใช้เมทริกซ์ความสับสน (Confusion Matrix) ในการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ พบว่ายังสามารถคงค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 97 โดยประมาณ

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ใช้สำหรับการเรียนรู้มาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยปรับค่าความลึก (Max Depth) เท่ากับ 9 จะเห็นได้ว่าค่าความซับซ้อนของแบบจำลองลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีเงื่อนไขที่ใช้สำหรับการจำแนกประเภทของรายชื่อโดเมน จำนวน 340 เงื่อนไข ลดลงจากเดิม จำนวน 168 เงื่อนไข โดยที่ค่าความถูกต้อง (Accuracy) ของแบบจำลองที่ได้จาก Gini และ Entropy มีความสอดคล้องใกล้เคียงกันมาก และมีค่าความถูกต้อง สูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 97 (โดยประมาณ) และจะคงค่านี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงชั้นที่ 16 (มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในหลักทศนิยม) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบลักษณะความซับซ้อนของแบบจำลองระหว่างก่อนตัดกิ่ง และหลังตัดกิ่งได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 (ก) แสดงผลการสร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจก่อนตัดกิ่ง ความลึก (Max Depth) 16 ชั้น



ภาพที่ 9 (ข) แสดงผลการสร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจหลังตัดกิ่ง ความลึก (Max Depth) 9 ชั้น

ภาพที่ 9 แสดงผลการสร้างแบบจำลองต้นไม้ตัดสินใจแบบจำแนกประเภทและแบบถดถอย (CART) เปรียบเทียบระหว่างก่อน (ก) และหลังตัดกิ่ง (ข)

อภิปรายผล

1. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้อง (Accuracy) ในการจำแนกประเภทของแบบจำลอง

แบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้นโดยชุดข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ เมื่อนำมาทดสอบด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ จำนวน 29,997 รายการ โดยการปรับชั้นความลึกของแบบจำลองให้เหลือเพียง 9 ชั้น จากเดิม 16 ชั้น แบบจำลองสามารถจำแนกประเภทข้อมูลได้ถูกต้อง จำนวน 29,175 รายการ คิดเป็นร้อยละ 97.25 และจำแนกประเภทข้อมูลผิด จำนวน 822 รายการ หรือคิดเป็นร้อยละ 2.74 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความถูกต้อง ในการจำแนกประเภทระหว่างก่อนและหลังการปรับชั้นความลึกของแบบจำลองทั้งแบบจำแนกประเภท และไม่จำแนกประเภทอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน

ผลการทำนาย / รูปแบบข้อมูล	จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด	ทำนายถูก		ทำนายผิด		ความถูกต้อง (Accuracy)	
		ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น	ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น	ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น
1.1 แบบจำแนกประเภทของอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน							
Legitimate Domain Name	15,042	14,549	14,535	493	507	96.72	96.62
Chinad (DGA)	5,423	5,387	5,387	36	36	99.33	99.33
Locky (DGA)	3,938	3,656	3,659	282	279	92.83	92.91
Newgoz (DGA)	5,594	5,594	5,594	0.00	0.00	100.00	100.00
รวมทั้งสิ้น	**29,997**	**29,186**	**29,175**	**811**	**822**	**97.29**	**97.25**
1.2 แบบไม่จำแนกประเภทของอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน							
Legitimate Domain Name	15,042	14,549	14,535	493	507	96.72	96.62
DGA	14,955	14,637	14,640	318	315	97.38	97.41
รวมทั้งสิ้น	**29,997**	**29,186**	**29,175**	**811**	**822**	**97.29**	**97.25**

2. ผลการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับชั้นความลึกของแบบจำลอง

การวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ โดยใช้เมทริกซ์ความสับสนในการประเมินประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับชั้นความลึกของแบบจำลองเพื่อลดความซับซ้อน โดยการแยกประเภทข้อมูลสามารถแสดงผลได้ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการวัดประสิทธิภาพโดยใช้เมทริกซ์ความสับสน เปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการปรับชั้นความลึกของแบบจำลองทั้งแบบจำแนกประเภท และไม่จำแนกประเภทอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน

ผลการวัดประสิทธิภาพ / รูปแบบข้อมูล	จำนวนข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด	ค่าความแม่นยำ (Precision)		ค่าการระลึกได้ (Recall)		ค่าเฉลี่ยแบบ Harmonic Mean (F1 Score)	
		ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น	ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น	ความลึก 16 ชั้น	ความลึก 9 ชั้น
2.1 แบบจำแนกประเภทของอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน							
Legitimate Domain Name	15,042	98.00	98.00	97.00	97.00	97.00	97.00
Chinad (DGA)	5,423	100.00	100.00	99.00	99.00	100.00	100.00
Locky (DGA)	3,938	87.00	87.00	93.00	93.00	90.00	90.00
Newgoz (DGA)	5,594	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
เฉลี่ย	**29,997**	**96.25**	**96.25**	**97.25**	**97.25**	**96.75**	**96.75**
2.2 แบบไม่จำแนกประเภทของอัลกอริทึมสำหรับสร้างโดเมน							
Legitimate Domain Name	15,042	98.00	98.00	97.00	97.00	97.00	97.00
DGA	14,955	95.66	95.66	97.33	97.33	96.66	96.66
เฉลี่ย	**29,997**	**96.83**	**96.83**	**97.16**	**97.16**	**96.83**	**96.83**

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะอาจารย์ที่ปรึกษาทุกท่านที่เสียสละเวลาอันมีค่า ทุ่มเทแรงกาย แรงใจ ให้คำชี้แนะ และคำปรึกษาทั้งในด้านวิชาการ และการดำเนินชีวิตทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงมหาวิทยาลัยรังสิตที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการจัดทำการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

Bader, J. (2015). **Domain Generation Algorithms (DGAs) of Malware reimplemented in Python.** [Online]. Available : https://github.com/baderj/domain_generation_algorithms [2021, October, 23].

Bird, S., Klein, E., & Loper, E. (2009). **Natural Language Processing with Python**. O'Reilly Media, Inc.

Breslow, L. A., & Aha, D. W. (1997). Simplifying decision trees: A survey. **The Knowledge Engineering Review, 12**(01), 1-40.

Chowdhury, S. A. (2019). Domain Generation Algorithm-Dga in Malware.

Esposito, F., Malerba, D., Semeraro, G., & Kay, J. (1997). A comparative analysis of methods for pruning decision trees. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 19**(5), 476-491.

Esposito, F., Malerba, D., Semeraro, G., & Tamma, V. (1999). The effects of pruning methods on the predictive accuracy of induced decision trees. **Applied Stochastic Models in Business and Industry, 15**(4), 277-299.

G. P., A., R., G., S., K., & Gladston, A. (2020). A machine learning framework for domain generating algorithm based malware detection. **Security and Privacy, 3**(6), e127.

Hubbard, D. (2016). **Cisco Umbrella 1 Million**. [Online]. Available : https://umbrella.cisco.com/blog/cisco-umbrella-1-million [2021, April, 12].

Jenks, G. (2018). **Python Word Segmentation**. [Online]. Available : https://github.com/grantjenks/python-wordsegment.git [2021, May, 16].

Kurkowski, J. (2020). **tldextract**. [Online]. Available : https://github.com/john-kurkowski/tldextract.git [2021, June, 3].

Leo Breiman, J. H. F., Richard A. Olshen, Charles J. Stone. (1984). **Classification And Regression Trees s. Edition *(Ed.)***. [Online]. Available : https://doi.org/10.1201/9781315139470 [2021, May, 4].

Parrish, A. (2015, November). **pronouncingpy**. [Online]. Available : https://github.com/aparrish/pronouncingpy.git [2021, July, 15].

Pedregosa, F. a. V., G. and Gramfort, A. and Michel, V. and Thirion, B. and Grisel, O. and Blondel, M. and Prettenhofer, P. and Weiss, R. and Dubourg, V. and Vanderplas, J. and Passos, A. and Cournapeau, D. and Brucher, M. and Perrot, M. and Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine Learning in Python. **Journal of Machine Learning Research, 12**, 2825-2830.

The European Union Agency for Cybersecurity, E. (2020). **List of top 15 threats. ENISA Threat Landscape** [Online]. Available : https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2020-list-of-top-15-threats/view/++widget++form.widgets.fullReport/@@download/ETL2020+-+ENISA+List+ of+top+15+Threats+A4.pdf [2021, July, 9].

การบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวล

Treatment of Wastewater Contaminated with Engine Oil using Biomass Absorbent Material

พงษกร ชมภูแสน*

Pongsakorn Chompusan

สุนันทา เลาวัณย์ศิริ**

Sunantha Laowansiri

Received : April 24, 2022

Revised : September 2, 2022

Accepted : October 19, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ที่ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่อัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ที่บรรจุวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ 2 กรัม สูง 10 เซนติเมตร เก็บตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านวัสดุดูดซับชีวมวลเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่าคุณลักษณะวัสดุดูดซับส่วนใบของหญ้าทั้งสองชนิดสามารถผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้มากกว่าส่วนลำต้น โดยหญ้าแฝกสามารถผลิตวัสดุชีวมวลได้มากกว่าหญ้าเนเปียร์ หญ้าแฝกส่วนใบมีความชื้นน้อยที่สุด และมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมากที่สุด ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายมากที่สุดและเถ้าน้อยที่สุด เมื่อบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ที่ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.73-8.35 โดยไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับทุกชนิดสามารถบำบัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี หญ้าเนเปียร์สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์และซีโอดีได้ดีกว่าหญ้าแฝก โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Students of Master Degree of Science, Program in Environmental Administration and Management, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University

**อาจารย์สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Lecture in Department of Sustainable Environmental Management, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University

เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร (ร้อยละ 72.53) หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร (ร้อยละ 40.95) ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร (ร้อยละ 66.60) หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร (ร้อยละ 41.75)

คำสำคัญ : การบำบัดน้ำเสีย / น้ำมันเครื่อง / วัสดุดูดซับชีวมวล

ABSTRACT

This research aimed to study the characteristics of biomass sorbents and compare the efficiency of the treatment of wastewater contaminated with engine oil using leaves and stems of napier grass and vetiver grass at the various sizes of 0.5, 1.0, and 2.0 millimeter, respectively. The wastewater contaminated with engine oil was pumping at a flow rate of 25 milliliter per minute pass through a column with a diameter of 1.3 centimeter packed bed with biomass absorbent material with the mass of 2 gram and the bed length of 10 centimeter. The sampling of wastewater contaminated with engine oil passed through biomass absorbent material was collected after 6 hours. The results demonstrated that the absorbent characteristics of the leaves of both types of grasses were able to yield more biomass absorbent material than the stems and the vetiver grass can yield more biomass material than the napier grass. When treating wastewater contaminated with engine oil by using absorbents made from leaves and stems of napier grass and vetiver grass at the sizes of 0.5, 1.0, and 2.0 millimeter, respectively, the temperature was in the range of 24.25-32.15°C. The pH were in the range of 7.73-8.35 with no total suspended solids had been detected, indicated that all sorbents were able to treat all total suspended solids exceptionally well. The napier grass was able to remove engine oil and COD better than vetiver grass. The 0.5 millimeter of napier grass stem has the highest engine oil removal efficiency equivalent to 15.92 mg/L (72.53 %). The napier grass leaves at the size of 0.5 millimeter has the highest COD removal efficiency at 71.67 mg/L (40.95%). While the leaves of vetiver grass at the size of 2.0 millimeter has the highest engine oil removal efficiency at 9.39 mg/L (66.60%). The vetiver grass leaves at the size of 0.5 millimeter has the highest COD removal efficiency at 68.8 mg/L (41.75%).

Keywords : Wastewater Treatment / Engine Oil / Biomass Absorbent Material

บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาและการเติบโตของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ รวมถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ทำให้เกิดความต้องการในการใช้ทรัพยากรน้ำมันปิโตรเลียมเพื่อใช้ในการขนส่งและการเดินทางเพิ่มขึ้นมาก ซึ่งการดำเนินกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการใช้น้ำมันปิโตรเลียมย่อมมีน้ำเสียที่เกิดการปนเปื้อนน้ำมันปิโตรเลียมอยู่เสมอ ผลกระทบที่ตามมาคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมัน โดยเฉพาะน้ำเสียที่มาจากการชะล้างของเครื่องยนต์ เมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดที่ถูกวิธีจะทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ น้ำมันเครื่องที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียมีความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหารและระบบสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต จึงส่งผลต่อระบบนิเวศโดยรวม (พรวิวาห์, 2564)

นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมท่องเที่ยว ทำลายทัศนียภาพ มีกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบทางอ้อมต่อเศรษฐกิจในชุมชนท้องถิ่นและระดับประเทศ เมื่อน้ำมันเครื่องยนต์มีการปนเปื้อนในแหล่งน้ำจะเกิดการระเหยทำให้ประชาชนได้รับสารพิษเข้าสู่ร่างกายผ่านทางเดินหายใจ การสัมผัสที่ผิวหนัง หรือการกินอาหารที่ปนเปื้อนน้ำมันเข้าไป โดยผู้ที่ได้รับสารเคมีจากน้ำมันเครื่องยนต์จะส่งผลให้เกิดร่างกายมีอาการ ทั้งระยะเฉียบพลัน ระยะยาว ลามไปจนถึงก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการจัดการน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์

การบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์อยู่หลากหลายวิธี เช่น การเผาทำลายน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วในเตาเผาซีเมนต์ (พงษ์สิทธิ์, 2547) การย่อยสลายน้ำมันเครื่องยนต์ใช้แล้วโดยสาหร่ายคลอเรลลา และสาหร่ายชินนิโคคอกคัส (หทัย และสุมนทิพย์, 2557) การแยกน้ำและน้ำมันด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational Separation) (บริษัท ออยเซิร์ฟ จำกัด, 2565) เป็นต้น หนึ่งในวิธีที่มีประสิทธิภาพและประหยัดต้นทุนมากที่สุดคือการใช้ตัวดูดซับที่ใช้วัสดุจากธรรมชาติ จากงานวิจัย Li, et al. (2017) ได้ศึกษาการแยกน้ำออกจากน้ำมันโดยใช้ตัวกรองที่สร้างจากผงของเปลือกวอลนัท โดยพบว่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากน้ำมากกว่าร้อยละ 99.94 และมีการดูดซับสีจากน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 99.2 โดยเศษเปลือกวอลนัทที่ใช้ได้มาจากการรวบรวมจากแหล่งต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่ามากที่สุดอีกทางหนึ่ง

ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงได้มีการใช้หญ้าหลายชนิดมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ หญ้าที่นิยมปลูกและใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ หญ้าแฝก และหญ้าเนเปียร์ มีการนำหญ้าแฝก และหญ้าเนเปียร์มาใช้ประโยชน์ ได้แก่ เชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก (ศิริขวัญ และฐิติพร, 2557) ปลูกเพื่อบำบัดโลหะหนักจากโรงงานอุตสาหกรรม (อุดมศักดิ์ และพันธวัศ, 2563) และนิยมใช้ปลูกเพื่อบำรุงดิน หญ้าเนเปียร์เป็นหญ้ามีลำต้นใหญ่ ต้องการน้ำและธาตุอาหารน้อยในการปลูก ใช้เป็นอาหารสัตว์และใช้เป็นวัสดุชีวมวล (ศุภชัย, 2559; ศรัณย์พงศ์ และคนอื่นๆ 2564) โดยหญ้าทั้งสองชนิดนี้เป็นวัสดุจากธรรมชาติที่หาได้ง่าย และมีคุณสมบัติในการดูดซับชีวมวลได้ดี

งานวิจัยของพงษ์ธิพันธ์ และคนอื่นๆ (2561) ได้ศึกษาการดูดซับคราบน้ำมันโดยใช้วัสดุที่มีรูพรุนนาโนเทคโนโลยีธรรมชาติ เขมนิจจารีย์ (2561) ศึกษาวิจัยนำเอาวัสดุดูซับชีวมวล ได้แก่ ดอกธูปฤาษี ชานอ้อย และผักตบชวาเพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมัน งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเอาวัสดุดูดซับชีวมวลที่ผลิตจากใบและลำต้นของหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ เพื่อใช้ในการดูดซับน้ำมันจากน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์ลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวลและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกในส่วนของใบและลำต้น โดยผลการวิจัยที่ได้จะเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุชีวมวลธรรมชาติที่มีในท้องถิ่นไปใช้บำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ และเกิดประโยชน์ต่อสถานประกอบการที่มีการปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ในน้ำต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมตัวดูดซับ

