



ผลของจำนวนตัวลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกรีตต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโตช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ Effect of Flock Sizes of Gamecock Chicks in Concrete Pond on Growth Performance, 0-6 Weeks of Age อำพล จุปะมัตตา และ ประมวล แซ่ไคว่	1
การออกแบบอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเลือกส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa Design of Micro Smart Grid for Electric Power Sources Selection Via Internet of Things Using LoRa Technology ประทีป บุญวงศ์ จรรย์ คนแรง มิ่งขวัญ สมพฤษ์ กมล บุญล้อม และ อธิคม ศิริ	8
เครื่องหั่นขมิ้นชันเพื่อประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ The Development of Turmeric Slicing Machine for Applying in Product Processing สกล นันทศรีวิวัฒน์	16
การพัฒนาโปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวันด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน Software Development of Missing Daily Rainfall Data using Inverse Distance Weighting จันทนา ปัญญาวารกรณ์ และ ศรีสุณี วุฒิวงศ์โยธิน	23
การใช้กลูเต็นข้าวสาลีเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติ Wheat Gluten as a Biomordant in Natural Dyeing of Cotton Fabrics เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์ อรรพรรณ ไทศาลารวิจ เต็นภภา แผลงสร สาวิตรี เดชบุญ ธนิกา ทูตะกมล และ รัชชช ทองเจริญ	31
การสำรวจการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดิน ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร (วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์) A Survey of Underground Power System at Silpakorn University (Sanam Chandra Palace Campus) ภรณ์มณฑล ทั้หะกุลธร สาโรช พูลเทพ และ คณิต เขียววิชัย	42
การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า The Study of Mathematical Equilibrium Moisture Content for Banana (Musa sapientum L.) เพ็ญพร นิมนวล นภลัย เหล่ามะลอ และ สราวุฒิ แนนเนียร	50
การพัฒนาเครื่องบดมูลสัตว์สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี The Development of Animal Manure Grinder for Ban Sai Nong Fertilizer Product Community Enterprise Group, Tha Mai District, Chanthaburi Province อนุวัฒน์ เนื่องน้อย ชัชวาลย์ เชื้อมาก ปัญญาณัฐ แสนสุภา วรินทร์ เล็กกำพูช เดชา วงศ์แก้ว และ โพธิ์ทอง ปราณิตพลกรัง	59
การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุญ ตำบลคงฮีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ Developing Entrepreneurial Potential by Using ECRS Principles to Reduce Production Costs of Ban Don Somboon Banana Processing Community Enterprise Group, Dong Eichan Sub-district, Non Suwan District, Buriram Province อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา และ วิบูลย์ สารอนุรักษ์	69
การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการจัดการรถไฟฟ้าสำหรับให้บริการภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร (วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์) A comparative of Feasibility Analysis of Electric Shuttle Bus Providing for Silpakorn University (Sanam Chandra Palace Campus) ภัทรชนน เศษรฤทธิ์ สาโรช พูลเทพ และ คณิต เขียววิชัย	79
การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมโดยใส่แผ่นปีกบางครึ่งวงรี Study of thermal performance of circular tube heat exchanger with semioval-shaped winglet tape inserts ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ สุภัทรรักษ์ สุวรรณพันธุ์ และ สมพล สฤตพล	86

วารสารวิชาการเทพสตรี I-TECH
ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2565

บรรณาธิการ

รศ.ว่าที่ ร.ต.ดร.ชูชาติ พยอม

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ลลิลธร มะระกานนท์ ผศ.ดร.กุลสมทรัพย์ เย็นฉ่ำชลิต ผศ.ดร.ธาดา คำแดง

ผู้ทรงคุณวุฒิในกองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สุมาลี สังข์ศรี	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
ศ.ดร.จรัญ จันทลักษณ์	มหาวิทยาลัยทักษิณ
ศ.ดร.สายัณห์ ทัดศรี	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.พีระศักดิ์ ศรีนิเวศน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.วุฒิพงศ์ อารีกุล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร.ธีรศิลป์ ทุมวิภาต	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.สุมาลี อุณหวนิชย์	สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
รศ.ดร.ชนศักดิ์ ป้ายเที่ยง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รศ.ดร.พิพัฒน์ พรหมมี	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.พีระวุฒิ สุวรรณจันทร์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.วิสุทธิ์ สุนทรกนกพงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร.ชูสิทธิ์ ประดับเพ็ชร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

ฝ่ายจัดการวารสาร

นางนภาพร รอดแก้ว นางสาวชญาณ์พิมพ์ จตุพรเนตรทอง

วัตถุประสงค์

เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ได้แก่ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ประยุกต์ อุตสาหกรรมการเกษตร เทคโนโลยีสารสนเทศ การจัดการอุตสาหกรรม

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

ลักษณะบทความ

1. ต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อนหรือต้องไม่อยู่ในขั้นตอนการพิจารณาเพื่อเผยแพร่ในวารสารอื่น
2. ต้องเป็นผลงานวิจัยที่มีผลกระทบในวงกว้างที่ไม่ใช่งานวิจัยในระดับสถาบัน

บทความที่ลงพิมพ์เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น

ผู้เขียนจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นจากบทความนั้น

ผลของจำนวนตัวลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกรีตต่อสมรรถภาพการเจริญเติบโต ช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์

Effect of Flock Sizes of Gamecock Chicks in Concrete Pond on Growth Performance, 0-6 Weeks of Age