1. วัสดุดูดซับที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝกโดยใช้ส่วนใบและลำต้น

2. นำหญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝก ส่วนใบและลำต้นมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ แล้วตากแดดเป็นระยะเวลา 7 วัน ให้แห้ง

3. นำใบและลำต้นของหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก มาวิเคราะห์หาค่าความชื้น (Moisture Content) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ของแข็งคงตัว (Fixed Solid) ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid) และเถ้า (Ash Content) ตามวิธีมาตรฐาน ASTM D3173 (จุฑาภรณ์ และ กนกวรรณ, 2562)

4. นำวัสดุดูดซับทั้งหมดมาบดและร่อนให้ได้ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

การเตรียมตัวอย่างน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์

1. นำน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว 100 มิลลิลิตร มาผสมกับน้ำสะอาด 1000 มิลลิลิตร ในกรวยแยกสาร เขย่ากรวยแยกให้น้ำและน้ำมันผสมกัน

2. วางกรวยแยกตั้งทิ้งไว้จนน้ำมันเครื่องยนต์แยกตัวจากน้ำ โดยน้ำมันเครื่องยนต์ส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะอยู่ด้านบน ปล่อยน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ด้านล่างออก โดยไม่ให้น้ำมันเครื่องยนต์ด้านบนแยกออกมาด้วย น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยคือส่วนที่ปล่อยออกด้านล่าง

3. ทำซ้ำข้อ 1 และ 2 จนได้ปริมาตรน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ 11 ลิตร

คอลัมน์สำหรับใส่วัสดุดูดซับชีวมวล

คอลัมน์สำหรับใส่วัสดุดูดซับชีวมวล ผลิตจากแก้วรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3 เซนติเมตร ยาว 14 เซนติเมตร บรรจุวัสดุดูดซับชีวมวล 2 กรัม สูง 10 เซนติเมตร

การดำเนินงานวิจัย

1. นำน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ 11 ลิตร โดยมีการกวนตลอดเวลาด้วยเครื่อง Hotplate Stirrer หลังจากนั้นใส่น้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่อัตราการไหล 25 มิลลิลิตรต่อนาที ผ่านคอลัมน์ที่มีวัสดุดูดซับชีวมวล ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ และหญ้าแฝก โดยใช้ส่วนใบและลำต้นขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ

2. เก็บตัวอย่างน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านวัสดุดูดซับชีวมวล เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง จำนวน 1 ครั้ง แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ซีโอดี ไขมันและน้ำมัน (น้ำมันเครื่องยนต์) และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ทำการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ ตามวิธีการของ AWWA, APHA, WPCF (2017); มั่นสิน และมั่นรักษ์ (2551)

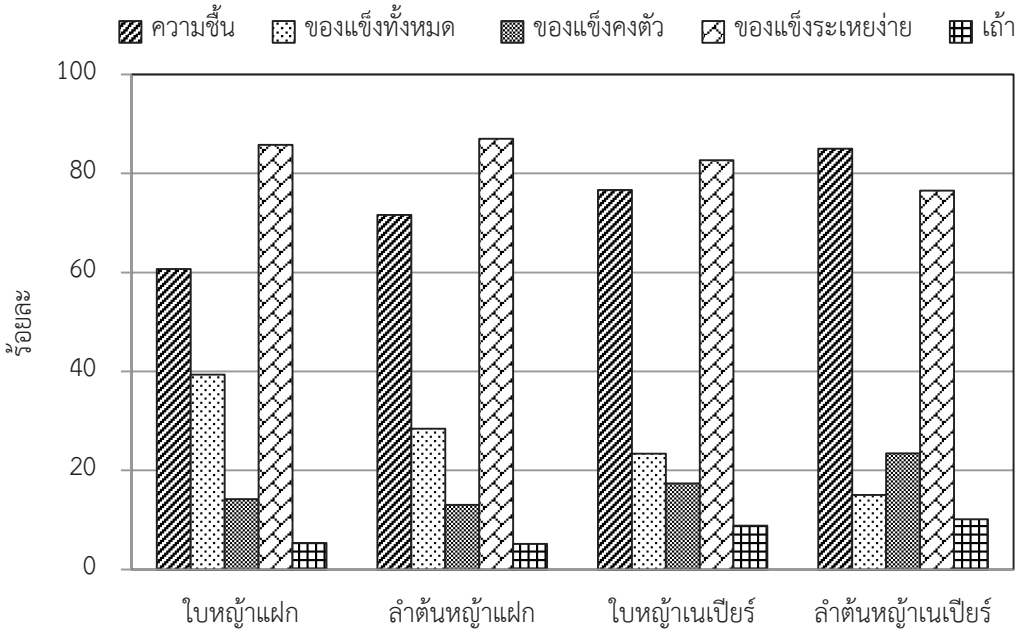
ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ = (ความเข้มข้นน้ำเสียก่อนบำบัด-ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังบำบัด)/ (ความเข้มข้นน้ำเสียก่อนบำบัด) x 100

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปคอมพิวเตอร์ ข้อมูลทั่วไปของชุดทดลองตัวอย่าง แต่ละชุดมีการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันยนต์ วิเคราะห์ 2 ซ้ำ การวิเคราะห์คุณลักษณะวัสดุดูดซับ วิเคราะห์ 4 ซ้ำ โดยหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย

ลักษณะวัสดุดูดซับ



ภาพที่ 1 ลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวล

จากภาพที่ 1 แสดงคุณลักษณะวัสดุดูดซับชีวมวล พบว่าค่าความชื้นของหญ้าแฝกส่วนใบ มีความชื้นน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 60.68 รองมา คือ หญ้าแฝกส่วนลำต้น โดยมีความชื้น เท่ากับร้อยละ 71.59 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีความชื้นมากที่สุด เท่ากับ ร้อยละ 84.97 ค่าของแข็งทั้งหมดของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนใบมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 39.32 รองลงมาคือ หญ้าแฝกส่วนลำต้น เท่ากับร้อยละ 28.41 ในขณะที่ค่าของแข็งทั้งหมดของหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 15.03 ซึ่งค่าของแข็งทั้งหมดมีค่าร้อยละที่สูงจะบ่งบอกถึงการผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้ปริมาณที่มาก โดยพบว่าหญ้าแฝกส่วนใบสามารถผลิตเป็นวัสดุดูดซับชีวมวลได้ปริมาณมากที่สุด ค่าของแข็งคงตัวของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งคงตัวมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 23.46 รองลงมาคือ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ

เท่ากับร้อยละ 17.34 ในขณะที่ค่าของแข็งคงตัวของหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 13.03 ค่าของแข็งระเหยง่ายของวัสดุดูดซับจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีปริมาณมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 86.97 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 76.54 โดยค่าของแข็งระเหยง่ายสูงบ่งบอกถึงความสามารถในการการเผาไหม้ได้ดี ค่าเถ้าของวัสดุดูดซับชีวมวลจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีเถ้าน้อยที่สุด เท่ากับร้อยละ 5.15 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีเถ้ามากที่สุด เท่ากับร้อยละ 10.12

ประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 1 อุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	27.10	28.20	23.70	26.75	22.55	24.25	30.30	32.15
1.0	24.60	26.60	23.55	26.15	24.20	25.80	27.50	29.20
2.0	29.20	30.05	29.80	31.85	29.30	31.75	30.75	32.05

จากตารางที่ 1 แสดงอุณหภูมิก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่า น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 23.55-29.80 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.15- 31.85 องศาเซลเซียส ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 22.55-30.75 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2 ความเป็นกรด-ด่างก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ความเป็นกรด-ด่าง							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	7.71	7.92	8.09	7.88	7.55	7.91	7.81	8.00
1.0	7.80	8.35	7.63	7.78	8.12	8.07	7.88	7.94
2.0	8.12	8.16	7.99	8.21	7.42	7.73	7.84	8.12

จากตารางที่ 2 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่า น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.63- 8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.78-8.35 ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.42-8.12 เมื่อน้ำเสียได้รับการบำบัดโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.73-8.12

ตารางที่ 3 ของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

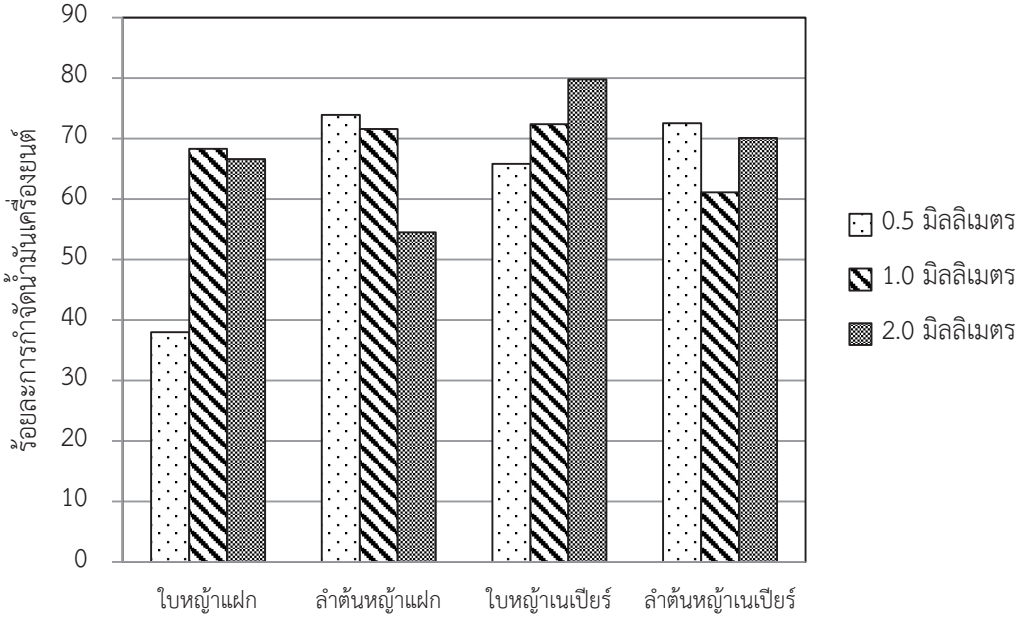
ขนาด (มม.)	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	13.13	ไม่พบ	17.88	ไม่พบ	22.78	ไม่พบ	27.64	ไม่พบ
1.0	17.99	ไม่พบ	15.70	ไม่พบ	15.05	ไม่พบ	23.76	ไม่พบ
2.0	26.59	ไม่พบ	22.49	ไม่พบ	19.19	ไม่พบ	29.64	ไม่พบ

จากตารางที่ 3 แสดงค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดโดยใช้วัสดุชีวมวลหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ส่วนของใบและลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร ก่อนการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ มีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 13.13 - 29.64 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ ไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับชีวมวลทั้งหมดและทุกขนาดสามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4 ค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	น้ำมันเครื่องยนต์ (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	12.14	7.53	7.32	1.91	15.29	5.23	21.95	6.03
1.0	12.78	4.05	10.81	3.07	9.30	2.57	9.18	3.57
2.0	14.10	4.71	6.77	3.08	11.17	2.26	10.97	3.28

จากตารางที่ 4 แสดงค่าน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนและหลังการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวล ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 4.61, 8.73 และ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 5.41, 7.74 และ 3.69 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 10.06, 6.73 และ 8.91 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 15.92, 5.61 และ 7.69 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5 สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร



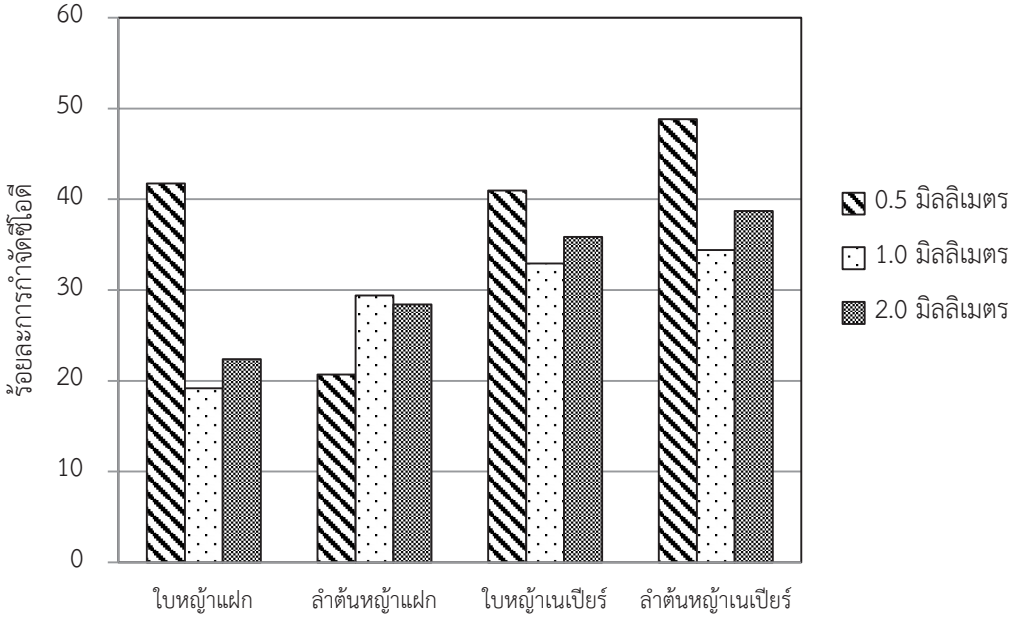
ภาพที่ 2 ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

จากภาพที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุชีวมวลขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 2.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับร้อยละ 79.77 และหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 72.53 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้มากที่สุดเท่ากับร้อยละ 68.31 หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 73.91

ตารางที่ 5 ซีโอดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

ขนาด (มม.)	ซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)							
	หญ้าแฝก				หญ้าเนเปียร์			
	ใบ		ลำต้น		ใบ		ลำต้น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
0.5	80.164	00.96	96.67	76.67	175.00	103.33	93.65	73.33
1.0	116.80	94.40	93.58	60.41	147.33	98.80	60.129	00.85
2.0	121.60	94.40	72.83	52.13	84.80	54.40	20.99	80.60

จากตารางที่ 5 แสดงค่าซีโอดีก่อนและหลังการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าหญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดี เท่ากับ 68.8, 22.40 และ 27.20 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดี เท่ากับ 20.00, 17.33 และ 20.70 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดี เท่ากับ 71.67, 48.53 และ 30.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ โดยหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดี เท่ากับ 32.20, 44.6 และ 38.4 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีมากที่สุด เท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ

จากภาพที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจากน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าหญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 41.75 หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 1.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 29.41 ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนใบและส่วนลำต้น ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 40.95 และ 48.84 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการกำจัดซีโอดีด้วยหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ขนาดต่างๆ พบว่าหญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 48.84 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 41.75

อภิปรายผล

คุณลักษณะวัสดุดูดซับ พบว่าส่วนใบของหญ้าทั้งสองชนิดสามารถผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้มากกว่าส่วนลำต้น และพบว่าหญ้าแฝกสามารถผลิตวัสดุดูดซับชีวมวลได้มากกว่าหญ้าเนเปียร์ โดยหญ้าแฝกส่วนใบสามารถผลิตเป็นวัสดุดูดซับชีวมวลได้ปริมาณมากที่สุด โดยหญ้าแฝกส่วนใบมีความชื้นน้อยที่สุด และมีค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมากที่สุด ในขณะที่ค่าของแข็งระเหยง่ายพบว่าหญ้าแฝกมีของแข็งระเหยง่ายมากกว่าหญ้าเนเปียร์ โดยหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายมากที่สุด ในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีค่าของแข็งระเหยง่ายน้อยที่สุด ค่าเถ้าของวัสดุดูดซับจากหญ้าแฝกส่วนลำต้นมีเถ้าน้อยที่สุดในขณะที่หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นมีเถ้ามากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าหญ้าทั้งสองชนิดทั้งส่วนใบและลำต้นสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุดูซับชีวมวลได้ดี อีกทั้งเมื่อมีการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ยังมีคุณสมบัติในการเผาไหม้ได้ดี โดยค่าของแข็งระเหยง่ายสูงบ่งบอกถึงความสามารถในการการเผาไหม้ได้ดี (วัฒนณรงค์ และคนอื่นๆ, 2564)

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร หลังผ่านการบำบัด พบว่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 24.25-32.15 องศาเซลเซียส อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม (2559) ซึ่งค่าอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2559) ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 7.73-8.35 พบว่างานวิจัยนี้มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (2553) และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (2549) ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-9.0 (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549; กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553) เมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ ไม่พบค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับชีวมวลทั้งหมดและทุกขนาด สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้เป็นอย่างดี โดยค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน (2553) ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร และมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (2549) ซึ่งค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549; กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2553)

การบำบัดน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าหลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 7.53, 4.05 และ 4.71 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร พบว่าหลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 1.91, 3.07 และ 3.08 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าน้ำมันเครื่องยนต์หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับ 5.23, 2.57 และ 2.26 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าน้ำมันเครื่องยนต์ หลังได้รับการบำบัดมีค่าน้ำมันเครื่องยนต์ เท่ากับ 6.03, 3.57 และ 3.28 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5 สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร (ประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับร้อยละ 72.53) โดยพบว่าค่าน้ำมันเครื่องยนต์ที่ผ่านการบำบัดด้วยวัสดุดูดซับชีวมวลทุกชนิดและทุกขนาด อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (2549) ซึ่งค่าน้ำมันและไขมันไม่เกิน 15 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 2.0 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 79.77 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุด เท่ากับร้อยละ 73.91 โดยพบว่าการดูดซับน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกขึ้นอยู่กับลักษณะองค์ประกอบ โครงสร้างของเส้นใย พื้นที่ผิว ขนาด และอนุภาคของน้ำที่ไม่ยึดเกาะของวัสดุดูดซับ จากงานวิจัยของเขมนิจจารีย์ (2561) ได้ศึกษาการดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของดอกธูปฤาษีมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 99.54 รองลงมาคือผักตบชวามีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเท่ากับร้อยละ 95.56 และชานอ้อยมีประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเท่ากับร้อยละ 78.14 ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

การบำบัดซีโอดีในน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์โดยใช้วัสดุดูดซับชีวมวลขนาดต่างๆ พบว่าค่าซีโอดีหลังการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 96, 94.40 และ 94.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีโอดีหลังการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าแฝกส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าซีโอดีเท่ากับ 76.67, 41.60 และ 52.13 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ค่าซีโอดีหลังการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนใบ ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าซีโอดีเท่ากับ 103.33, 98.80 และ 54.40 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าซีโอดีหลังการบำบัดน้ำเสียโดยใช้หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5, 1.0 และ 2.0 มิลลิเมตร มีค่าซีโอดี เท่ากับ 33.73, 85.00 และ 08.60 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ หญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร (ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 40.95) เมื่อบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยวัสดุชีวมวลทุกชนิดและทุกขนาดพบว่าค่าซีโอดีอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง (2549) ซึ่งค่าซีโอดีไม่เกิน 200 มิลลิกรัม/ลิตร (กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2549) หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้นขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 48.84 ในขณะที่

หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมากที่สุด เท่ากับร้อยละ 41.75 โดยพบว่าการดูดซับซีโอดีจากน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ด้วยหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝกขึ้นอยู่กับลักษณะองค์ประกอบ โครงสร้างของเส้นใย พื้นที่ผิว ขนาด และอนุภาคของน้ำที่ไม่ยึดเกาะของวัสดุดูดซับ

จากงานวิจัยพบว่าน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ก่อนบำบัดมีค่าความเข้มข้นซีโอดีและน้ำมันเครื่องยนต์ไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบวัสดุดูดซับชีวมวลที่สามารถกำจัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ใดดีกว่า จึงให้ความสำคัญกับค่าการกำจัดที่ค่าความเข้มข้นซีโอดีและน้ำมันเครื่องยนต์เป็นหลัก งานวิจัยนี้พบว่าหญ้าเนเปียร์สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์และซีโอดีได้ดีกว่าหญ้าแฝก หญ้าเนเปียร์ส่วนลำต้น ขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์ได้สูงสุด เท่ากับ 15.92 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับร้อยละ 72.53 เนื่องจากหญ้าเนเปียร์ส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกำจัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 71.67 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 40.95 ในขณะที่หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 2.0 มิลลิเมตร สามารถกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์มากที่สุดเท่ากับ 9.39 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดน้ำมันเครื่องยนต์เท่ากับร้อยละ 66.60 หญ้าแฝกส่วนใบขนาด 0.5 มิลลิเมตร สามารถกำจัดซีโอดีมากที่สุดเท่ากับ 68.8 มิลลิกรัม/ลิตร และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 41.75 จากงานวิจัยนี้สามารถนำวัสดุดูดซับชีวมวลหญ้าแฝกและหญ้าเนเปียร์นำไปประยุกต์ใช้กับร้านซ่อมรถยนต์ อู่ซ่อมรถยนต์ และสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง ในการบำบัดมลพิษของน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันเครื่องยนต์ขั้นต้นก่อนปล่อยลงสู่ระบบบำบัดขั้นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) ประจำปีงบประมาณ 2563 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

เขมนิจจารีย์ สาริพันธ์. (2561). **การดูดซับน้ำมันด้วยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและการผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่งจากตัวดูดซับน้ำมัน**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี.

จุฑาภรณ์ ชนะถาวร และกนกวรรณ ภูมิวณิชกิจ. (2562). ผลของเปลือกหุ้มเมล็ดกาแฟและกากกาแฟต่อสมบัติของเชื้อเพลิงชีวมวลอัดเม็ด. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 13**(1), 78-89.

บริษัท ออยเซิร์ฟ จำกัด. (2565). **การแยกน้ำออกจากน้ำมัน**. [Online] .Available : https://www.oilservethai.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539165407&Ntype=11 [2565, มีนาคม 1].

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2549). **เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง**. [Online] .Available : https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-63/ [2565, มีนาคม 1].

ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2553)**. เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน**. [Online] .Available : https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-71/ [2565, มีนาคม 1].

จากระบบบำบัดน้ำเสียรวมของชุมชน. (2559). **เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และเขตประกอบการอุตสาหกรรม**. [Online] . Available : https://www.pcd.go.th/laws/ประกาศกระทรวงทรัพยากร-56/ [2565, มีนาคม 1].

พงษ์ธิพันธ์ ผึ่งผาย, อำนวย วัฒนกรสิริ และนภาพร แข่งขัน. (2561). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับคราบน้ำมันโดยใช้วัสดุที่มีรูพรุนนาโนเทคโนโลยีธรรมชาติ. **วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น, 40**(1), 38-49.

พงษ์สิทธิ์ บุญรักษา. (2547). ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับแนวทางการจัดการในประเทศไทย.**วารสาร มฉก. วิชาการ, 8**(15), 59-69.

พรวิวาห์ กึกก้อง. (2564). **ผลกระทบจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง**. [Online] .Available : https://sites.google.com/site/resourcemanagemen00/phlk-ra-thb-cak-kar-chi-naman-cheux-pheling [2565, มีนาคม 1].

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. (2551). **คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ**. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วัฒนณรงค์ มากพันธ์, ธัญญารัตน์ รัตนถาวร, อุดม ทิพย์รักษ์, วรรธนศักดิ์ สุขสง และสมพงศ์ โอทอง. (2564). ศักยภาพการให้ค่าพลังงานความร้อนของขยะเทศบาล การณีศึกษาเทศบาลพรหมโลก. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ววท.), 29**(4), 587-603.

ศรัณย์พงศ์ ทองเรือง, กานต์กวี แคล้วเครือ, พงศธร พรมบุตร และสุภาวดี มานะไตรนนท์. (2564). การเปรียบเทียบผลผลิต ลักษณะทางพืชอาหารสัตว์ความหวาน และคุณค่าทางโภชนะของหญ้าหวาน (*Pennisetum purpureum cv. Mahasarakham*) และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 (*Pennisetum purpureum x Pennisetum americanum*) ที่อายุการตัดต่างกัน. **วารสารแก่นเกษตร, 49**(5), 1092-1102.

ศิริขวัญ กาศเกษม และฐิติพร เจาะจง. (2557). เชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์และหญ้าแฝก. ใน **การประชุมวิชาการระดับชาติ "พิบูลสงครามวิจัย" และนิทรรศการ "การพัฒนาศักยภาพการท่องเที่ยว" จากท้องถิ่นสู่อาเซียน วันที่ 19-20 กุมภาพันธ์ 2557**(หน้า 72-76). พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยราชภัฏพิลบูลสงคราม.

ศุภชัย ธรรมศิริทรัพย์. (2559). **การศึกษาค่าพลังงานความร้อนของเชื้อเพลิงอัดแท่งจากหญ้าเนเปียร์**. วิทยนิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. (2547). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง**. [Online] . Available : http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps238_47.pdf [2565, เมษายน 6].

หทัย การณ์สูงเนิน และสุมนทิพย์ บุนนาค. (2557). การย่อยสลายน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วโดยสาหร่ายคลอเรลลา (*Chlorella* sp.) และสาหร่ายชินนิโคคอกคัส (*Synechoccocus* sp.). **รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 15 (the 15th Graduate Research Conferences)** (หน้า 828-835). ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

อุดมศักดิ์ บุญมีรติ และพันธวัศ สัมพันธ์พานิช. (2563). การกำจัดสารหนูปนเปื้อนในกากโลหกรรมจากการทำเหมืองแร่ด้วยพืชพลังงานและจลนศาสตร์ไฟฟ้าอย่างยั่งยืน. **วารสารสิ่งแวดล้อม, 24**(4), 1-8.

AWWA, APHA, WPCF. (2017). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 23rd ed. Washington D.C. APHA.

Li, J., Zhao, Z., Li, D.,Tang, X., Feng, H., Qi, W., and Wang, Q. (2017). Multifunctional walnut shell layer used for oil/water mixtures separation and dyes adsorption**. Appl. Surf. Sci, 419**, 869-874.

อัตราส่วนที่เหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันสำหรับผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

Appropriate Ratio of Organic Waste and Grease Waste for Soil Amendments

ธารทิพย์ จงผสม*

Thantip Jongphansom

สุนันทา เลาวัณย์ศิริ**

Sunantha Laowansiri

Received : April 26, 2022

Revised : September 1, 2022

Accepted : October 19, 2022

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเกิดขยะมูลฝอยและกากไขมันของเทศบาลตำบลร่องคำ เก็บตัวอย่าง 7 วันต่อเนื่อง เป็นระยะเวลา 3 เดือน และศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน โดยนำขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันมาผสมกันในอัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันเท่ากับ 0:100 100:0 50:50 20:80 80:20 40:60 และ 60:40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นำวัสดุที่ผสมแล้วเข้าถังหมัก โดยทำการหมักแบบไม่เติมอากาศ เป็นระยะเวลา 90 วัน ผลการศึกษาพบว่าการเกิดขยะมูลฝอยเฉลี่ยวันละ 4,120 กิโลกรัม/วัน อัตราการเกิดขยะมูลฝอย 0.68 กิโลกรัม/คน-วัน ความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 0.15 กิโลกรัม/ลิตร องค์ประกอบขยะมูลฝอยส่วนใหญ่เป็นพลาสติกและโฟม มีค่าร้อยละ 30.04 ผ้า ร้อยละ 19.15 และมูลฝอยเศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ ร้อยละ 16.63 อัตราการเกิดกากไขมัน เท่ากับ 0.0012 กิโลกรัม/คน-วัน หรือเท่ากับ 0.0015 กิโลกรัม/ครัวเรือน-วัน ผลการศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน พบว่าอัตราส่วนวัสดุปรับปรุงดินของขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันทุกอัตราส่วนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.8-11.3 ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 45.10-0.133 เดซิซีเมน/เมตร ไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 20:80 มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.00051 (5.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 60:40

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Students of Master Degree of Science, Program in Environmental Administration and Management, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University

**อาจารย์สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Lecture in Department of Sustainable Environmental Management, Faculty of Environmental and Resource Studies, Mahasarakham University

มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 0.03394 (339.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 0:100, 60:40 และ 80:20 มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 ร้อยละโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 0.02059, 0.01975 และ 0.01804 ตามลำดับ หรือมีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 205.93 197.51 และ 180.36 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ อินทรีย์วัตถุมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 2.139 อินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.241

คำสำคัญ : กากไขมัน / ขยะอินทรีย์ / วัสดุปรับปรุงดิน

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the occurrence rate of solid waste and grease residues of Rong Kham Subdistrict Municipality. To begin the research, the samples were collected 7 days/week continuously for 3 months and the study of appropriate ratio of organic waste and grease waste in the production of soil amendments was commenced by mixing organic waste and grease waste at the ratio of 0:100, 100:0, 50:50, 20:80, 80:20, 40:60 and 60:40 by weight, respectively. The mixed material enters the fermentation tank and the fermentation process, which was done without aeration was finished in 90 days. The results showed that the average solid waste generated 4,120 kg/day and the solid waste generated rate was 0.68 kg/person/day. The weight of municipal solid waste in Rong Kham Subdistrict was 4,120 kg/day with a solid waste volume of 618 liters/day and an average density of 0.15 kg/liter. Most of the solid waste components were plastic and foam, which were 30.04%, followed by fabric 19.15% and food waste, which consists of vegetable and fruit at 16.63%. The rate of grease waste was 0.0012 kg/person-day or equal to 0.0015 kg/household-day. The results of the study on the optimum ratio of organic waste and grease waste for soil amendment production found that all ratios of organic waste and fat residue of soil amendment have pH in the range of 5.8 - 11.3 and the electrical conductivity in the range of 10.45 - 13.03 dS/m. The organic waste to grease waste ratio of 20:80 has the most total nitrogen percentage equal to 0.00051 (5.14 mg/kg). The detection of available phosphorus was found the most in organic waste to grease waste ratio of 60:40 at 0.03394% (339.37 mg/kg). Available potassium was found the most at the ratio of organic waste to grease waste of 0:100, 60:40 and 80:20 which have the percentage at 0.02059, 0.01975 and 0.01804, or 205.93, 197.51 and 180.36 mg/kg, respectively and the difference was statistically significant at the

0.05 level. The ratio of organic waste to grease waste of 40:60 has the most of organic matter equal to 2.139%. The ratio of organic waste to grease waste of 40:60 also had the most of organic carbon percentage at 1.241.

Keywords : Grease Waste / Organic Waste / Soil Amendments

บทนำ

ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ ในปี พ.ศ. 2563 ประมาณ 25.37 ล้านตัน หรือประมาณ 69,322 ตัน/วัน จังหวัดกาฬสินธุ์ มีปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้น ประมาณ 746.00 ตัน/วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) ปัจจุบันการบริหารจัดการมูลฝอยเป็นวาระแห่งชาติที่ทุกหน่วยงานต้องมีส่วนร่วมกันผลักดัน การจัดการขยะมูลฝอยในพื้นที่ของตนรับผิดชอบ เพื่อให้เกิดการดำเนินการจัดการปัญหาอย่างเป็นรูปธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีบทบาทหน้าที่จัดการมูลฝอยโดยตรงตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 เทศบาลตำบลร่องคำ อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์มีการบริหารจัดการมูลฝอยทั้งต้นทาง กลางทาง และปลายทาง แม้ว่าในปัจจุบันเทศบาลตำบลร่องคำสามารถกำจัดและเก็บรวบรวมได้มากขึ้น ปัญหาตกค้างน้อยลง แต่ปัญหาการกำจัดขยะมูลฝอยไม่ถูกสุขลักษณะยังมีอยู่มาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) การตกค้างของขยะเหล่านั้นก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา เช่น เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของโรค ก่อให้เกิดความรำคาญ ส่งกลิ่นเหม็น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ก่อให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (กิตติ, 2553; พีรยา และจำลอง, 2557)