อำพล จูปะมัดตา* และ ประมวล แซ่ไคว่

Amphol Jupamatta* and Pramuan Saekwao

Agricultural program, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

*Email: amphol.j@lawasri.tru.ac.th

Received: November 30, 2021; Revised: April 25, 2022; Accepted: April 27, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมรรถภาพการเจริญเติบโตของลูกไก่ชนช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ใช้ลูกไก่ชนลูกผสมเพศตรีทั้งหมด 416 ตัว สุ่มแบ่งกลุ่มลูกไก่ตามจำนวนตัวต่อวงคอนกรีตซึ่งเป็นปัจจัยการศึกษามี 3 ทรีตเมนต์ (T) คือ จำนวน 5-9 ตัว (T1), 10-14 ตัว (T2) และ 15-19 ตัว (T3) แต่ละกลุ่มมีจำนวนไก่ 139, 139 และ 138 ตัวตามลำดับ เลี้ยงลูกไก่โดยให้แม่ไก่ดูแล ให้กินอาหารสำเร็จรูป ให้กินน้ำเต็มที่ ผลการทดลองพบว่า ปริมาณอาหารที่กินมีผลจากจำนวนตัวลูกไก่ชนโดย T1 กินอาหารมากกว่า T2 และ T3 ($P<0.01$) ตามลำดับ น้ำหนักตัวเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่อายุ 42 วัน T1 มากกว่าทรีตเมนต์อื่นๆ ($P<0.01$) น้ำหนักตัวไก่ที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน T1 มีค่ามากกว่า T2 และ T3 ($P<0.01$) นอกจากนี้อัตราการตาย T1 และ T2 มีค่าน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับ T3 อย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนอาหาร T1 และ T2 มีค่าสูงชันกว่า T3 ($P<0.01$) สรุป การเลี้ยงลูกไก่ชน 5-9 ตัวในวงคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตรมีความหนาแน่นจำนวนตัวต่อหน่วยพื้นที่น้อยกว่า 10-19 ตัว ทำให้ลูกไก่มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตดีมีการกินอาหารได้เพิ่มขึ้น น้ำหนักตัวสุดท้ายสูง และมีอัตราการตายต่ำ การจัดการเลี้ยงลูกไก่ชนวงคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตรควรเลี้ยงด้วยจำนวน 5-9 ตัว

คำสำคัญ : จำนวนลูกไก่ชน, วงคอนกรีต, สมรรถภาพการเจริญเติบโต

Abstract

The objective of this research was to study the growth performance of gamecock chicks, 0-6 weeks of age, fed in concrete pond size 80 centimeters of diameter. A total of 416 Thepsatri hybrid gamecock chicks were randomly assigned to three groups of flock size per concrete pond as experimental treatments. The treatments were 5-9 heads (T1), 10-14 heads (T2) and 15-19 heads (T3). The birds of each group were 139, 139 and 138 heads, respectively. The animals were fed by their hen with commercial feed and water provided ad libitum. The results showed that the average daily feed intake was affected by flock size, T1 had the highest intake per day than T2 and T3 ($P<0.01$). At day 42 of the animal age T1 had the

highest final body weigh compared to the other treatments ($P < 0.01$). Body weigh gain and average daily gain were also observed T1 had the highest than T2 and T3 ($P < 0.01$). In addition, mortality rate of T1 and T2 had significantly lower than T3. However, feed conversion rate of T1 and T2 had significantly increased than T3 ($P < 0.01$). In conclusion, flock size of 5-9 gamecock chicks that low animal density per concrete pond size 80 centimeters of diameter improves growth performance by the increasing feed intake, increasing final body weight and reducing mortality rate. It should be considered a necessary component in gamecock chicks managements at 5-9 birds per the concrete pond size.

Keywords : Flock size of gamecock chicks, Concrete pond, Growth performance.

1. บทนำ

ไก่ชนเป็นไก่บ้าน (*Gallus gallus domesticus*) ที่นิยมเลี้ยงในประเทศไทยเป็นไก่ที่มีขนาดใหญ่ (chicken) ไก่ชนใช้ประโยชน์เพื่อการกีฬา บริโภคเนื้อและไข่ และเพื่อจำหน่าย เป็นสัตว์เศรษฐกิจที่มีจุดเด่นคือ ผู้เลี้ยงสามารถกำหนดราคาขายได้เองและมีราคาต่อตัวสูง ปัจจุบันไก่ชนมีการเลี้ยงในเชิงธุรกิจมากขึ้น ฟาร์มไก่ชนผลิตไก่พันธุ์ดีทุกระยะการผลิตเพื่อจำหน่าย โดยเฉพาะลูกไก่ชนอายุ 6 สัปดาห์เป็นช่วงที่ราคาต่อตัวสูงกว่าระยะอื่น จึงมีความต้องการเป็นจำนวนมาก

การเลี้ยงลูกไก่ชนโดยทั่วไปผู้เลี้ยงจะขังแม่ไก่และลูกไก่ไว้ในสุม เมื่อลูกไก่อายุครบหนึ่งสัปดาห์จึงปล่อยและให้แม่ไก่เลี้ยงดูแล ให้ข้าวและอาหารอื่นๆ เสริม ไก่ชนเป็นสัตว์ที่มีพฤติกรรมในการต่อสู้ มีการจิกตีกันตั้งแต่ระยะไก่เล็ก หากการดูแลไม่ทั่วถึงไก่จะไม่สมบูรณ์ การเจริญเติบโตต่ำ และอัตราการตายสูง จึงมีการนำมาเลี้ยงแบบขังกรงหรือขังคอกให้ความอบอุ่นโดยใช้เครื่องกก [1]

ปัจจุบันพื้นที่ในการเลี้ยงไก่มีจำกัดมากขึ้น ผู้เลี้ยงไก่ชนต้องการลดต้นทุนการผลิต และหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในฟาร์มให้สูงขึ้น บางส่วนจึงนำลูกไก่มาเลี้ยงในวงคอนกรีตที่ใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างหรืออื่นๆ เพราะหาซื้อง่าย มีความคงทน และราคาถูกกว่าการสร้างคอกเลี้ยงไก่ อย่างไรก็ตามปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลผลการวิจัยว่า ควรนำวงคอนกรีตมาใช้เลี้ยงลูกไก่หรือไม่ หรือควรเลี้ยงด้วยความหนาแน่นจำนวนกี่ตัวจึงจะเหมาะสม เพราะความหนาแน่นต่อพื้นที่และจำนวนตัวในการเลี้ยงมีผลต่อการเจริญเติบโตของไก่พื้นเมือง [2]

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาถึงความเหมาะสมของจำนวนตัวลูกไก่ชนอายุ 0-6 สัปดาห์ที่ควรจะเลี้ยงในวงคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เกษตรกรนิยมนำมาเลี้ยงไก่ มีปัจจัยการศึกษาคือ จำนวนลูกไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีต 5-9 ตัว 10-14 ตัว และ 15-19 ตัวต่อวงคอนกรีต โดยประเมินจากค่าสมรรถภาพการเจริญเติบโตของไก่ และข้อดีข้อจำกัดในการจัดการเลี้ยงดู ซึ่งน่าจะสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการเลี้ยง นำมาปรับปรุงรูปแบบการเลี้ยง และนำไปประยุกต์ใช้ในฟาร์มเกษตรกรที่เลี้ยงลูกไก่ชนได้ น่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไก่ชนให้สูงขึ้น ทำให้เกษตรกรประหยัดต้นทุนในการสร้างคอกและมีรายได้มากขึ้น