นอกจากปัญหาด้านการจัดการขยะแล้ว การเพิ่มจำนวนของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจส่งผลให้เกิดการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างต่อเนื่องของของเสียจำพวกน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) จากอุตสาหกรรมอาหารและการปรุงประกอบอาหารจากครัวเรือนและร้านอาหาร ซึ่งจำเป็นต้องได้รับการจัดการที่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากน้ำมันและไขมันนั้นจัดเป็นของเสียอินทรีย์ประเภทหนึ่งซึ่งหากไม่ถูกจัดการอย่างเหมาะสม อาจก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้หากถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ผลการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ไขมันและน้ำมันนั้นเป็นสารมลพิษชนิดหนึ่งที่มักพบอยู่ในน้ำเสียชุมชน คิดเป็นปริมาณร้อยละ 10 ของปริมาณสารอินทรีย์ที่พบในน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ด้วยเหตุนี้การติดตั้งบ่อดักไขมันจึงเป็นมาตรการที่กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมให้ความสำคัญในการช่วยลดปัญหาผลกระทบจากน้ำมันและไขมันต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งน้ำผิวดิน ทางเทศบาลตำบลร่องคำได้รับงบประมาณสนับสนุนถังดักไขมันจากสำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ชุมชนนำไปใช้ประโยชน์ในครัวเรือนและเป็นการบำบัดน้ำเสียชุมชนขั้นต้น ช่วยลดความสกปรกของน้ำเสียเบื้องต้นก่อนส่งน้ำเสียไปยังระบบบำบัดต่อไป โดยกากไขมันจากบ่อดักไขมันสามารถนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การทำเทียนหอม สบู่เหลวเพื่อการซักล้าง ไบโอดีเซล การทำปุ๋ยหมัก และการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง เป็นต้น (นัทพงศ์, 2557)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยอัตราการเกิดขยะมูลฝอย องค์ประกอบของขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นจำนวนมาก (เชิดชัย และถวิล, 2561; ประกายรุ้ง และวนิดา, 2562; พระอนุชิต และสุนันทา, 2564; พีรยา และจำลอง, 2557) และมีการศึกษาอัตราการเกิดกากไขมัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551; นัทพงศ์, 2557) ซึ่งมีการศึกษาวิจัยค่อนข้างน้อยและข้อมูลที่มีก็ล้าสมัย ในขณะที่งานวิจัยการใช้วัตถุดิบต่างๆ เพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์พบว่ามีงานวิจัยเป็นจำนวนมาก เช่น ใบจามจุรี และแหนแดง (ขวัญฤทัย และคนอื่นๆ, 2561) งานวิจัยที่นำกากไขมันจากถังดักไขมันมาผสมกับวัสดุอื่นๆ เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยอินทรีย์พบว่ามีงานวิจัยอยู่ค่อนข้างน้อย เช่น งานวิจัยของพันธวัศ และคนอื่นๆ (2562) ศึกษาวิธีปรับปรุงคุณภาพของกากไขมันขั้นต้น และความเป็นไปได้ในการหมักกากไขมันร่วมกับวัสดุอินทรีย์เหลือใช้ต่าง ๆ กากไขมันนำมาจากบ่อดักกากไขมันของโรงแรมในพื้นที่เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี แล้วนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพขั้นต้นด้วยสารปรับปรุงกากไขมัน 4 ชนิด คือ กรดฟอสฟอริก กรดไนตริก น้ำหมักชีวภาพ และโซเดียมไฮโดรเจนซัลเฟต จากนั้นผสมและหมักกากไขมันที่ปรับปรุงคุณภาพขั้นต้นกับมูลโคและขี้เลื่อยที่อัตราส่วน 40:50:10 โดยน้ำหนัก แต่เนื่องจากในการนำไปใช้จริงการปรับปรุงคุณภาพของกากไขมันขั้นต้นเป็นการยุ่งยากในการใช้งานของชุมชน อีกทั้งไม่สามารถทราบถึงธาตุอาหารหลักของการหมักกากไขมันให้เป็นปุ๋ยหมักอย่างแท้จริงได้

งานวิจัยนี้ได้นำขยะมูลฝอยอินทรีย์และกากไขมันจากถังดักไขมันแต่ละครัวเรือนที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลตำบลร่องคำ นำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่อีกครั้ง โดยไม่มีการปรับปรุงขั้นต้นกากไขมัน เพื่อให้ชุมชนสามารถนำไปใช้ได้จริง งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเกิดขยะมูลฝอยและกากไขมันของเทศบาลตำบลร่องคำ อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์ และศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาอัตราการเกิดขยะมูลฝอย

1.1 การเก็บตัวอย่าง

ระยะเวลาที่ทำการศึกษาอัตราการเกิดขยะมูลฝอย ทำการศึกษา 7 วันต่อเนื่อง ทุกเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน (กันยายน-พฤศจิกายน 2561) โดยศึกษาจากบ่อทิ้งขยะเทศบาลตำบลร่องคำ อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์

1.2 การสุ่มตัวอย่างขยะมูลฝอย (Refuse random sampling)

การสุ่มตัวอย่างมูลฝอย โดยนำขยะมูลฝอยทั้งหมดมาเทกองรวมกันบนอุปกรณ์ปูพื้นที่ได้เตรียมไว้ ทำการคลุกเคล้าให้องค์ประกอบต่าง ๆ กระจายกันอย่างทั่วถึง จากนั้นกองขยะมูลฝอยให้เป็นรูปกรวย แบ่งกองขยะมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) ทำการเลือกตัวอย่าง 2 ส่วนที่กองอยู่ตรงกันข้าม ที่เหลือแยกทิ้งไป ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะได้ปริมาณขยะมูลฝอยตามที่ต้องการ โดยปกติจะเหลือตัวอย่างขยะมูลฝอยไว้ประมาณ 50 ลิตร จึงนำตัวอย่างขยะมูลฝอยไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นปกติ และองค์ประกอบขยะมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

1.3 การหาค่าอัตราการเกิดขยะมูลฝอย

การหาค่าอัตราการเกิดขยะมูลฝอย โดยนำขยะที่เกิดขึ้นแต่ละวันมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปหารด้วยประชากรและหารด้วยจำนวนวันที่ทำการศึกษา หน่วยค่าอัตราการเกิดขยะมูลฝอย คือ กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2564)

1.4 การหาความหนาแน่นปกติ (Bulk density)

การหาความหนาแน่นปกติ โดยนำตัวอย่างขยะมูลฝอยที่ได้จากการ Quartering และผ่านการคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันจนเหลือประมาณ 50 ลิตร ชั่งน้ำหนักภาชนะใส่ขยะมูลฝอย ตักขยะมูลฝอยใส่ภาชนะสำหรับตวงขยะมูลฝอยที่ชั่งน้ำหนักให้เต็มโดยไม่ต้องมีการอัดเพิ่มเติม จากนั้นยกภาชนะให้สูงจากพื้นประมาณ 30 เซนติเมตร และปล่อยให้กระแทกกับพื้น ทำซ้ำกัน 3 ครั้ง ถ้าปริมาณของขยะมูลฝอยในภาชนะลดต่ำกว่าระดับก็เติมขยะมูลฝอยลงไปถึงระดับภาชนะที่ใช้ตวง โดยไม่ต้องมีการอัดเพิ่มแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักมูลฝอยในภาชนะตวง และจดบันทึกไว้ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความหนาแน่นปกติ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ยเป็นค่าความหนาแน่นปกติ การคำนวณค่าความหนาแน่นปกติใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าความหนาแน่นปกติ (กิโลกรัม/ลิตร หรือลูกบาศก์เมตร/ตัน)} = \frac{\text{น้ำหนักรวมขยะมูลฝอย}}{\text{ปริมาตรถังตวง}}$$

1.5 การหาองค์ประกอบขยะมูลฝอย (Composition)

การหาองค์ประกอบขยะมูลฝอย โดยนำตัวอย่างขยะมูลฝอยที่ได้จากการ Quartering จนเหลือประมาณ 50 ลิตร มาคัดแยกประเภทชั่งน้ำหนัก และจดบันทึกไว้ แล้วมาแยกองค์ประกอบออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้ 1. เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ (Garbage) 2. กระดาษ (Paper) 3. พลาสติก (Plastics) และโฟม (Foam) 4. ยาง (Rubber) 5. หนัง (Leather) 6. ผ้า (Textile) 7. ไม้ (Wood) 8. แก้ว (Glass) 9. โลหะ (Metal) 10. หิน (Stone) และกระเบื้อง (Ceramic) 11. มูลฝอยที่เป็นอันตราย (Hazardous Waste) 12. อื่นๆ (Others) แล้วชั่งน้ำหนักขยะมูลฝอยในแต่ละประเภทนั้น ๆ การคำนวณค่าองค์ประกอบขยะมูลฝอยแต่ละประเภทจะใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{องค์ประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละชนิด (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักขยะมูลฝอยแต่ละชนิด}}{\text{น้ำหนักขยะมูลฝอยรวมทั้งหมด}} \times 100$$

2. ศึกษาอัตราการเกิดกากไขมัน

การศึกษากากไขมันของเทศบาลตำบลร่องคำ อำเภอร่องคำ จังหวัดกาฬสินธุ์ โดยศึกษาปริมาณการเกิดกากไขมันเฉพาะครัวเรือนที่มีถังดักไขมัน จำนวน 100 ครัวเรือน โดยมีผู้อยู่อาศัย จำนวน 125 คน ที่ระยะเวลาในการเก็บกากไขมันในถังดักไขมันเป็นเวลา 7 วันต่อเนื่อง ทุกเดือนเป็นระยะเวลา 3 เดือน (กันยายน-พฤศจิกายน 2561) อัตราการเกิดกากไขมันจะใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$\text{อัตราการเกิดกากไขมัน (กิโลกรัมต่อคนต่อวัน)} = \frac{\text{น้ำหนักกากไขมัน}}{\text{จำนวนประชากร} \times \text{จำนวนวันที่ทำการศึกษา}}$$

$$\text{อัตราการเกิดกากไขมัน (กิโลกรัมต่อครัวเรือนต่อวัน)} = \frac{\text{น้ำหนักกากไขมัน}}{\text{จำนวนครัวเรือน} \times \text{จำนวนวันที่ทำการศึกษา}}$$

3. ศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

การเตรียมขยะอินทรีย์ โดยคัดแยกมูลฝอยอินทรีย์ออกจากมูลฝอยรวมของเทศบาลตำบลร่องคำให้ได้ปริมาณประมาณ 50 กิโลกรัม รวบรวมเศษใบไม้แห้งภายในเทศบาลตำบลร่องคำให้ได้ปริมาณประมาณ 50 กิโลกรัม สับมูลฝอยอินทรีย์และเศษใบไม้แห้งให้มีขนาดประมาณ 1-2 นิ้ว คลุกเคล้าวัสดุที่ปรับขนาดแล้วให้ทั่วถึง โดยมีอัตราส่วนมูลฝอยอินทรีย์และเศษใบไม้ ได้แก่ อัตราส่วนขยะอินทรีย์ (ขยะสดจากเศษอาหารและตลาดสด) ต่อเศษใบไม้แห้ง เท่ากับ 1:1 โดยน้ำหนัก

กากไขมัน โดยนำกากไขมันที่ได้จากถังดักไขมันในแต่ละครัวเรือน และเก็บเศษวัสดุที่ปนเปื้อนมากับกากไขมันออก หลังจากนั้นนำกากไขมันมาชั่งน้ำหนัก เพื่อทราบปริมาณของกากไขมัน

3.2 ขั้นตอนในการศึกษาทดลอง

นำขยะอินทรีย์และกากไขมันจากการเตรียมวัตถุดิบมาผสมกันในอัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 0:100, 100:0, 50:50, 20:80, 80:20, 40:60 และ 60:40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ นำวัสดุที่ผสมแล้วเข้าถังหมัก โดยทำการหมักแบบไม่เติมอากาศและพรมน้ำเพื่อรักษาความชื้นในกองหมักปุ๋ยร้อยละ 40-60 พลิกวัสดุหมักทุก 10 วัน ตรวจสอบวัสดุปรับปรุงดินที่ผ่านการหมักที่ระยะเวลา 90 วัน วิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ อุณหภูมิ (Temperature), ความเป็นกรด-ด่าง (pH), ไนโตรเจนทั้งหมด (Total Nitrogen), ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Phosphorus), โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Available Potassium), อินทรีย์วัตถุ (Organic Matter, OM) อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, OC), ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3.3 วิธีการวิเคราะห์

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุปรับปรุงดิน ได้แก่ อุณหภูมิใช้ Thermometer, ความเป็นกรด-ด่าง ใช้ Electrometer, ไนโตรเจนทั้งหมด โดยวิธี Kjeldahl Method, ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยวิธี Bray II and Blue Method, โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยวิธี Cobaltrinitrite Method, อินทรีย์วัตถุ และอินทรีย์คาร์บอน โดยวิธี Walkley และ Black และการนำไฟฟ้า ใช้ Electrical Conductivity Meter (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547; กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ทดสอบอิทธิพลของกลุ่มทดลอง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน F-Test (One – Way ANOVA) โดยใช้ความแตกต่างทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($P<0.05$) (อนันต์ชัย, 2549)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาอัตราการเกิดขยะมูลฝอย

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักขยะมูลฝอย ปริมาตรขยะมูลฝอย ความหนาแน่นปกติ และปริมาณขยะเฉลี่ย 7 วัน ของขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลตำบลร่องคำ

น้ำหนักขยะมูลฝอย (กิโลกรัม/วัน)	ปริมาตรขยะมูลฝอย (ลิตร/วัน)	ความหนาแน่นปกติเฉลี่ย (กิโลกรัม/ลิตร)	จำนวนประชากร (คน)	อัตราการเกิดขยะมูลฝอย (กิโลกรัม/คน/วัน)
4,120	618	0.15	6,089	0.68

จากตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักขยะมูลฝอย ปริมาตรขยะมูลฝอย ความหนาแน่นปกติ และปริมาณขยะเฉลี่ย 7 วัน ของขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลตำบลร่องคำ พบว่าน้ำหนักขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลร่องคำเท่ากับ 4,120 กิโลกรัม/วัน โดยมีปริมาตรขยะ 618 ลิตร/วัน ความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 0.15 กิโลกรัม/ลิตร และมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 0.68 กิโลกรัม/คน-วัน จากจำนวนประชากร 6,089 คน

ตารางที่ 2 องค์ประกอบขยะมูลฝอยในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลร่องคำ

องค์ประกอบของขยะมูลฝอย	ขยะมูลฝอย (กรัม)	ขยะมูลฝอย (ร้อยละ)
เศษอาหาร เศษผัก ผลไม้	224.29	16.63
กระดาษ	131.13	9.72
พลาสติก และโฟม	405.20	30.04
ยาง	37.40	2.77
หนัง	7.10	0.53
ผ้า	258.34	19.15
ไม้	152.00	11.27
แก้ว	10.50	0.78
มูลฝอยที่เป็นอันตราย	45.39	3.37
อื่นๆ	77.45	5.74
รวม	**1,348.8**	**100.00**

จากตารางที่ 2 แสดงองค์ประกอบขยะมูลฝอยเฉลี่ย 7 วัน ของเทศบาลตำบลร่องคำ พบว่า องค์ประกอบขยะมูลฝอยส่วนใหญ่เป็นพลาสติกและโฟม มีค่าร้อยละ 30.04 ผ้า ร้อยละ 19.15 และมูลฝอยเศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ ร้อยละ 16.63

2. ผลการศึกษาอัตราการเกิดกากไขมัน

การศึกษากากไขมันครัวเรือนของเทศบาลตำบลร่องคำ โดยศึกษากากไขมันเฉพาะครัวเรือนที่มีถังดักไขมัน จำนวน 100 ครัวเรือน (หลัง) มีผู้อยู่อาศัย จำนวน 125 คน ที่ระยะเวลาในการเก็บกักกากไขมันในถังดักไขมันเป็นเวลา 7 วัน พบว่ามีการไขมันในถังดักไขมัน 1.05 กิโลกรัม โดยพบว่าอัตราการเกิดกากไขมัน เท่ากับ 0.0012 กิโลกรัม/คน-วัน หรือเท่ากับ 0.0015 กิโลกรัม/ครัวเรือน-วัน

3. ผลการศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์วัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันต่างๆ

อัตราส่วนขยะอินทรีย์: กากไขมัน	ความเป็นกรด-ด่าง		ค่าการนำไฟฟ้า		ไนโตรเจนทั้งหมด		ไนโตรเจนทั้งหมด	
	-	S.D.	เดซิซีเมน/เมตร	S.D.	มก./กก.	S.D.	ร้อยละ	S.D.
0:100	9.4^{e}	0.2	10.45^{a}	0.26	2.03^{b}	0.02	0.00020^{b}	0.00000
100:0	11.3^{f}	1.2	13.03^{f}	0.41	1.46^{a}	0.04	0.00015^{a}	0.00001
20:80	$8.2^{b, d}$	0.5	10.45^{b}	0.01	5.14^{g}	0.03	0.00051^{g}	0.00003
40:60	6.0^{a}	0.2	$13.03^{d, a, c, e}$	0.26	4.51^{f}	0.19	0.00045^{f}	0.00002
50:50	$8.8^{c, d, e}$	0.5	$11.83^{a, c}$	0.26	2.41^{c}	0.01	0.00024^{c}	0.00000
60:40	$7.9^{b, c}$	0.5	11.41^{b}	0.49	2.70^{d}	0.01	0.00027^{d}	0.00000
80:20	5.8^{a}	0.4	$10.74^{d, a, c, e}$	0.09	3.04^{e}	0.06	0.00030^{e}	0.00001

หมายเหตุ : ตัวเลข a, b, c, d, e, f, g ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

อัตราส่วนขยะอินทรีย์: กากไขมัน	ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช		ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช		โพสแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช		โพสแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช	
	มก./กก.	S.D.	ร้อยละ	S.D.	มก./กก.	S.D	ร้อยละ	S.D.
0:100	146.82[a]	34.40	0.01468[a]	0.0147	136.59[b]	0.00121	0.01366[b]	0.0137
100:0	305.59[d]	1.67	0.03056[d]	0.0306	205.93[f]	0.00070	0.02059[f]	0.0206
20:80	213.92[b]	3.62	0.02139[b]	0.0214	103.99[a]	0.00125	0.00897[a]	0.0104
40:60	229.77[b, c]	13.55	0.02298[b, c]	0.0230	177.34[c, d]	0.00000	0.01773[c, d]	0.0177
50:50	253.17[c]	20.15	0.02532[c]	0.0253	132.73[b]	0.00112	0.01327[b]	0.0133
60:40	339.37[e]	3.14	0.03394[e]	0.0339	197.51[c, e, f]	0.00344	0.01975[c, e, f]	0.0197
80:20	135.78[a]	4.60	0.01358[a]	0.0136	180.36[d, e, f]	0.00052	0.01804[d, e, f]	0.0180

หมายเหตุ : ตัวเลข a, b, c, d, e, f, g ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 (ต่อ)

อัตราส่วนขยะอินทรีย์: กากไขมัน	อินทรียวัตถุ		อินทรีย์คาร์บอน	
	ร้อยละ	S.D.	ร้อยละ	S.D.
0:100	0.898[d]	0.0068	0.521[d]	0.0040
100:0	0.377[c]	0.0212	0.219[c]	0.0123
20:80	0.030[a]	0.0204	0.017[a]	0.0118
40:60	2.139[g]	0.0156	1.241[g]	0.0090
50:50	1.819[e]	0.0123	1.055[e]	0.0071
60:40	1.978[f]	0.0297	1.147[f]	0.0172
80:20	0.112[b]	0.0180	0.065[b]	0.0059

หมายเหตุ : ตัวเลข a, b, c, d, e, f, g ที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ($P \leq 0.05$)

อัตราส่วนเหมาะสมของขยะอินทรีย์และกากไขมันในการผลิตวัสดุปรับปรุงดิน (ตารางที่ 3) พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.8-11.3 ที่อัตราส่วนขยะอินทรย์ต่อกากไขมัน 100:0, 0:100 และ 50:50 ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 11.3, 9.4 และ 8.8 ตามลำดับ ค่าการค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 45.10-0.133 เดซิซีเมน/เมตร ไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 20:80 มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด

เท่ากับ 00051.0 (5.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมาคืออัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 00045.0 (4.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 60:40 มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 03394.0 (339.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมาคืออัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 100:0 มีค่าร้อยละฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 0.03056 (305.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) โดยพบว่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 0:100, 60:40 และ 80:20 มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ 0.05 ร้อยละโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 0.02059, 0.01975 และ 0.01804 ตามลำดับ หรือมีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 205.931, 197.509 และ 180.364 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ อินทรีย์วัตถุมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 2.139 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 60:40 มีค่าร้อยละอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.978 อินทรีย์คาร์บอนมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.241 รองลงมาคือที่อัตราส่วนอินทรีย์ต่อกากไขมัน 60:40 มีค่าร้อยละอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.147

อภิปรายผล

น้ำหนักขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลร่องคำเท่ากับ 4,120 กิโลกรัม/วัน โดยมีปริมาตรขยะ 618 ลิตร/วัน ความหนาแน่นปกติเฉลี่ย 0.15 กิโลกรัม/ลิตร และมีอัตราการเกิดขยะมูลฝอย 0.68 กิโลกรัม/คน-วัน จากจำนวนประชากร 6,089 คน งานวิจัยของพระอนุชิตและสุนันทา (2564) ได้สำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของวัดสามประเภท พบว่าวัดศรีจันทร์มีค่าความหนาแน่นปกติเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 0.125 กิโลกรัม/ลิตร รองลงมาคือวัดมิ่งโพธิ์วนาราม และวัดป่ารัตนาราม เท่ากับ 0.087 และ 0.080 กิโลกรัม/ลิตร จากงานวิจัยของประกายรุ้งและวนิดา (2562) ศึกษาปริมาณ ลักษณะของขยะและความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะของนักท่องเที่ยว กรณีศึกษาตลาดริมน้ำวัดศาลเจ้า จังหวัดปทุมธานี พบว่าความหนาแน่นปกติเฉลี่ยของขยะในวันจันทร์-ศุกร์ มีค่าเท่ากับ 36.40 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (0.0364 กิโลกรัม/ลิตร) ซึ่งน้อยกว่าขยะในวันเสาร์-อาทิตย์ โดยมีค่าความหนาแน่นปกติเฉลี่ยเท่ากับ 44.70 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (0.0447 กิโลกรัม/ลิตร) งานวิจัยเชิดชัย และถวิล (2561) ศึกษาปริมาณ องค์ประกอบและค่าความร้อนของมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบเตาเผามูลฝอยชุมชนขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าสองคอน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสาคาม พบว่า ความหนาแน่นปกติเฉลี่ยของขยะมูลฝอย มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.105 กิโลกรัม/ลิตร ซึ่งพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้

องค์ประกอบขยะมูลฝอยเทศบาลตำบลร่องคำ ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกและโฟม มีค่าร้อยละ 30.04 ผ้าร้อยละ 19.15 และมูลฝอยเศษอาหาร เศษผัก ผลไม้ ร้อยละ 16.63 โดยพบว่าขยะมูลฝอยพวกเศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ เป็นองค์ประกอบขยะที่พบมากเป็นอันดับสาม ซึ่งเป็นขยะอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้เร็วและเกิดกลิ่นเหม็น อีกทั้งเป็นแหล่งเพาะพันธ์ของแมลงและสัตว์พาหะนำโรคต่าง ๆ ซึ่งชุมชนในเขตพื้นที่เทศบาลตำบลร่องคำมีการนำขยะเหล่านี้คัดแยกตั้งแต่ต้นทาง แล้วนำไปผลิตปุ๋ยหมัก ปุ๋ยน้ำชีวภาพ ก๊าซชีวภาพ ทำให้ลดบริมาณขยะประเภทนี้ได้ และไม่เกิดการปนเปื้อนของขยะอีกด้วย โดยขยะมูลฝอยส่วนมากจะเป็นถุงพลาสติกและโฟม โดยขวดพลาสติกที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ไม่ค่อยพบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากต้องการลดปริมาณขยะ

ประเภทถุงพลาสติก และโฟม แนวทางการจัดการคือ ควรคัดแยกขยะไม่ให้ปนเปื้อน แล้วรวบรวมขยะพลาสติกเพื่อนำไปขายหรือส่งไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงขยะสำหรับใช้ในการผลิตไฟฟ้า หรือหากขยะประเภทถุงพลาสติกและโฟม ที่มีการปนเปื้อน สามารถหาเครื่องจักรมาล้างถุงพลาสติก และโฟม ผึ่งให้แห้ง รวบรวมเพื่ออัดเป็นแท่งส่งขายต่อไป งานวิจัยของพระอนุชิต และสุนันทา (2564) ได้สำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของวัดสามประเภท พบว่าองค์ประกอบขยะมูลฝอยของวัดสามประเภทพบเศษอาหาร เศษผัก และเศษผลไม้ มากที่สุด โดยองค์ประกอบขยะมูลฝอยของวัดศรีจันทร์ พบเศษอาหาร เศษผัก และเศษผลไม้ เท่ากับร้อยละ 40.56 ตามด้วยวัดป่ารัตนาราม เท่ากับร้อยละ 30.61 และวัดมิ่งโพธิ์วนาราม เท่ากับร้อยละ 19.84 ตามลำดับ งานวิจัยเชิดชัยและถวิล (2561) ศึกษาปริมาณ องค์ประกอบและค่าความร้อนของมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบเตาเผามูลฝอยชุมชนขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าสองคอน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสาคาม พบว่า องค์ประกอบของขยะมูลฝอยที่พบมากที่สุดคือถุงพลาสติก ร้อยละ 33.28 รองลงมาคือ เศษผัก ผลไม้ ร้อยละ 18.45 และเศษผ้า ร้อยละ 18.36 ตามลำดับ

อัตราการเกิดกากไขมันเทศบาลตำบลร่องคำ เท่ากับ 0.0012 กิโลกรัม/คน-วัน หรือเท่ากับ 0.0015 กิโลกรัม/ครัวเรือน-วัน ปริมาณน้ำมันและไขมันที่ได้จากบ่อดักไขมันนั้นมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษและปริมาณน้ำที่ใช้ น้ำมันและไขมันมีปริมาณมากที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มภัตตาคารและมีปริมาณน้อยที่สุดในน้ำทิ้งจากกลุ่มหอพัก บ้านเรือนและสำนักงาน มีปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้ง 500 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งเกิดจากการประกอบอาหาร และปริมาณที่ได้จากถังดักไขมันอยู่ที่ 0.8 และ 0.2 กิโลกรัม/ครัวเรือน-วัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551; นัทพงศ์, 2557) โดยพบว่างานวิจัยนี้มีอัตราการเกิดน้ำมันและไขมันที่ได้จากถังดักไขมันน้อย เนื่องจากเทศบาลตำบลร่องคำเป็นเทศบาลในชุมชนนอกเมืองอีกทั้งการบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์และไขมันน้องจึงส่งผลให้อัตราการเกิดน้ำมันและไขมันที่ได้จากถังดักไขมันน้อยตามไปด้วย

ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.8-11.3 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 5.5-8.5 โดยพบว่าที่อัตราส่วนขยะอินทรย์ต่อกากไขมัน 100:0, 0:100 และ 50:50 มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 11.3, 9.4 และ 8.8 ตามลำดับ ซึ่งพบว่ามีค่าความเป็นกรด-ด่าง เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ทั้งนี้หากมีการนำอัตราส่วนขยะอินทรย์ต่อกากไขมันที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง เกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร ไปใช้สามารถนำไปผสมกับวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่นหรือปุ๋ยชนิดอื่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่ำ เช่น ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

ค่าการนำไฟฟ้า อยู่ในช่วง 45.10-13.03 เดซิซีเมน/เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ค่าการนำไฟฟ้า ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร โดยงานวิจัยนี้พบว่าที่อัตราส่วนขยะอินทรย์ต่อกากไขมันทุกอัตราส่วนค่าการนำไฟฟ้าเกินมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นการนำไปใช้ควรนำไปผสมกับวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่นหรือปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกินเกณฑ์

มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) หรือสามารถใช้วัสดุปรับปรุงดินในพืชที่ทนความเค็มได้ จากงานวิจัยของขวัญฤทัย และคนอื่นๆ (2561) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง โดยนำใบจามจุรีและแหนแดงมาผสมรวมกันแล้วพรมด้วยน้ำผสม พด.1 จนทั่วกองปุ๋ยหมัก พบว่าค่าการนำไฟฟ้า เท่ากับ 0.7 เดซิซีเมน/เมตร

ไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 20:80 มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 0.00051 (5.14 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) รองลงมาคืออัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับ 0.00045 (4.51 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) พบว่างานวิจัยนี้อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันทุกอัตราส่วนมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร ค่าไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก งานวิจัยนี้มีค่าไนโตรเจนทั้งหมดต่ำเนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุปรับปรุงดินมีองค์ประกอบคาร์บอน ได้แก่ กากไขมัน และใบไม้แห้ง ในขณะที่วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตวัสดุปรับปรุงดินที่มีองค์ประกอบไนโตรเจน ได้แก่ ขยะอินทรีย์ ซึ่งมีอัตราส่วนที่น้อย ส่งผลให้วัสดุปรับปรุงดินที่ผลิตได้มีค่าไนโตรเจนน้อยตามไปด้วย จากงานวิจัยของขวัญฤทัย และคนอื่นๆ (2561) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง โดยนำใบจามจุรีและแหนแดงมาผสมรวมกันแล้วพรมด้วยน้ำผสม พด.1 จนทั่วกองปุ๋ยหมัก พบว่าค่าไนโตรเจนทั้งหมด เท่ากับร้อยละ 2.4

ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 60:40 ค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 339.37 มิลลิกรัม/กิโลกรัม รองลงมาคืออัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 100:0 มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 305.59 มิลลิกรัม/กิโลกรัม จากผลการศึกษางานวิจัยนี้พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากกว่า 45 มิลลิกรัม/กิโลกรัมซึ่งมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชสูงมาก โดยพบว่าเมื่อนำไปใช้ประโยชน์กับพืชจะได้ผลผลิตสูง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ค่าฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากงานวิจัยของขวัญฤทัย และคนอื่นๆ (2561) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง โดยนำใบจามจุรีและแหนแดงมาผสมรวมกันแล้วพรมด้วยน้ำผสม พด.1 จนทั่วกองปุ๋ยหมัก พบว่าฟอสฟอรัสทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 0.3

โพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 0:100, 60:40 และ 80:20 มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไม่แตกต่างกันตามนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าร้อยละโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืช เท่ากับ 02059.0, 01975.0 และ 01804.0 ตามลำดับ มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชเท่ากับ 205.93, 197.51 และ 180.36 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ โดยพบว่าในงานวิจัยนี้มีค่าโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชต่ำมาก โดยมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 0.5 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ค่าฟอสฟอรัสไม่น้อยกว่า ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก จากงานวิจัยของขวัญฤทัย และคนอื่นๆ (2561) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง โดยนำใบจามจุรีและแหนแดงมาผสมรวมกันแล้วพรมด้วยน้ำผสม พด.1 จนทั่วกองปุ๋ยหมัก พบว่าค่าร้อยละโพแทสเซียม

ทั้งหมด เท่ากับ 0.4

อินทรีย์วัตถุสูงสุดของวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์วัตถุเท่ากับ 2.139 รองลงมาคือที่อัตราส่วน 60:40 มีค่าร้อยละอินทรียวัตถุเท่ากับ 1.978 โดยพบว่าในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ค่าอินทรีย์วัตถุไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จากงานวิจัยของขวัญฤทัย และคนอื่นๆ (2561) ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง โดยนำใบจามจุรีและแหนแดงมาผสมรวมกันแล้วพรมด้วยน้ำผสม พด.1 จนทั่วกองปุ๋ยหมัก พบว่าค่าร้อยละอินทรียวัตถุ เท่ากับ 5.4 ในขณะที่อินทรีย์คาร์บอนงานวิจัยนี้มากที่สุดของวัสดุปรับปรุงดินที่อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมัน 40:60 มีค่าร้อยละอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.241 รองลงมาคือที่อัตราส่วนอินทรีย์ต่อกากไขมัน 60:40 มีค่าร้อยละอินทรีย์คาร์บอนเท่ากับ 1.147

การเลือกใช้วัสดุปรับปรุงดิน เมื่อต้องการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่มีไนโตรเจนทั้งหมดมากที่สุดควรเลือกใช้อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันที่ 20:80 และ 60: 40 เมื่อต้องการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่มีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมากที่สุดควรเลือกใช้อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันที่เท่ากับ 60:40 เมื่อต้องการใช้วัสดุปรับปรุงดินที่มีค่าอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์คาร์บอนมากที่สุด ควรเลือกใช้อัตราส่วนขยะอินทรีย์ต่อกากไขมันที่ 40:60 วัสดุปรับปรุงดินในงานวิจัยนี้มีค่าการนำไฟฟ้าเกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งค่าการนำไฟฟ้าบ่งบอกถึงความเค็ม ดังนั้นการนำไปใช้ควรนำไปผสมกับวัสดุปรับปรุงดินชนิดอื่นหรือปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้ค่าการนำไฟฟ้าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) หรือสามารถใช้วัสดุปรับปรุงดินในพืชที่ทนความเค็มได้ เช่น ผักสวนครัว ได้แก่ ผักกะหล่ำดอก กะหล่ำปลี มันฝรั่ง กระเทียม เป็นต้น ดอกไม้ ได้แก่ กุหลาบ บานบุรี บานไม่รู้โรย เล็บมือนางเฟื่องฟ้า เป็นต้น พืชไร่และอาหารสัตว์ ได้แก่ ฝ้าย มันสำประหลัง ทานตะวัน ถั่วพุ่ม ถั่วพร้า เป็นต้น ไม้ผลและต้นไม้ ได้แก่ กระถินณรงค์ ขี้เหล็ก ยูคาลิปตัส พุดชา มะขาม ฝรั่ง มะพร้าว อินทผลัม เป็นต้น โดยพบว่างานวิจัยนี้มีค่าธาตุอาหารหลักของวัสดุปรับปรุงดินน้อยกว่ามาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์พ.ศ. 2548 ของกรมวิชาการเกษตร (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เนื่องจากงานวิจัยนี้นำเอาขยะอินทรีย์และของเสียจากกากไขมันในถังดักไขมันในชุมชนมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดินเท่านั้น ไม่ใช่เพื่อการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ ทั้งนี้ในการนำไปใช้ในการเกษตรสามารถปรับใช้โดยผสมร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยชนิดอื่นในอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ธาตุอาหารที่อุดมสมบูรณ์ตามความต้องการของพืชนั้นๆ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยสำหรับบัณฑิตศึกษา (ปริญญาโท) ประจำปีงบประมาณ 2562 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

กิตติ ชยางคกุล. (2553). ผลกระทบด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมจากการจัดการขยะมูลฝอย: กรณีศึกษาการจัดการขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 2**(1), 165-154.