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

สัตว์ทดลองและการแบ่งกลุ่ม การทดลองใช้ลูกไก่ชนลูกผสมเทศตรี (TFC) [3, 4] อายุแรกเกิดถึง 6 สัปดาห์ (1-42 วัน) ไก่มีน้ำหนักตัวแรกเกิดประมาณ 29 กรัม จำนวนทั้งหมด 416 ตัว สุ่มแบ่งลูกไก่ออกเป็น 3 กลุ่มทดลองตามระดับของจำนวนตัวในการเลี้ยงต่อวงคอนกรีต (ทรีตเมนต์) คือ 5-9 ตัว (T1) 10-14 ตัว (T2) และ 15-19 ตัว (T3) แต่ละทรีตเมนต์มีจำนวนลูกไก่ 139, 139 และ 138 ตัวตามลำดับ เลี้ยงลูกไก่ในวงคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร จำนวนทรีตเมนต์ละ 20, 12 และ 8 วงคอนกรีตตามลำดับ ตัวอย่างลูกไก่แต่ละกลุ่มทดลองแสดงดังภาพที่ 1



T1 (ความหนาแน่น 5-9 ตัว)

T2 (ความหนาแน่น 10-14 ตัว)

T3 (ความหนาแน่น 15-19 ตัว)

รูปที่ 1 ลูกไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตด้วยจำนวนตัวแตกต่างกัน

อาหารทดลอง เลี้ยงไก่ด้วยอาหารไก่เนื้อสำเร็จรูปชนิด เม็ด บาลานส์ 910 (Lot Number C1714026) วัตถุประสงค์ อาหารประกอบด้วยปลาป่นและหรือเนื้อและกระดูกป่น กากถั่วเหลืองและหรือกากถั่วลิสงและหรือกากเมล็ด ทานตะวันและหรือกากเรปซีด ข้าวโพดป่นและหรือข้าวฟ่าง ป่นและหรือปลายข้าวและหรือมันสำปะหลัง รำหยาบและ หรือรำละเอียดและหรือรำสกัดน้ำมัน กากน้ำตาล น้ำมันพืช แคลเซียมคาร์บอเนตและหรือไคแคลเซียมฟอสเฟต เกลือ วิตามิน แร่ธาตุ กรดอะมิโน โคลีนคลอไรด์ สารถนอม คุณภาพอาหารสัตว์[5]

การตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนะ ตรวจวิเคราะห์ ตามวิธีของ [6] วิเคราะห์โปรตีนรวม (CP) ใช้เครื่องวิเคราะห์ โปรตีน รุ่น B-811 บริษัท Buchi Labortechnik วิเคราะห์ ความชื้น ใช้ตู้อบลมร้อน รุ่น ULE500 บริษัท MEMMERT GMBH วิเคราะห์พลังงานทั้งหมด (GE) ใช้เครื่องบอมบ์ แคลอรีมิเตอร์ รุ่น C500 บริษัท IKA วิเคราะห์เถ้าทั้งหมด (Ash) ใช้เตาเผา รุ่น 3-1750 บริษัท NEY-Furnace วิเคราะห์เยื่อใยรวม (CF) ใช้เครื่องวิเคราะห์เยื่อใยอาหาร รุ่น FIWE บริษัท Velp Scientifica วิเคราะห์ไขมันรวม (EE) ใช้เครื่องสกัดไขมัน รุ่น B-414 บริษัท Buchi Labortechnik วิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) ใช้เครื่องวัด ค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้อะตอม (ATOMIC ABSORPTION SPECTROMETER) วิเคราะห์แคลเซียม (Ca) ใช้เครื่อง สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (SPECTROPHOTOMETER UA-VIS) ใช้ห้องปฏิบัติการศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏ เทพสตรี

การเตรียมวงคอนกรีตเลี้ยงไก่ ใช้วงคอนกรีตขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร ความสูง 50 เซนติเมตร

จำนวน 10 วง ก่อนเลี้ยงเจาะรูด้านล่างของวงคอนกรีตเพื่อ ใช้ระบายน้ำ ทำความสะอาดโดยล้างด้วยน้ำเปล่า แช่น้ำยา ข่าเชื้อโรค 20 นาทีแล้วเปิดน้ำยาข่าเชื้อออก ล้างด้วย น้ำเปล่าอีกครั้ง พักวงคอนกรีตให้แห้งและเขียนหมายเลข กำกับ นำเกลบที่ใหม่และสะอาดมารองพื้นวงคอนกรีตให้ หนาประมาณ 1.5 เซนติเมตร แต่ละวงนำสุ่มไม้ไผ่ขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตรมาครอบเพื่อป้องกันไก่ออก และใช้ผ้าคลุมสุ่มสำหรับกันยูงและกันลมโกรก

การนำลูกไก่เข้าเลี้ยง นำลูกไก่ที่ฟักออกมาแล้วอายุ 1 วันมาชั่งน้ำหนักตัวแรกเกิดรายตัวด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบ ดิจิตอล ทำสัญลักษณ์เบอร์ตัวไก่โดยใส่ห่วงขาด้วยเส้นลวด หุ้มพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เซนติเมตรหลายสี เพื่อแยกเบอร์ตัวลูกไก่ จัดกลุ่มลูกไก่ลงเลี้ยงโดยสุ่มแยกกลุ่ม ทดลองตามทรีตเมนต์ที่กำหนดไว้และสุ่มลงในวงคอนกรีตที่ ใช้เลี้ยง กลุ่ม T2 และ T3 รวมลูกไก่จากหลายพ่อแม่เพื่อให้ ได้จำนวนตัวในช่วงที่กำหนด