ขวัญฤทัย ทองบุญฤทธิ์, ศุภรัตน์ เฮงตระกูลเวนิช, วิไลลักษณ์ เครือโป้ และปิยภรณ์ จันธิมา. (2561). ศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมักใบจามจุรีและแหนแดง. **สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สทวท), 5**(2), 47-54.

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2551). **คู่มือแนวทางการจัดการน้ำมันและไขมันจากบ่อดักไขมันและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับชุมชน**. กรุงเทพฯ : ทีคิวพี.

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2564). **ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดมูลฝอย พ .ศ. 2564**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2564). **รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2563**. กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2564). **รายงานสถานการณ์สถานที่กำจัดขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2564**. กรุงเทพฯ : เอพี คอนเน็กซ์.

เชิดชัย สมบัติโยธา และถวิล แสนตรง. (2561). **ปริมาณ องค์ประกอบและค่าความร้อนของมูลฝอยที่เข้าสู่ระบบเตาเผามูลฝอยชุมชนขององค์การบริหารส่วนตำบลท่าสองคอน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสาคาม .**รายงานวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

นัทพงศ์ จันทมาศ. (2557). กากไขมันเหลือใช้ไม่ไร้ประโยชน์ การใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง. **วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 8**(1), 47-54.

ประกายรุ้ง ศรีนวลปาน และวนิดา ชูอักษร. (2562). การศึกษาปริมาณ ลักษณะของขยะ และความรู้ความเข้าใจในการจัดการขยะของนักท่องเที่ยว กรณีศึกษาตลาดริมน้ำวัดศาลเจ้า จังหวัดปทุมธานี. **วารสารการแพทย์และสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2**(3), 148-155.

วิชาการเกษตร, กรม. (2548). **ประกาศกรมวิชาการเกษตร เรื่อง มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548**. [Online]**.** Available : http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2548/00172707.PDF [2565, มีนาคม 1].

พระอนุชิต นางาม (อตฺถยุตฺโต) และสุนันทา เลาวัณย์ศิริ. (2564). การสำรวจองค์ประกอบของขยะมูลฝอยของวัดสามประเภท. **วารสารวิจัยสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 10**(2), 108-117.

พีรยา วัชโรทัย และจำลอง โพธิ์บุญ. (2557). การจัดการขยะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นกรณีศึกษา : เทศบาลตำบลเมืองแกลง จังหวัดระยอง. **วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, 10**(2), 71-89.

พัฒนาที่ดิน, กรม. (2547). **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

พัฒนาที่ดิน, กรม. (2548). **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์เพื่อตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 2.** กรุงเทพฯ : สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

พันธวัศ สัมพันธ์พานิช, กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และเพ็ญรดี จันทร์ภิวัฒน์. (2562). การแปรรูปกากไขมันเป็นปุ๋ยหมักด้วยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพขั้นต้น: กรณีศึกษาโรงแรมในพื้นที่เกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธาน. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, **24**(1), 326-339.

ราชกิจจานุเบกษา. (2535). **พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535**. [Online]**.** Available: https://sme.go.th/upload/mod_ download/a136-20-9999-update.pdf [2565, มีนาคม 1]

อนันต์ชัย เขื่อนธรรม (2549). **วิธีการทางสถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน ด้วยวิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

Forecasting Thai Baht to Chinese Yuan Exchange Rates by Exponential Smoothing Method

วรรษา สุดใจ*

Watsa Sudjai

พิมพ์นารา เครือประเสริฐ*

Pimnara Kruaprasert

สุชานันท์ วงษ์ปถัมภ์*

Suchanan Wongpathamp

บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์**

Boonyarit Choopradit

Received : April 20, 2022

Revised : July 19, 2022

Accepted : August 15, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมกับอนุกรมเวลาข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน รวบรวมข้อมูลรายเดือนจากธนาคารแห่งประเทศไทย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 156 ค่า ผู้วิจัยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด ข้อมูลชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 จำนวน 150 ค่า สำหรับการสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการทางสถิติ 2 วิธี ได้แก่ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 6 ค่า นำมาใช้สำหรับเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ โดยใช้เกณฑ์ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ผลการวิจัยพบว่า วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับ

*นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Bachelor of Science program students Statistics Faculty of Science and Technology
Thammasat University

**อาจารย์ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
Lecturer at the Department of Mathematics and Statistics Faculty of Science and Technology
Thammasat University

ข้อมูลอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด ซึ่งมีตัวแบบพยากรณ์เป็น $\hat{y}_{t+m} = 4.901 + 0.0112\sum_{i=1}^{m}\left(0.9\right)^{i}$ เมื่อ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า โดยมีค่าเริ่มต้น คือ เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 (m=1)

คำสำคัญ : อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน / วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ / วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม / ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

ABSTRACT

The objective of this research was to construct the most suitable forecasting model for the international currency exchange rate between Thai baht and Chinese yuan. The data was gathered monthly from the Bank of Thailand (BOT) from January,2009 to December,2021 with 156 values divided into two sets. The first set had 150 values from January,2009 to June,2021 for constructing forecasting models by Holt's exponential smoothing and damped trend exponential smoothing. The second set had six values from July to December,2021 for comparing forecasting accuracy by the criterion of lowest mean absolute percentage error. Results were that the most accurate method is damped trend exponential smoothing, with the model $\hat{y}_{t+m} = 4.901 + 0.0112\sum_{i=1}^{m}\left(0.9\right)^{i}$ where m represented number of periods to forecast ahead with a starting value of July 2021 (m=1).

Keywords : Exchange Rates Thai Baht to Chinese Yuan / Holt's Exponential Smoothing / Damped Trend Exponential Smoothing / Mean Absolute Percentage Error

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ตลาดแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศเป็นตลาดที่มีธุรกรรมขนาดใหญ่ จากการขยายตัวของการค้าและการลงทุนระหว่างประเทศ เนื่องจากประเทศหรือกลุ่มประเทศล้วนมีสกุลเงินแตกต่างกัน จึงต้องมีอัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการเชื่อมโยงระหว่างราคาสินค้าและบริการ ช่วยกำหนดค่าเงิน ในขณะที่อัตราแลกเปลี่ยนมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลา ตามสภาวะเศรษฐกิจของประเทศหรือกลุ่มประเทศที่ใช้เงินสกุลนั้น (บดินทร์, อติ และขวัญกมล, 2562)

โดยอัตราแลกเปลี่ยน มีผลกระทบทั้งทางบวกและทางลบ ต่อเศรษฐกิจประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นการนำเข้า ส่งออก การแข่งขันทางการค้า และการลงทุนของต่างชาติ รวมไปถึงปัจจัยพื้นฐานทางเศรษฐกิจ ถือได้ว่ามีบทบาทสำคัญต่อการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก รวมถึงการส่งออกที่ขยายตัวเพิ่มขึ้น ทั้งในตลาดหลักและตลาดใหม่ โดยเฉพาะตลาดที่ประเทศไทยได้ทำข้อตกลงเขตการค้าเสรี (FTA) มีการขยายตัวในอัตราสูงมาก ส่งผลให้ความต้องการแลกเปลี่ยนเงินบาทเพิ่มขึ้น อีกทั้งการค้าระหว่างประเทศยังสามารถสร้าง

รายได้มหาศาลให้แก่ประเทศ ถึงแม้ว่าการค้าระหว่างประเทศของไทย ส่วนใหญ่ใช้สกุลเงินดอลลาร์สหรัฐในการทำธุรกรรม แต่ดัชนีเงินดอลลาร์สหรัฐเมื่อเทียบกับสกุลเงินตราอื่นๆ มีความผันผวนสูง ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้ประกอบธุรกิจ ที่พึ่งพิงเงินดอลลาร์สหรัฐเป็นหลัก ส่งผลให้รายรับรายจ่ายในรูปแบบเงินบาทไม่แน่นอน ธนาคารแห่งประเทศไทยจึงแนะนำให้ป้องกันความเสี่ยงหลายวิธี ซึ่งหนึ่งในวิธีที่แนะนำ คือ การใช้เงินสกุลท้องถิ่นในการค้าขายระหว่างกัน

จากข้อมูลสถิติการค้าระหว่างประเทศ พ.ศ. 2564 พบว่าประเทศคู่ค้าที่สำคัญของไทย 15 อันดับ ซึ่งมีมูลค่าการค้าสูงเป็นอันดับแรก คือ ประเทศจีน (กระทรวงพาณิชย์, 2564) และการค้ากับประเทศจีน นับวันจะทวีความสำคัญกับเศรษฐกิจ โดยใน พ.ศ. 2552 ทางการจีนเริ่มผลักดันนโยบายสนับสนุนให้เงินหยวนเป็นสกุลเงินสากล (RMB Internationalization) เพื่อการค้าและการลงทุน โดยเริ่มจากการอนุญาตให้ใช้เงินหยวน ชำระค่าสินค้าและบริการระหว่างประเทศ และพัฒนาให้ฮ่องกง เป็นศูนย์กลางเงินหยวนนอกประเทศจีน หรือ “Offshore RMB Business” เป็นต้น ในขณะที่ทางการไทย มีนโยบายส่งเสริมให้ใช้เงินหยวน เพื่อเป็นสกุลเงินทางเลือกนอกจากสกุลหลักที่ใช้กันในปัจจุบัน เพื่อลดความเสี่ยงจากการพึ่งพิงเงินสกุลหลักได้ดีขึ้นในอนาคต (ธนาคารแห่งประเทศไทย, 2562)

นอกจากนี้ เงินหยวนดิจิทัล เริ่มมีบทบาทสำคัญในการแข็งค่าของเงินหยวนเช่นกัน เนื่องจากสกุลเงินดิจิทัลมุ่งเน้นเสถียรภาพของมูลค่าสกุลเงิน ซึ่งออกโดยธนาคารกลาง สามารถรักษามูลค่า และเป็นหน่วยวัดทางบัญชีได้ สามารถซื้อขายได้ง่ายขึ้น และมีความถูกต้องมากกว่าการใช้เงินสด ในทางทฤษฎีนั้น สกุลเงินดิจิทัลจะช่วยเพิ่มความสามารถของรัฐบาลในการป้องกัน ตรวจสอบการฉ้อโกง และอาชญากรรมทางการเงิน สามารถใช้งานในระหว่างประเทศได้ทันที เป็นการลดต้นทุนในการทำธุรกรรมทางการเงิน ทำให้ลดการพึ่งพาสกุลเงินดอลลาร์สหรัฐ และลดบทบาทการกำกับดูแลจากสถาบันการเงินต่างประเทศ ประเทศจีนจึงมีการนำเงินหยวนดิจิทัลมาใช้จริง ตั้งแต่เดือนเมษายน พ.ศ. 2563 ถ้าประเทศจีนสามารถตอบสนองความต้องการ ในการใช้เงินดิจิทัลเพื่อทำธุรกรรมทางการเงินระหว่างประเทศได้ ความต้องการเงินดิจิทัลอาจเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งส่งผลต่อค่าเงินหยวนที่เพิ่มมากขึ้น และมีโอกาสให้เงินหยวนมีสามารถเป็นสกุลเงินสำรองของโลก (Templeton, 2021)

ผู้วิจัยจึงได้เห็นความสำคัญและสนใจ ทำการศึกษาอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน โดยนำข้อมูลในอดีต มาพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนบริหารความเสี่ยง จากอัตราแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้น เพื่อให้ภาครัฐรักษาเสถียรภาพของค่าเงิน และสร้างแผนกลยุทธ์ป้องกันผลกระทบ ที่เกิดจากความผันผวนในอัตราแลกเปลี่ยนของค่าเงินบาท ด้วยการจัดการดำเนินนโยบายทางด้านการเงิน และการลงทุนระหว่างประเทศ ได้อย่างเหมาะสม

เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน มีส่วนประกอบของแนวโน้ม โดยทำการทดสอบแบบวิ่ง (Run test) และพบว่า อนุกรมเวลาข้อมูลไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล จากวิธีการหาค่าดัชนีฤดูกาลรายเดือน ผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบพยากรณ์ พบว่า มีงานวิจัยที่มีข้อมูลของลักษณะของอนุกรมเวลา คล้ายคลึงกับงานวิจัยนี้ ได้แก่ วรางคณา (2556) ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์

ราคาขายปลีกน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยข้อมูลเป็นลักษณะมีแนวโน้มแต่ไม่มีฤดูกาล เพื่อสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ผลการศึกษา ปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด วรางคณา (2559) ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเนื้อไก่แช่แข็งและแช่เย็น โดยข้อมูลเป็นลักษณะมีแนวโน้มแต่ไม่มีฤดูกาล สร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ผลการศึกษา วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด วรางคณา (2562) ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาพริกไทยดำ ข้อมูลมีลักษณะมีแนวโน้มแต่ไม่มีฤดูกาล สร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ผลการศึกษา วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาชุดนี้มากที่สุด ธรณินทร์ (2563) ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินต่างประเทศ 3 สกุลเงิน ได้แก่ ดอลลาร์สหรัฐ ดอลลาร์สิงคโปร์ และเยน สร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังอย่างง่าย วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลวินเทอร์แบบเชิงบวก วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลวินเทอร์แบบเชิงคูณ อารีมา อาฟีมา และโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้า โดยลักษณะของอนุกรมเวลาแตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ตัวแบบโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าให้ผลการพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินต่างประเทศทั้ง 3 สกุลเงิน ที่แม่นยำกว่าตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติทั้ง 5 ตัวแบบพยากรณ์ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าตัวแบบพยากรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นตรงสามารถอธิบายพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินทั้ง 3 ได้ดีกว่าตัวแบบพยากรณ์ทางสถิติ

จากการศึกษางานวิจัยและจากลักษณะข้อมูลอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนที่มีอยู่ คือ ข้อมูล มีลักษณะมีแนวโน้ม และไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ วิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้ได้แก่ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

วิธีดำเนินการวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูล

รวบรวมข้อมูลโดยใช้ข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 156 เดือน จาก ธนาคารแห่งประเทศไทย (Bank of Thailand)

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบพยากรณ์โดยใช้อนุกรมเวลาของอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน โดยดำเนินการแบ่งข้อมูลเป็นสองชุด ชุดที่1 คือ ข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.

2564 จำนวน 150 ค่า ใช้สร้างตัวแบบพยากรณ์ และ ชุดที่2 คือข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 6 ค่า โดยเทคนิคการพยากรณ์อนุกรมเวลาที่ศึกษา คือ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง เป็นวิธีการพยากรณ์ โดยใช้ค่าสังเกตจากอดีตส่วนหนึ่ง หรือทั้งหมดในการสร้างสมการพยากรณ์ ซึ่งน้ำหนักที่ให้กับค่าสังเกต แต่ละค่าแตกต่างกัน เนื่องจากข้อมูลอนุกรมเวลา เกิดความผันแปรจากเหตุการณ์ที่ผิดปกติ ทำให้ไม่เห็นส่วนประกอบของอนุกรมเวลาอื่นๆ ซึ่งวิธีการปรับเรียบช่วยลดอิทธิพลของความผันแปรดังกล่าวได้ ส่งผลให้ส่วนประกอบของอนุกรมเวลาแต่ละส่วนปรากฏชัดเจนขึ้น สามารถพยากรณ์ค่าของอนุกรมเวลาในอนาคตได้ สำหรับวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังนั้นมีหลายวิธี การใช้งานขึ้นอยู่กับลักษณะของอนุกรมเวลา ซึ่งเมื่อพิจารณาตารางที่ 1 พบว่า อนุกรมเวลาข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน มีส่วนประกอบของแนวโน้ม โดยทำการทดสอบแบบวิ่ง (Run test) ซึ่งเป็นการทดสอบว่าข้อมูลนั้นมีลักษณะสุ่มหรือไม่ ถ้าอนุกรมเวลามีส่วนประกอบแนวโน้ม อนุกรมเวลาดังกล่าวจะไม่มีลักษณะสุ่ม และเมื่อพิจารณาตารางที่ 2 พบว่า อนุกรมเวลาข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวนไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อสรุปผลการวิจัย ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้ วิธีการพยากรณ์ที่นำมาใช้ ได้แก่ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับอนุกรมเวลาที่มีเพียงส่วนประกอบของแนวโน้มเท่านั้น ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาล ดังผลการพิจารณาที่กล่าวไปเบื้องต้น จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบตัวแบบของการพยากรณ์ด้วยค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (MAPE) โดยทั้ง 2 วิธี มีการแสดงรายละเอียดดังนี้

การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์)Holt’s exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลา ที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และไม่มีส่วนประกอบของฤดูกาล มีค่าคงที่การปรับเรียบ 2 ตัว คือ ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับ (α) และค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชัน (γ) สามารถเขียนตัวแบบ ณ เวลา t ได้ดังสมการที่ (1) และเขียนตัวแบบพยากรณ์ m ช่วงเวลาล่วงหน้า ณ เวลา t แสดงได้ดังสมการที่ (2) (วรางคณา, 2559)

$$y_t = \beta_0 + \beta_1 t + \varepsilon_t \tag{1}$$

$$\hat{y}_{t+m} = a_t + b_t(m) \tag{2}$$

เมื่อ y_t แทน อนุกรมเวลา ณ เวลา t

β_0 และ β_1 แทน พารามิเตอร์ของตัวแบบแสดงระยะตัดแกน และความชันของแนวโน้มตามลำดับ

ε_t แทน ความคลาดเคลื่อนของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

$\hat{y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t และ b_t แทน ค่าประมาณ ณ เวลา t ของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + b_{t-1})$ และ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)b_{t-1}$

α และ γ แทน ค่าคงที่การทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$ และ $0 < \gamma < 1$

t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทน จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ คือ ความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงปรกติ ตรวจสอบโดยการทดสอบคอลโมโกรอฟ-สมีร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov's test : K-S Test) มีการเคลื่อนไหวเป็นอิสระกัน ตรวจสอบโดยพิจารณาจากค่าสถิติ Ljung-Box Q มีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบที (t-test) และมีความแปรปรวนเท่ากันทุกช่วงเวลา ตรวจสอบโดยใช้การทดสอบของเลวีนภายใต้การใช้มัธยฐาน (Levene's test based on median)

การพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม (Damped trend exponential smoothing method)

การปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาที่มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง และไม่มีส่วนประกอบของฤดูกาล เช่นเดียวกับการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ แต่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงช้ากว่าการเปลี่ยนแปลงของแนวโน้มที่เป็นเส้นตรง มีค่าคงที่การปรับเรียบ 3 ตัว คือ ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าระดับ (α) ค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชัน (γ) และค่าคงที่การปรับเรียบของค่าความชันแบบแดม (ϕ) สามารถเขียนตัวแบบ ณ เวลา t ได้ดังสมการที่ (1) และเขียนตัวแบบพยากรณ์ m ช่วงเวลาล่วงหน้า ณ เวลา t แสดงได้ดังสมการที่ (3) (วรางคณา, 2559)

$$\hat{y}_{t+m} = a_t + b_t \sum_{i=1}^{m} \phi^i \qquad (3)$$

เมื่อ $\hat{y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t + m โดยที่ m แทนจำนวนช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปข้างหน้า

a_t และ b_t แทน ค่าประมาณ ณ เวลา t ของพารามิเตอร์ β_0 และ β_1 ตามลำดับ

โดยที่ $a_t = \alpha y_t + (1-\alpha)(a_{t-1} + \phi b_{t-1})$ และ $b_t = \gamma(a_t - a_{t-1}) + (1-\gamma)\phi b_{t-1}$

α, γ และ ϕ แทน ค่าคงที่การทำให้เรียบ โดยที่ $0 < \alpha < 1$, $0 < \gamma < 1$ และ $0 < \phi < 1$

t แทน ช่วงเวลา ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n_1 โดยที่ n_1 แทน จำนวนข้อมูลในอนุกรมเวลาชุดที่ 1

เมื่อได้ตัวแบบพยากรณ์แล้วดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์เช่นเดียวกับการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

การเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวแบบพยากรณ์ทั้ง 2 วิธี ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยทำการพยากรณ์ข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวนของข้อมูลชุดที่ 2 คือ อนุกรมเวลาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 6 เดือน เพื่อคำนวณหาค่า MAPE ดังสมการที่ (4)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n_2} \left| \frac{y_t - \hat{y}_t}{y_t} \right|}{n_2} \times 100 \qquad (4)$$

เมื่อ y_t คือ ค่าจริงหรือค่าสังเกตของข้อมูล ณ เวลา t

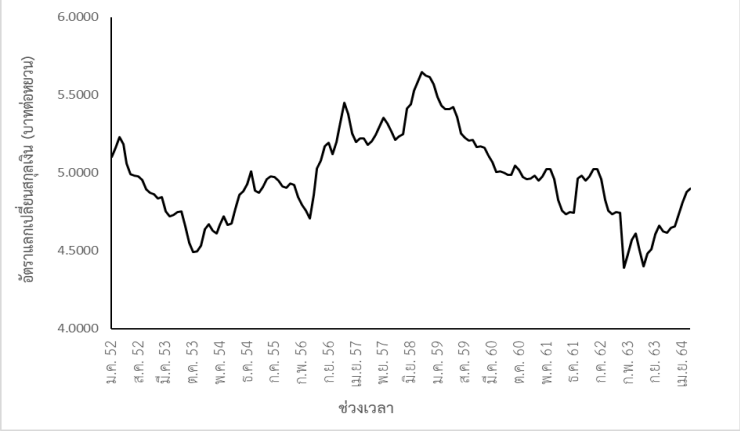
$\hat{y}_t$ คือ ค่าพยากรณ์ของข้อมูล ณ เวลา t

n_2 คือ จำนวนข้อมูลที่นำมาพิจารณาของข้อมูลชุดที่ 2 (n=6)

โดยตัวแบบพยากรณ์ที่ให้ค่า MAPE ต่ำที่สุด จะเป็นตัวแบบพยากรณ์ที่มีความแม่นยำมากที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการพยากรณ์ข้อมูลอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 ต่อไป

ผลการวิจัย

ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน โดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาชุดที่ 1 ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564 รวมระยะเวลา 150 เดือน สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 พบว่าข้อมูลอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน มีการเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างช้าๆ



ภาพที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2552 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2564

จากนั้นทำการตรวจสอบว่าอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน มีแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้องหรือไม่ โดยทำการทดสอบแบบวิ่ง (Run test) เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มของอนุกรมเวลา ผลการตรวจสอบ พบว่าอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน ไม่มีลักษณะสุ่มที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p-value < 0.001) แสดงว่า อนุกรมเวลาชุดนี้มีการเคลื่อนไหวจากแนวโน้มดังตารางที่ 1 และทำการหาค่าดัชนีฤดูกาลรายเดือน เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของฤดูกาล พบว่าดัชนีฤดูกาลทั้ง 12 เดือนในรูปแบบร้อยละมีค่าประมาณใกล้เคียงกับ 100 มาก แสดงว่า อนุกรมเวลาชุดนี้ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการตรวจสอบการทดสอบแบบวิ่งของอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน

อัตราแลกเปลี่ยน	Runs test	p-value
บาทต่อหยวน	-9.533	< 0.001

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีฤดูกาล 12 เดือนในรูปร้อยละของอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน

เดือน	ดัชนีฤดูกาล(ร้อยละ)	เดือน	ดัชนีฤดูกาล(ร้อยละ)
1	100.3	7	100.2
2	99.7	8	99.8
3	99.4	9	100.0
4	99.5	10	100.0
5	100.1	11	100.2
6	100.4	12	100.4

จากผลการตรวจสอบข้อมูลอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงินบาทต่อหยวน พบว่ามีเพียงส่วนประกอบของแนวโน้ม ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาเปรียบเทียบวิธีการสร้างตัวแบบพยากรณ์ทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ และวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ พบว่าโปรแกรมให้ค่า $\alpha = 1$ และ $\gamma = 0.06$ จากนั้นนำมาคำนวณค่าประมาณ ณ เวลาที่ t ของพารามิเตอร์ ได้ค่า $a_t = 4.901$ และ $b_t = -0.00112$ ได้ตัวแบบพยากรณ์ดังนี้

$$\hat{y}_{t+m} = 4.901 - 0.00112m$$

เมื่อ $\hat{y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนรายเดือน ณ เวลาที่ t+m
โดยที่ m = 1 ถึง 6 (เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 6 เดือน)

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบพยากรณ์วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์

Series	Alpha (Level)	Gamma (Trend)	Sums Squared Error	df error
CNY	1.000	0.060	0.716	148

ผลการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

จากการสร้างตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม พบว่า โปรแกรมให้ค่า $\alpha = 1$, $\gamma = 0.06$ และผู้วิจัยกำหนดค่า $\phi = 0.9$ จากนั้นนำมาคำนวณค่าประมาณ ณ เวลาที่ t ของพารามิเตอร์ ได้ค่า $a_t = 4.901$ และ $b_t = 0.0122$ ได้ตัวแบบพยากรณ์ดังนี้

$$\hat{y}_{t+m} = 4.901 + 0.0122 \sum_{i=1}^{m} (0.9)^{i}$$

เมื่อ $\hat{y}_{t+m}$ แทน ค่าพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนรายเดือน ณ เวลาที่ t+m

โดยที่ m = 1 ถึง 6 (เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 จำนวน 6 เดือน)

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์จากตัวแบบพยากรณ์วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม

Series	Alpha (Level)	Gamma (Trend)	Phi (Trend Mod)	Sums Squared Error	df error
CNY	1.000	0.060	0.900	0.706	148

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

ดำเนินการตรวจสอบคุณลักษณะของความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

ใช้การทดสอบ Kolmogorov-Smirnov จากสถิติ Kolmogorov-Smirnov แสดงว่า ความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์มีการแจกแจงปรกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ใช้การทดสอบ One-Sample Test จากสถิติ T-test แสดงว่า ความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์มีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างจากศูนย์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ใช้การทดสอบ Levene's test statistic จากสถิติ Levene statistic แสดงว่า ความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์มีความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ใช้การทดสอบ Box-Ljung Statistic ผลจากสถิติ Q แสดงว่า ความคลาดเคลื่อนของตัวแบบพยากรณ์ไม่มีสหสัมพันธ์ในตัวเองตั้งแต่ Lag ที่ 1 ถึง Lag ที่ 38 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลัง

วิธีพยากรณ์	Ljung-Box Q	p-value	KS test	p-value	t-test	p-value	Levene Statistic	p-value
Holt	35.331	0.594	0.600	0.200	0.027	0.978	0.947	0.390
Damped	24.589	0.579	0.068	0.900	-0.061	0.952	0.819	0.443

ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ของทั้งสองตัวแบบผ่านข้อตกลงเบื้องต้นทั้ง 4 ข้อ ดังนั้นตัวแบบพยากรณ์ทั้งสองตัวแบบมีความเหมาะสม

จากตารางที่ 6 การเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนของข้อมูลชุดที่ 2 ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2564 เป็นจำนวนทั้งสิ้น 6 เดือน พบว่าเมื่อใช้ตัวแบบพยากรณ์

ของวิธีปรับเรียบด้วยเส้นโค้งชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม จะได้ร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE) เท่ากับ 4.389 ซึ่งต่ำที่สุด ดังนั้น วิธีพยากรณ์นี้จึงเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับอนุกรมเวลาอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนมากที่สุด

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบค่าจริงและค่าพยากรณ์ของอัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวนด้วยร้อยละค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE)

ช่วงเวลา	อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน	วิธีพยากรณ์	
		วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์	วิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม
ก.ค. 2564	5.0439	4.899	4.912
ส.ค. 2564	5.1201	4.899	4.922
ก.ย. 2564	5.1222	4.898	4.931
ต.ค. 2564	5.2206	4.897	4.939
พ.ย. 2564	5.1844	4.895	4.946
ธ.ค. 2564	5.2755	4.894	4.953
MAPE		**5.095**	**4.389**

อภิปรายผล

ในการศึกษาและพัฒนาตัวแบบที่เหมาะสมสำหรับการพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนเงินบาทต่อหยวน พบว่าการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เป็นตัวแบบพยากรณ์ที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า MAPE ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย วรางคณา (2559) ทำการพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเนื้อไก่แช่แข็งและแช่เย็น และสอดคล้องกับงานวิจัย วรางคณา (2562) ทำการพยากรณ์ราคาพริกไทยดำ ซึ่งทั้ง 2 งานวิจัย พบว่าวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด รวมไปถึงการพยากรณ์ด้วยวิธีการปรับเรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังที่มีแนวโน้มแบบแดม เหมาะสำหรับพยากรณ์ข้อมูลอนุกรมเวลาที่มีส่วนประกอบของแนวโน้ม แต่ไม่มีอิทธิพลของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง

ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัย วรางคณา (2556) ทำการพยากรณ์ราคาขายปลีกน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งพบว่าวิธีปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมากที่สุด เนื่องจากประเภทของอนุกรมเวลาที่นำมาศึกษามีความแตกต่างกัน รวมไปถึงช่วงเวลาในการพยากรณ์ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละช่วงเวลาอาจมีเหตุการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลอนุกรมเวลาทำให้ข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างคาดการณ์ไม่ได้ อาทิเช่น ปัจจัยทางการเมือง ภัยธรรมชาติ ปัจจัยทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

แต่นอกจากวิธีการทั้ง 2 วิธียังมีตัวแบบที่สามารถนำมาใช้พยากรณ์ได้อีก เช่น วิธีปรับเรียบเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ ตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีบอกซ์-เจนกินส์ เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้ยกนำมาเปรียบเทียบ ซึ่งหากต้องการนำงานวิจัยนี้ไปต่อยอดในอนาคต อาจนำตัวแบบอื่นๆ มาเปรียบเทียบเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลการพยากรณ์ที่แม่นยำและถูกต้องมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญฤทธิ์ ชูประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ในการศึกษาและจัดทำรายงานฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ทุกๆ ท่าน ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทำให้การทำรายงานนี้ฉบับนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร หน่วยงานด้านการศึกษาอันทรงเกียรติที่ได้ให้โอกาสและให้การสนับสนุนแก่คณะผู้วิจัย รวมถึงนักวิชาการทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและความเห็นทางวิชาการที่มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อรายงานฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วนมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพาณิชย์. (2564). **ประเทศคู่ค้าสำคัญของไทย.** [Online]. Available : https://tradereport.moc.go.th/Report/Default.aspx?Report=TradeThCountryTrade [2564, พฤศจิกายน 4].

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2562). **ธุรกรรมเงินหยวน.** [Online]. Available : https://www.bot.or.th/Thai/FinancialMarkets/ForeignExchangeMarket/LocalCurrencyMarkets/RMBTransaction/Pages/default.aspx [2564, พฤศจิกายน 4].

ธนาคารแห่งประเทศไทย. (2564). **อัตราแลกเปลี่ยนเฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์ในกรุงเทพมหานคร.** [Online]. Available : https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/ReportPage.aspx?reportID=123&language=th [2564, พฤศจิกายน 4].

ธรณินทร์ สัจวิริยทรัพย์. (2563, มกราคม). ตัวแบบพยากรณ์อัตราแลกเปลี่ยนสกุลเงิน. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 28**(1), 26-40.