การเลี้ยงลูกไก่ช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ แต่ละวงคอนกรีตมี แม่ไก่ 1 ตัวกักให้ความอบอุ่น ให้ลูกไก่กินอาหารโปรตีนไม่ น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยใส่ในภาชนะใส่อาหารซึ่งเป็นถาดดิน เภาพทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21.5 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร น้ำใส่ในถังขนาด 2 ลิตร ให้น้ำกินเต็มที่ได้ถึงน้ำ ใส่ถาดรองป้องกันพื้นเปียกแฉะ วันแรกของการเลี้ยงลูกไก่ใส่ อาหาร 150 กรัม จากนั้นปรับเพิ่มปริมาณอาหารโดยให้ไม่ น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนักตัว ปรับปริมาณอาหารที่ให้ ทุก 7 วัน ทำความสะอาดรางอาหาร ถังน้ำ และถาดรองน้ำ ทุกวันก่อนเติมอาหารและน้ำ ตรวจเพิ่มอาหารวันละครั้ง เวลา 07.00 นาฬิกา เมื่อลูกไก่ครบอายุ 21 วันทำเบอร์โดย นำก๊ีบหนีบสายไฟฟ้าตอกตัวอักษรและตัวเลขเบอร์มาติดที่

แข่งรายตัว อายุ 42 วันซึ่งน้ำหนักตัวเป็นน้ำหนักสุดท้ายของการทดลอง

การเก็บและบันทึกข้อมูล บันทึกข้อมูลลูกไก่ช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ ได้แก่ น้ำหนักตัวแรกเกิด (BWB) และเมื่อลูกไก่ อายุ 42 วัน (BWF) ปริมาณอาหารที่กินแต่ละวัน (DFI) จำนวนไก่ที่ตาย (Dead) นำข้อมูลมาประเมินค่าสมรรถภาพการเจริญเติบโตคือ น้ำหนักตัวที่เพิ่ม (BWG) ปริมาณอาหารที่กินเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (ADFI) อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (ADG) อัตราการเปลี่ยนอาหาร (FCR) และอัตราการตาย (Mortality rate) [7] บันทึกข้อดีข้อและจำกัดของการเลี้ยงในวงคอนกรีตจากเหตุการณ์ที่ปรากฏระหว่างการเลี้ยงทดลอง

แผนทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) มีจำนวนตัวลูกไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตเป็นปัจจัยการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ทรีตเมนต์ (T) คือ จำนวน 5-9 ตัว (T1), 10-14 ตัว (T2) และ 15-19 ตัว (T3) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ย (Mean, \bar{X}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation; SD) และค่าร้อยละ (Percentage; %) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางสถิติ (Analysis of variance, ANOVA) แบบ One way anova เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเมื่อพบความแตกต่างกันทางสถิติที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) [8]

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

องค์ประกอบโภชนาของอาหารทดลอง ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาของอาหารทดลองแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า ปริมาณ CP มีค่าน้อยกว่าที่บริษัทระบุไว้เล็กน้อย [5] ระบุว่าอาหารมี CP ไม่น้อยกว่าร้อยละ 21 ปริมาณ EE ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 ปริมาณ CF ไม่มากกว่าร้อยละ 5 และความชื้นไม่มากกว่าร้อยละ 13 แต่อยู่ในเกณฑ์ที่น่าจะเพียงพอต่อความต้องการของลูกไก่พื้นเมืองช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ ทั้งนี้ [1] ระบุว่า อาหารไก่พื้นเมืองควรมี CP ร้อยละ 18 พลังงานใช้ประโยชน์ได้ (ME) 2,900 กิโลแคลอรี/กิโลกรัม Ca ร้อยละ 0.8 P ที่ใช้ประโยชน์ได้ร้อยละ 0.4

ตารางที่ 1 ผลวิเคราะห์องค์ประกอบโภชนาของอาหารทดลอง

รายการ	ส่วนประกอบโภชนา
ความชื้น (%)	9.95±4.30
พลังงานทั้งหมด (GE) (Kcal/Kg)	3,980.53±206.71
โปรตีนรวม (CP) (%)	20.24±1.06
ไขมันรวม (EE) (%)	3.40±0.57
เยื่อใยรวม (CF) (%)	4.21±1.11
เถ้าทั้งหมด (Ash) (%)	7.04±2.77
แคลเซียม (Ca) (%)	0.45±0.08
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P) (%)	0.68±0.12

หมายเหตุ: ตรวจวิเคราะห์จำนวน 3 ซ้ำ

สมรรถภาพการเจริญเติบโตของลูกไก่ชนช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตแสดงในที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้

จำนวนไก่เข้าทดลองและจำนวนวงคอนกรีตที่ใช้เลี้ยงลูกไก่ชน 5-9 ตัว (T1), 10-14 ตัว (T2) และ 15-19 ตัว (T3) มีจำนวนวงคอนกรีตที่ใช้เลี้ยงคือ 20, 12 และ 8 บ่อตามลำดับและมีจำนวนลูกไก่ทดลอง 139, 139 และ 138 ตัวตามลำดับ ทั้งนี้ลูกไก่ชนถูกจัดเข้าทดลองรวมเป็นกลุ่มตามช่วงระดับความหนาแน่นจึงทำให้จำนวนวงคอนกรีตที่ใช้เลี้ยงแต่ละทรีตเมนต์ไม่เท่ากัน จากค่าเฉลี่ยจำนวนตัวไก่แต่ละทรีตเมนต์เมื่อคำนวณความหนาแน่นต่อหน่วยพื้นที่พบว่า มีค่าเท่ากับ 13.83, 23.04 และ 34.32 ตัวต่อตารางเมตรตามลำดับ ทั้งนี้การกกลูกไก่ [1] ระบุว่า พื้นที่หนึ่งตารางเมตรกกลูกไก่ได้ 22 ตัวซึ่งใกล้เคียงกับ T2

น้ำหนักตัวแรกเกิดเฉลี่ยของไก่ทดลอง (BWB) ลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกรีตมี BWB 29.06 ถึง 29.22 กรัม ทั้ง 3 กลุ่มทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P=0.85$) และมีค่าใกล้เคียงกับ [9] ที่ระบุว่า ไก่ชนลูกผสมเพศสตรี ช่วงอายุที่ 2 (TFC, F2) แรกเกิดมีน้ำหนักเฉลี่ย 28.70 กรัม/ตัว

น้ำหนักตัวลูกไก่เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (BWF) ลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกรีตเมื่ออายุ 42 วัน ระหว่างกลุ่มมี BWF แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.01$) โดย T1 มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 345.94 กรัมมากกว่า T2 และ T3 ที่มีค่า

ตารางที่ 2 สมรรถภาพการเจริญเติบโตลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกริตด้วยจำนวนตัวแตกต่างกัน

รายการ	จำนวนตัวลูกไก่ชนต่อวงคอนกริต			P-value
	T1, 5-9 ตัว ($\bar{x} \pm SD$)	T2, 10-14 ตัว ($\bar{x} \pm SD$)	T3, 15-19 ตัว ($\bar{x} \pm SD$)	
จำนวนไก่เข้าทดลอง (ตัว)	139	139	138	-
จำนวนวงคอนกริตที่เลี้ยงไก่	20	12	8	-
จำนวนตัวไก่เฉลี่ย/วงคอนกริต	6.95±1.47	11.58±1.38	17.25±0.89	-
น้ำหนักตัวไก่แรกเกิด (กรัม)	29.22±3.16	29.06±1.65	29.09±1.89	0.85
น้ำหนักตัวที่อายุ 42 วัน (กรัม)	345.94 ^a ±70.92	291.63 ^b ±67.12	285.29 ^b ±78.40	<0.01
น้ำหนักตัวที่เพิ่ม (กรัม)	316.72 ^a ±70.64	262.57 ^b ±66.93	256.20 ^b ±78.62	<0.01
อาหารที่กินต่อตัวต่อวัน (กรัม)	24.04 ^a ±5.49	18.67 ^b ±2.88	14.66 ^c ±1.36	<0.01
อัตราการเจริญเติบโตต่อวัน (กรัม)	7.54 ^a ±1.68	6.25 ^b ±1.59	6.10 ^c ±1.87	<0.01
อัตราการเปลี่ยนอาหาร	3.36 ^a ±1.14	3.16 ^a ±0.88	2.68 ^b ±1.02	<0.01
อัตราการตาย (ร้อยละ)	3.63 ^b ±1.07	5.43 ^b ±1.60	10.37 ^a ±2.62	<0.01

T = ทริตเมนต์, \bar{x} = ค่าเฉลี่ย, SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, P-value = ระดับความแตกต่างทางสถิติ F-test

abc ตัวอักษรที่ต่างกันแถวแนวนอนเดียวกันแสดงถึงความแตกต่างทางสถิติเมื่อทดสอบด้วยวิธี DMRT

- ไม่สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ถึงความแตกต่างทางสถิติ

น้ำหนักตัว 291.63 และ 285.29 กรัมตามลำดับ (ตารางที่ 2) การทดลองพบว่าค่า BWV ของไก่ทดลองมีค่ามากกว่า 279.37 กรัมต่อตัวของไก่ชน TFC, F2 กลุ่มที่เกิดจากพ่อแม่คุณภาพดีและเลี้ยงแบบขังคอก[9] ซึ่งให้เห็นว่าการใช้วงคอนกริตเป็นพื้นที่เลี้ยงลูกไก่ไม่มีการเจริญเติบโตดี ใดๆก็ตามลูกไก่ยังมีน้ำหนักตัวน้อยกว่าไก่พื้นเมืองพันธุ์ดี ประสิทธิภาพ และเหลืองทางขาวที่อายุ 42 วันที่มีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 443.96, 497.49 และ 458.53 กรัมตามลำดับ[10] และต่ำกว่า 370 กรัมในไก่พื้นเมือง[1] ทั้งนี้จะเป็นผลจากการปรับปรุงพันธุ์ไก่ชน TFC ที่ไม่เน้นให้ไก่โตไวและไม่เน้นการให้เนื้อ แต่เน้นให้มีความแข็งแรง จึงทำให้ไก่มีขนาดเล็กกว่าไก่ที่กรมปศุสัตว์ปรับปรุงพันธุ์เพื่อการให้เนื้อ

น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยของไก่ (BWG) ลูกไก่ชนที่เลี้ยงในวงคอนกริต T1 มี BWG 316.72 กรัมมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติกับ T2 และ T3 ที่มีค่า 262.57 และ 256.20 กรัมตามลำดับ (P<0.01) ดังตารางที่ 2 ผลการทดลองพบว่าไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกริตด้วยจำนวนตัวตั้งแต่ 10 ตัวขึ้นไปมี BWG ไกล่เคียงกับไก่ชน TFC, F2 ที่มีน้ำหนักตัวเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 259.72 กรัม[4] แต่ที่จำนวนตัวที่ 5-9 ตัวต่อวง

คอนกริตมี BWG น้อยกว่าถึง 57 กรัม ซึ่งทริตเมนต์นี้มีค่าใกล้เคียงกับรายงานของ [10] ที่กล่าวว่า ไก่พันธุ์ดี ไก่ประคูดังกล่าว และไก่เหลืองทางขาวมี BWG 329.74, 372.12, และ 354.97 กรัมตามลำดับ ซึ่งเห็นว่าการเลี้ยงลูกไก่ชนที่ด้วยจำนวน 5-9 ตัวต่อวงคอนกริตทำให้ลูกไก่น้ำหนักตัวที่เพิ่มดีกว่าการเลี้ยงตั้งแต่ 10 ตัวขึ้นไป

ปริมาณอาหารที่กินต่อตัวต่อวัน (ADFI) การเลี้ยงแบบ T1 ไก่มี ADFI 24.04 กรัมมากกว่า T2 (18.67 กรัม) และมากกว่า T3 (14.66 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ผลการทดลองพบว่า ADFI ของไก่ที่เลี้ยงด้วยจำนวนตัว T1 และ T2 มีปริมาณมากเมื่อเปรียบเทียบกับ [9] ที่รายงานไว้ว่าไก่ชน TFC, F2 มีค่า ADFI 14.61 กรัม/ตัว/วัน แต่ค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียง T3 ผลการทดลองบ่งชี้ว่าจำนวนตัวไก่ที่เลี้ยงส่งผลกระทบต่ออัตราการกินได้ของไก่อย่างชัดเจน โดยการเลี้ยงที่จำนวนน้อยกว่า 14 ตัวต่อวงคอนกริตไม่มีการกินอาหารที่ดีกว่าการเลี้ยงจำนวนตั้งแต่ 15 ตัวขึ้นไป

อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ADG) ลูกไก่ชนที่เลี้ยงด้วยจำนวน T1 มีค่า ADG 7.54 กรัมมากกว่า T2 (6.25 กรัม) และมากกว่า T3 (6.10 กรัม) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทาง

สถิติ ($P < 0.01$) ทุกพรีตเมนต์ของการทดลองมีค่า ADG มากกว่า 5.97 กรัมของไก่ชน TFC, F2 [9] ผลการทดลองบ่งชี้ว่า การเลี้ยงในวงคอนกรีตทำให้ไก่มี ADG สูงขึ้นและจะมี ADG สูงเมื่อเลี้ยงด้วยจำนวน 5-9 ตัวต่อวงคอนกรีต น่าจะเป็นเพราะไก่อยู่สบาย ไม่แออัด ไม่ต้องแย่งกันกินอาหาร อย่างไรก็ตามค่า ADG ของไก่ทดลองยังมีค่าน้อยกว่ารายงานของ [10] ที่กล่าวว่า ไก่พันธุ์ซี ไก่ประดู่หางดำ และไก่เหลืองหางขาว อายุ 0-6 สัปดาห์ มีค่า ADG 11.76 ,13.29, และ 12.67 กรัมตามลำดับ ทั้งนี้ไก่ที่ใช้ทดลองเป็นไก่ชนลูกผสม ไก่ชนพม่าซึ่งเป็นไก่ชนที่มีขนาดเล็ก โตเต็มวัยเพศผู้และเพศเมียมีน้ำหนักตัวประมาณ 1.94 และ 1.23 กก. [11] ค่าการเจริญเติบโตของไก่ทดลองยังสอดคล้องกับค่ามาตรฐานสายพันธุ์ที่ไม่เน้นให้ได้ตัวโตไวซึ่งจะเกินขนาดเมื่อนำไปชน [3] จึงน่าจะทำให้ไก่ทดลองครั้งนี้มีค่า ADG ไม่สูงเหมือนไก่พื้นเมืองที่เน้นผลิตเนื้อเพื่อจำหน่าย

อัตราการเปลี่ยนอาหาร (FCR) ลูกไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตแบบ T1 และ T2 มีค่า FCR 3.36 และ 3.16 ตามลำดับมากกว่า T3 ที่มีค่า 2.68 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ผลการทดลองพบว่า ไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตค่า FCR ก่อนข้างสูงทั้งนี้ [9] รายงานว่า ไก่ชน TFC, F2 อายุ 0-6 สัปดาห์มีค่า FCR 2.57 และ [12] รายงานว่า ไก่พื้นเมืองระยะนี้มี FCR 2.48 ซึ่งให้เห็นว่า ไก่ที่เลี้ยงในวงคอนกรีตกินอาหารดี แต่ด้วยการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่ไม่เน้นไก่ขนาดใหญ่ ทำให้ลูกไก่โตค่อนข้างช้าส่งผลให้มีค่า FCR สูง ดังนั้นจึงควรปรับลดปริมาณอาหารลงเล็กน้อยเพื่อลดการสิ้นเปลือง และจะทำให้ได้ค่า FCR ลดลงได้

อัตราการตาย การเลี้ยงลูกไก่ชนในวงคอนกรีตด้วยจำนวนตัว T1 และ T2 มีค่าอัตราการตายร้อยละ 3.63 และ 5.43 ตามลำดับตายน้อยกว่า T3 (ร้อยละ 10.37) อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการเลี้ยงในวงคอนกรีตจำนวนไม่เกิน 14 ตัวช่วยลดอัตราการตายได้ดี จากการสังเกตพบว่า การเลี้ยงไก่ในวงคอนกรีตตั้งแต่ 15 ตัวขึ้นไปต้องใช้ลูกไก่จากหลายแม่มารวมกันและมีความแออัด พบการตายในช่วง 7 วันแรกสูง เนื่องจากแม่ไก่ไม่รับเลี้ยงลูกไก่ทั้งหมด ลูกไก่ถูกจิก ทำให้ลูกไก่ตาย

สมรรถภาพการเจริญเติบโตโดยรวมของลูกไก่ชนช่วงอายุ 0-6 สัปดาห์ที่เลี้ยงในวงคอนกรีต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร การเลี้ยงจำนวน 5-9 ตัวต่อวง

คอนกรีต (T1) ไก่มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักตัวที่อายุ 42 วัน, BWG, ADFI, ADG ตีว่าการเลี้ยงจำนวน 10-19 ตัวต่อวงคอนกรีต ดังนั้นการเลี้ยงลูกไก่ชนในวงคอนกรีตที่ใช้ในการทดลองนี้โดยมีแม่ไก่กักให้ความอบอุ่น การเลี้ยงที่เหมาะสมควรมีจำนวนลูกไก่ไม่เกิน 9 ตัว

ข้อดีของการเลี้ยงลูกไก่ในวงคอนกรีต การวิจัยพบว่าใช้พื้นที่ได้คุ้มค่าและช่วยลดภาระในการก่อสร้าง สามารถวางบ่อในตำแหน่งที่ต้องการ ทำให้ใกล้ชิดหรือห่างได้ สามารถควบคุมการให้อาหารได้ง่าย มองเห็นจุดที่เป็นปัญหาในการเลี้ยงได้ง่าย ล้างทำความสะอาดได้ง่าย และลดความสูญเสียจากความเสียหายต่างๆ เช่น ภัยจากงู แมลงมีพิษ เป็นต้น

ข้อจำกัดการเลี้ยงลูกไก่ในวงคอนกรีต การวิจัยพบว่าหากอากาศร้อนลูกไก่จะเล่นน้ำทำให้วัสดุรองพื้น (แกลบ) เปียกและสกปรกง่าย จำเป็นต้องเปลี่ยนวัสดุรองพื้นบ่อยครั้ง ควรหาวัสดุรองถังน้ำและวัสดุครอบถังน้ำไว้ จะช่วยลดปัญหานี้ได้ และช่วงอายุ 30 วันลูกไก่จะเริ่มจิกตีกันจนเป็นแผล โดยเฉพาะในบ่อที่เปียกสกปรก เมื่อลูกไก่ชนอายุ 42 วันจำเป็นต้องย้ายไปเลี้ยงในพื้นที่ที่กว้างกว่าเดิม เพราะลูกไก่มีขนาดตัวใหญ่ขึ้น แออัด และลูกไก่จะจิกตีกันทำให้เกิดความเสียหาย

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

1) การเลี้ยงลูกไก่ชนอายุ 0-6 สัปดาห์ในวงคอนกรีต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 เซนติเมตร จำนวน 5-9 ตัวต่อวง ไก่มีสมรรถภาพการเจริญเติบโตด้านน้ำหนักตัวที่อายุ 6 สัปดาห์ น้ำหนักตัวที่เพิ่ม อาหารที่กินต่อตัวต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตวันตีว่าการเลี้ยงจำนวน 10-19 ตัวต่อวงคอนกรีต

2) การเลี้ยงลูกไก่ชนในวงคอนกรีตมีข้อดีคือ ใช้พื้นที่ได้คุ้มค่าและลดภาระในการก่อสร้าง จัดวางได้ในตำแหน่งที่ต้องการ ช่วยลดความสูญเสียจากภัยอันตรายต่างๆ ได้ แต่มีข้อจำกัดคือ ถ้าอากาศร้อนลูกไก่จะเล่นน้ำทำให้วัสดุรองพื้น (แกลบ) เปียกและสกปรกง่ายต้องเปลี่ยนวัสดุรองพื้นบ่อยครั้ง เมื่อลูกไก่ชนอายุ 42 วันควรย้ายไปในพื้นที่ที่กว้างกว่าเดิม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Thambut, S. Moratob, B. Klewkamonthat and A. Thammabutr., *Raising Native Chickens*, (3th ed.), Agricultural Cooperative Federation of Thailand Ltd. Bangkok, 2003, pp. 7-8. (in Thai).
- [2] M. I. Ali, S. A. Azmal, A. Ali and M. O. Faruque, Effect of density and flock size on growth performance of native chicken. *J. Bangladesh Agril. Univ.*, (2012), 10(1): pp. 55–59.
- [3] A. Jupamatta and P. Saekwao, *Creation of Thepsatree Fighting Cock, 1st Generation Hybrids, Complete Research Report*, Sponsored by the Office of Higher Education Research Projects and develop the National Research University Office of the Higher Education Commission, 2012. (in Thai).
- [4] A. Jupamatta and P. Saekwao, *Creation of Thepsatree Fighting Cock: Thepsatri Hybrid, 2nd Generation, Complete Research Report*. Supported by Research Network, Upper Central Region Research and Innovation Project for Technology Transfer to Foundation Community Fiscal Year 2013, 2013. (in Thai).
- [5] Betagro Thailand Public Company Limited, Brands#Animal-Feed-Products. [Online]. (2021). [Cited March 3, 2021]. Available: <https://corporate.betagro.com/brands#ANIMAL-FEED-PRODUCTS>
- [6] Association of Official Analytical Chemists, *Official Method of Analysis*, (18th ed.), Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA, 2005, pp. 69-88.
- [7] A. Jupamatta, *Teaching Document of Poultry Production Course*, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University, Lopburi, 2012, pp. 137-138. (in Thai).
- [8] K. Wanichpuncha, *Using SPSS for Windows in Data Analysis*. (16th ed.), Department of Statistics, Faculty of Commerce and Accountancy, Chulalongkorn University, Bangkok, 2010, pp. 259-268. (in Thai).
- [9] A. Jupamatta and P. Saekwao, Reproductive Efficiency of the first generation of Thepsatri hybrid gamecock and the growth performance of the 2nd generation of Thepsatri hybrid gamecock, *Academic Symposium, Eastern University, PSU. Sri Ayudhya and Rajanagarindra Group, Academic and Research*, May 14-16, 2014. 2014, pp 52-58. (in Thai).
- [10] D. Narangsee, T. Oboon and P. Sawasdee, *Growth Performance of 4 Native Chicken Breeds Raised in Cages.*, [Online]. (2015). [Cited March 3, 2018]. Available: <https://dspace.tarr.arda.or.th/bitstream/handle/6622815955/6184/file.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. (in Thai).
- [11] A. Jupamatta, P. Saekwao, K. G. Maung, M. M. Sein, M. M. Kyaw, A. A. Thant, and T. S. Myint, Biodiversity of chicken in Yangon Division, Union of Myanmar between November, 2015 and July, 2016. *Journal of Thai Interdisciplinary Research*, 2018, 13(4), pp. 55–62.
- [12] M. Saensuk, *Kai-Ngam*, Animate Group Bangkok, 2002. (in Thai).

การออกแบบอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเลือก ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa

Design of Micro Smart Grid for Electric Power Sources Selection Via Internet of Things Using LoRa Technology

ประทีป บุญวงศ์¹ จรรย์ คนแรง^{1*} มิ่งขวัญ สมพฤษ¹ กมล บุญล้อม² และ อธิคม สิริ²
Prathip Boonwong¹, Jarun Khonrang^{1*}, Mingkwan Somphruek¹ Kamol Boonlom²
and Atikhom Siri²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สำนักวิชาคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

¹Department of Energy Engineering, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

²Department of Computer Engineering, School of Computer and Information Technology, Chiang Rai Rajabhat University

*Email: Jarun.kho@cru.ac.th

Received: March 28, 2022; Revised: May 06, 2022; Accepted: May 19, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ที่ทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบไมโครกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบทางเลือกโดยจะมุ่งเน้นการเลือกใช้งานแหล่งจ่ายกำลังงานอยู่ 3 ชนิด คือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าแบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากลม และแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้า เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสรรพลังงานไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานไฟฟ้าแบบกริดการไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบยังสามารถแสดงผลสถานะปริมาณไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นในแต่ละแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าโดยส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายด้วยเทคโนโลยี LoRa ย่านความถี่ 923.4 MHz และแสดงผลผ่าน Web Application ให้แก่ผู้ใช้งานได้ทราบเพื่อให้สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ได้ จากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าระบบสามารถเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเวลาโดยมีประสิทธิภาพในการทำงานสามารถจ่ายกำลังงานสูงสุดได้ 1,000 วัตต์ ซึ่งเหมาะกับงานที่ต้องการใช้พลังงานทางเลือกที่มีกำลังงานต่ำ และในการส่งข้อมูลระยะทางไกลแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นั้นสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสูงสุดที่ระยะทางเฉลี่ย 1.5 กิโลเมตร โดยสามารถรับสัญญาณได้ต่ำสุดที่ RSSI -105 dBm ที่กำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์เดซิเบล ซึ่งระบบสามารถประหยัดกำลังงานได้มากกว่า 50% ของกำลังงานที่ต้องใช้จ่ายจากการไฟฟ้าทั้งหมดทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านระบบมอโนเตอร์พลังงานและการจัดการพลังงานได้ในอนาคต

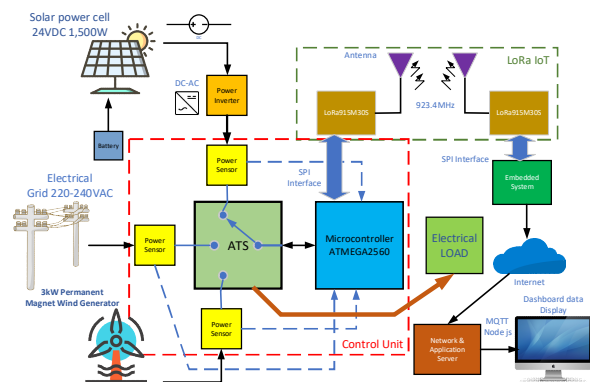
คำสำคัญ : ไมโครสมาร์ทกริด, อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง, เทคโนโลยี LoRa

Abstract

This research presents the design of source selection device for micro smart grid system. The alternative power sources focused on this research are solar cell, wind turbine and power grid which are used in order to provide maximum efficiency of microgrid power management and cost reduction in power grid. The status of power voltage generating from each power sources can be obtained and displayed via Internet of Things using wireless LoRa technology at 923.4 MHz frequency band. These power voltage results are also demonstrated through the web application in which can be conveniently used for data analysis. The experimental results show that micro smart grid system provided proper generator selection to meet the demand in terms of environment and time, effectively. The system gives maximum power of 1000 watts which is suitable for low-power use. Moreover, it can be seen that the average maximum data transmitting range is at 2.45 km with a minimum received RSSI signal gain of -105 dBm at a 20 dBm transmitting power. However, the system can save more than 50% of the total power consumed by electricity. Also, this micro smart grid system can be clearly applied for energy monitoring system and management in the future.

Keywords : Micro smart grid, Internet of things, LoRa Technology

1. บทนำ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมการทำงานของระบบที่ออกแบบ
ใช้งานในงานวิจัย

ปัจจุบันเทคโนโลยีสมาร์ทกริดมีบทบาทและความสำคัญต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้า เนื่องจากระบบสมาร์ทกริดสามารถจะทำการตัดสินใจในการทำให้โครงข่ายไฟฟ้ามีความสมดุลในกรณีเมื่อเกิดเหตุขัดข้องทางโครงข่ายไฟฟ้าจุดหนึ่ง ระบบสามารถทำการทดแทนจากโครงข่ายอีกแหล่งหนึ่งได้ทำให้ระบบมีความชาญฉลาดมากยิ่งขึ้น ซึ่งหนึ่งส่วนสำคัญในการทำหน้าที่ของระบบสมาร์ทกริดนั้นคือ การดำเนินการ

เลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่มาจากหลายแหล่งเพื่อนำไปใช้งาน ทั้งนี้ระบบสมาร์ทกริดนั้นมีขนาดที่หลากหลายตั้งแต่ระบบที่มีขนาดมาตรฐานส่วนที่เล็กไปจนถึงระบบสมาร์ทกริดที่ใหญ่ [1], [4-5] และปัจจุบันได้มีการนำพลังงานทดแทนเข้ามาใช้งานได้หลากหลาย เช่น การนำพลังงานแสงอาทิตย์นำมาใช้งานทดแทน การนำพลังงานลมเพื่อทำการกำเนิดไฟฟ้า การนำพลังงานน้ำเพื่อมาใช้ในการกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น [2-3] ซึ่งแต่ละแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้านั้นมีการใช้งานที่หลากหลายแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและชนิดของกำลังงานที่สามารถกำเนิดได้ในช่วงเวลานั้น ดังนั้นแนวคิดของการนำพลังงานทดแทนจากหลายแหล่งกำเนิดจึงได้นำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับงานด้านเทคโนโลยีพลังงานเป็นอย่างมาก แต่สิ่งที่ต้องคำนึงคือ การที่จะมีแหล่งจ่ายกำลังงานหลายแหล่งเข้ามาต่อใช้งานร่วมกันนั้นจำเป็นต้องมีระบบการจัดการและเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานในช่วงเวลาและความต้องการให้เหมาะสมจึงจะเป็นการจัดการพลังงานที่ดีและสมบูรณ์ [6-8] ต่อมาความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีด้านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งได้เข้ามามีบทบาทกับอุตสาหกรรมในหลายๆด้าน และในส่วนของเทคโนโลยีพลังงานนั้นได้มีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งมาช่วยในการแสดงผลและจัดการข้อมูล จึงมี

ความสำคัญมากในปัจจุบัน และความก้าวหน้าของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งได้เริ่มจากระบบการใช้งานผ่านสายและพัฒนามาสู่การใช้งานแบบไร้สายแต่ในอดีตที่ผ่านมาระบบการใช้งานแบบไร้สายนั้นมีข้อจำกัดที่ระยะทางการส่งข้อมูลมีระยะทางที่สั้นดังนั้นในส่วนงานที่จะต้องส่งข้อมูลในระยะทางไกลแล้วนั้นไม่สามารถทำได้ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งนั้นได้พัฒนาให้มีศักยภาพในการส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลและยังใช้พลังงานที่ต่ำในการส่งข้อมูล ซึ่งหนึ่งในเทคโนโลยีนั้นคือเทคโนโลยี LoRa [3] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สายที่ส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลและในการส่งข้อมูลมีการกินกำลังงานที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้งานอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งในอดีตที่ผ่านมา

2. ทฤษฎีและการออกแบบ

การจัดการความต้องการใช้กำลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งเข้ามาช่วยในการจัดการ โดยเริ่มจากสามารถแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งคือ เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ขนาด 1,500 วัตต์ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานลมซึ่งมีขนาดกำลังงานไฟฟ้า 3,000 วัตต์และแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า จากกริดการไฟฟ้าที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ต่อเนื่อง ในการออกแบบนั้นระบบจะให้ความสำคัญกับพลังงานทางเลือกเป็นหลักซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ทดแทนตามธรรมชาติไม่เสียค่าใช้จ่ายในการเก็บเกี่