บดินทร์ อึ่งทอง, อติ ไทยานันท์ และขวัญกมล ดอนขวา. (2562). ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราแลกเปลี่ยนระหว่างค่าเงินบาทกับเงินหยวน. **รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2562**(หน้า 1822-1832). ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วรางคณา กีรติวิบูลย์. (2556, ตุลาคม-ธันวาคม). ตัวแบบพยากรณ์ราคาขายปลีกน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. **วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 36**(4), 423-438.

วรางคณา กีรติวิบูลย์. (2559, มีนาคม). ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ปริมาณการส่งออกเนื้อไก่แช่แข็งและแช่เย็น. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, 10**(1), 37-50.

วรางคณา กีรติวิบูลย์. (2562, กรกฎาคม-ธันวาคม). ทำการเปรียบเทียบตัวแบบพยากรณ์ราคาพริกไทยดำ. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร. พระนคร, 13**(2), 93-105.

Templeton, F. (2021). **China Calling: The Rise of Chinese Bond Markets.** [Online]. Available : https://franklintempletonprod.widen.net/content/nm9dkvpukp/original/china-calling-the-rise-of-chinese-bond-markets-FTFIM_U2Q21_0821.pdf [2021, October 23].

คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความ
สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรมีวัตถุประสงค์เพื่อตีพิมพ์ผลงานวิจัย ผลงานสร้างสรรค์ และผลงานวิชาการ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา คณิตศาสตร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาศาสตร์การอาหาร เทคโนโลยีการเกษตร วิทยาศาสตร์ประยุกต์และเทคโนโลยี สาธารณสุข เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และอุตสาหกรรมศึกษา เผยแพร่แก่นักวิชาการและบุคคลทั่วไป ปีละ 2 ฉบับ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารจะต้องผ่านการตรวจพิจารณาจากกองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน/บทความ โดยใช้การ Peer-review เป็นแบบ double blinded หากมีความเห็นว่าต้องมีการปรับ แก้ไขทางกองบรรณาธิการจะส่งคืนเพื่อแก้ไขและขอสงวนสิทธิ์การพิจารณาไม่ลงพิมพ์เมื่อไม่ผ่านการพิจารณา ผู้ที่มีความประสงค์จะส่งบทความเพื่อรับการพิจารณาตีพิมพ์ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำ ดังต่อไปนี้

การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

หลักเกณฑ์การส่งต้นฉบับและการพิมพ์บทความ

1. ต้นฉบับต้องพิมพ์ตามรูปแบบและข้อแนะนำในการเขียนบทความของวารสารนี้เท่านั้น
2. ต้นฉบับที่ส่งมาให้พิจารณาลงตีพิมพ์จะต้องไม่เคยตีพิมพ์ในวารสารฉบับอื่นมาก่อน และจะต้องไม่ส่งตีพิมพ์ซ้ำซ้อนในวารสารหลายฉบับในเวลาเดียวกัน
3. การตีพิมพ์บทความลงในวารสาร จะเรียงตามลำดับก่อนหลังตามวันที่ได้รับเรื่อง
4. กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการพิจารณาและตีพิมพ์บทความทุกเรื่องรวมทั้งการปรับปรุงบทความบางส่วนตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิที่เป็นผู้อ่านบทความ
5. กรณีเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการของนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร กองบรรณาธิการจะคัดเลือกบทความที่นักศึกษาส่งซึ่งอาจไม่ได้ตีพิมพ์ทุกบทความ
6. บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสาร ถือว่าเป็นผลงานทางวิชาการหรืองานวิจัยของคณะผู้เขียนไม่ใช่ความคิดเห็นของกองบรรณาธิการ ผู้เขียนและคณะต้องรับผิดชอบต่อบทความของตน
7. บทความที่ได้ผ่านการพิจารณาแล้ว ทางกองบรรณาธิการจะแจ้งผลการพิจารณาให้ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร

การส่งต้นฉบับ

ส่งต้นฉบับเอกสารพร้อมไฟล์ข้อมูลมาที่ http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/ และสามารถสอบถามรายละเอียดได้ที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา อาคาร 1 ชั้น 2 มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000 โทรศัพท์ 0 5572 1879, 0 5572 2500 ต่อ 1760 หรือนายทวิช ปิ่นวิเศษ โทรศัพท์ 08 4593 9223

รูปแบบการพิมพ์บทความ

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

2. ข้อปฏิบัติการพิมพ์แต่ละหัวข้อ/ส่วนประกอบ มีดังนี้

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
1	ชื่อบทความ	ระบุชื่อบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
2	ชื่อผู้เขียนบทความ	ระบุชื่อผู้วิจัย, ผู้ร่วมวิจัย (ถ้ามี), อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทุกคนทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา ไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ
3	สังกัดผู้เขียนบทความ	ระบุวุฒิการศึกษา ชื่อสถาบันการศึกษา ตำแหน่งทางวิชาการ หน่วยงานที่สังกัดทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ขนาดตัวอักษร 12 พอยท์ ไว้ที่เชิงอรรถท้ายหน้า
4	บทคัดย่อ (Abstract)	บทคัดย่อมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ เนื้อความของบทคัดย่อไม่เกิน 10 บรรทัดและภาษาอังกฤษ ไม่เกิน 300 คำ เป็นการเขียนข้อสรุปหลักของผลการวิจัยทั้งหมดแบบสรุป กระชับ และได้ใจความ ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
5	คำสำคัญ (Keywords)	ระบุคำสำคัญ 2-5 คำทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ไว้ท้ายบทคัดย่อ ใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์
6	เนื้อหา (Content)	ทุกหัวข้อใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ตัวหนา วางไว้ชิดขอบซ้าย ส่วนรายละเอียดใช้ขนาดตัวอักษร 14 พอยท์ ประกอบด้วย **1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา** (Statement of the Problem) สรุปความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาอย่างเป็นลำดับและเรียบเรียงอย่างเชื่อมโยงกัน และมีการอ้างอิง **2. วิธีดำเนินการวิจัย** (Objectives) อธิบายเกี่ยวกับประชากรและกลุ่มตัวอย่างหรือแหล่งข้อมูล เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยเขียนให้กระชับและชัดเจน

(ต่อ)

ที่	หัวข้อ/ส่วนประกอบ	คำอธิบาย
	เนื้อหา (Content) (ต่อ)	**3. ผลการวิจัย** (Conclusion) รายงานผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ ควรมีตารางและภาพประกอบได้ ใช้คำที่เข้าใจง่ายและชัดเจน ไม่ซ้ำซ้อน ภาพเป็นไฟล์ .JPEG **4. อภิปรายผล** (Discussion) วิจารณ์ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามหลักวิชาการ อาจมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตและแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ **5. บทสรุป** สรุปประเด็นที่พบและประเด็นการศึกษาและ **หากเป็นบทความวิชาการจะมี 3 หัวข้อ คือ บทนำ เนื้อหา และการอ้างอิงแหล่งสารสนเทศ และสรุป**
7	กิตติกรรมประกาศ	ควรมีเพื่อแสดงคำขอบคุณ สำหรับแหล่งทุนสนับสนุนหรือผู้ช่วยเหลืองานวิจัยและเตรียมเอกสาร
8	ตาราง (ถ้ามี)	ตารางที่แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ตารางแบบเส้นคู่ เปิด-ปิดตาราง
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:/สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

1. ผู้แต่งคนเดียว

(สมพงษ์, 2548)

สมพงษ์ ชูมาก. (2548). **กฎหมายระหว่างประเทศแผนกคดีเมือง.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

(สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้ากัลยานิวัฒนา, 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). **เอกสารประกอบการสอนชุดวิชาการวิจัยการบริหารการศึกษา**. นนทบุรี : มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

(สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2541)

การศึกษาแห่งชาติ, สำนักงานคณะกรรมการ. (2541). **การปฏิรูปการเรียนตามแนวคิด 5 ทฤษฎี**. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ไอเดียสแควร์,

(Ministry, 2002)

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

4. วิทยานิพนธ์

(เชวงศักดิ์, 2543)

เชวงศักดิ์ เขียวเขิน. (2543). **การดำเนินงานการประกันคุณภาพการศึกษาของสถาบันราชภัฏกำแพงเพชร**. วิทยานิพนธ์ครุศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร.

(โอกามา, 2550)

โอกามา จ่าแกะ. (2550). **การจัดการตลาดทางเลือกเกษตรอินทรีย์ : กรณีศึกษาสหกรณ์การเกษตรยั่งยืนแม่ทาจำกัด ตำบลแม่ทา กิ่งอำเภอแม่ออน 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 ในการประชุมนักบัญชีทั่วประเทศ 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, นิตย์ และวิลาวัลย์, 2549)

มัลลวีร์ อุดลวัฒนศิริ, นิตย์ บุหงามงคล และวิลาวัลย์ จตุรธำรง. (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 หาญอนันทสุข. (2550, มิถุนายน 26). ฤารัฐธรรมนูญใหม่จะสร้างมิติใหม่ให้สังคมพุทธ. **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 Traning Center on Independent Living, 1993)

Research and Traning 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 พยักฆพันธ์ (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 : ฐานข้อมูลไปดูให้เต็มตาล้ำค่าความเป็นไทย. [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/soil009hom-1/009421/ chap1.htm#era1. [2550, กุมภาพันธ์ 20].

(Abell, 2002)

Abell, S.K. (2002). **Science teacher education : An international perspeetive**. [Online]. Available : http://ebook.Springkerlink. 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].

(ซูม, (นามแฝง), 25 ตุลาคม 2542)

ซูม. (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. การลงรายการอ้างอิงและบรรณานุกรมจากเวิลด์ไวด์เว็บ (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/eourseware/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, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

(Page, 1991)

Page, O. (1991, March 5). President, Austin Peay State University. Interview.

แบบฟอร์มการส่งบทความเพื่อเผยแพร่ใน สักทอง : 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 สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน.....บทความ โดยเป็นบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จำนวน.....บทความ หรืออ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จากวารสารอื่นๆ จำนวน.....บทความ
8. บทความฉบับนี้มิได้คัดลอกผลงาน มิได้ละเมิดลิขสิทธิ์ และไม่ขัดต่อกฎหมายใดๆ ซึ่งผู้เขียนบทความเขียนโดยใช้ความรู้ ความสามารถและการสังเคราะห์ของตนเอง
9. ผู้เขียนบทความยินดีชดใช้ค่าเสียหายใดๆ ที่อาจมีผู้เรียกร้องหรือฟ้องร้องตามกฎหมายทุกประการ โดยไม่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาตีพิมพ์บทความของกองบรรณาธิการหรือเจ้าของวารสาร
10. กรณีบทความที่มีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ผู้เขียนบทความทุกคนได้ลงชื่อยืนยันการเป็นผู้เขียนบทความ โดยยอมรับและปฏิบัติตามเงื่อนไขของวารสารนี้ทุกประการ

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยตีพิมพ์ในวารสาร รายงานสืบเนื่องจากงานประชุมวิชาการ รวมทั้งไม่อยู่ระหว่างยื่นขอตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในสักทอง : 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.บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือมีไม่ครบหรือไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้ จะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร
“สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

❍ เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน

❍ ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นใดๆ

❍ 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 สักทอง : 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 สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จำนวน.....บทความ
7. อ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จำนวน.....บทความ
8. อ้างอิงบทความของอาจารย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จากวารสารอื่นๆ จำนวน.....บทความ

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในสักทอง: วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในการนี้ข้าพเจ้าดำเนินการจัดพิมพ์ตามรูปแบบการเขียนบทความที่มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้กำหนดไว้ทุกประการ และได้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลตามรายการตรวจสอบบทความเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ลงชื่อ.....
(.....)
ผู้เขียนบทความ

ความคิดเห็นของประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
"พิจารณาบทความแล้วเห็นสมควรเผยแพร่ได้"

ลงชื่อ.....
(.....)
ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

หมายเหตุ 1. ถ้ามีผู้เขียนบทความมากกว่า 1 คน ขอให้ลงชื่อเป็นผู้เขียนบทความทุกคน
2. บทความที่ส่งมาโดยไม่มีใบรายการตรวจสอบบทความหรือมีไม่ครบฝ่ายจัดการวารสารจะไม่ดำเนินการในขั้นตอนใดๆ จนกว่าจะมีการส่งรายการตรวจสอบบทความดังกล่าว ผู้เขียนบทความสามารถ download แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความได้จาก http://research.kpru.ac.th/old/journal_science/

แบบฟอร์มรายการตรวจสอบบทความเพื่อนำส่งตีพิมพ์ในวารสาร
“สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี”

คำชี้แจง : ผู้เขียนบทความโปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงหน้ารายการที่ท่านได้ตรวจสอบบทความของท่านในรายการที่พบว่ามีปรากฏในบทความของท่านอย่างครบถ้วนถูกต้องแล้วตามคำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความที่วารสารได้กำหนดไว้

❍ เป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ที่ใดมาก่อน

❍ ไม่ได้เป็นบทความที่อยู่ระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือการประชุมทางวิชาการอื่นใดๆ

❍ 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
สักทอง : 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 สาขาชากังราว จำนวน.....บาท

เลขบัญชี 347-0-60979-9

ชื่อบัญชี สักทอง : วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

❍ แจ้งหลักฐานการชำระเงินทางระบบส่งบทความ

ลงชื่อผู้ส่งบทความ.....

(.....)

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

หมายเหตุ : กรณีบทความไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ลงในวารสาร สักทอง : วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางกองบรรณาธิการจะไม่คืนค่าใช้จ่ายในการตีพิมพ์ของท่าน

จริยธรรมในการตีพิมพ์ในวารสาร “สักทอง” (Publication Ethics)

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

บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการและกองบรรณาธิการ (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมทั้งพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพและทันสมัยอยู่เสมอ

2. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์ ผู้ทรงคุณวุฒิ และจะต้องไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจ และนำไปเป็นผลงานของตนเอง

3. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องปฏิบัติตามขั้นตอนการพิจารณาคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัด

4. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อขอลงตีพิมพ์ในวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาความสอดคล้องของเนื้อหากับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมทั้งตรวจสอบคุณภาพของบทความก่อนตีพิมพ์

5. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่แก้ไขผลการประเมินบทความของผู้ทรงคุณวุฒิ

6. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความ ผู้นิพนธ์ และสังกัดของผู้นิพนธ์

7. หากบรรณาธิการและกองบรรณาธิการตรวจสอบพบว่าบทความที่ตรวจพิจารณา มีการคัดลอกผลงาน บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องแจ้งให้ผู้นิพนธ์ทราบทันที และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น

8. บรรณาธิการและกองบรรณาธิการต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้นิพนธ์ 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. บทความของผู้นิพนธ์ต้องเป็นบทความที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ใดมาก่อน

2. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการเรียบเรียงบทความนี้จริง

3. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความของตนเอง ถ้าวารสารทราบว่าบทความของผู้นิพนธ์มีการคัดลอกผลงานของผู้อื่น ทางวารสารจะไม่ขอรับผิดชอบ และให้เอาผิดจากผู้นิพนธ์ทุกประการ

4. ผู้นิพนธ์ต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ

5. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความให้ตรงตามรูปแบบที่วารสารกำหนดไว้ในคำแนะนำของวารสารอย่างถูกต้อง รวมทั้งต้องไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จในบทความ

6. ผู้นิพนธ์ต้องยินยอมโอนลิขสิทธิ์ให้แก่วารสารก่อนการตีพิมพ์ และไม่นำบทความไปเผยแพร่หรือตีพิมพ์กับแหล่งอื่นๆ หลังจากที่ได้รับการตีพิมพ์แล้ว

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 ประกาศนี้ให้ใช้บังคับตั้งแต่ วันที่ ๒๑ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๒ เป็นต้นไป

ข้อ ๓ ในประกาศนี้

“มหาวิทยาลัย” หมายความว่า มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“อธิการบดี” หมายความว่า อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“สถาบันวิจัยและพัฒนา” หมายความว่า สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

“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 จากบุคลากรภายในและบุคคลภายนอก ในข้อ ๔ ให้ดำเนินการดังนี้

๕.๑ ใช้ใบเสร็จเบ็ดเตล็ดของมหาวิทยาลัยเป็นใบเสร็จรับเงินที่เรียกเก็บตามประกาศนี้

๕.๒ นำเงินฝากธนาคารกรุงไทย สาขาชากังราว 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 ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจบทคัดย่อและบรรณานุกรมภาษาอังกฤษ 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

https://research.kpru.ac.th

ที่มาภาพ : เปิดโลกเทคโนโลยี & นวัตกรรมสู่การบูรณาการแห่งอนาคต ปี 2565

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร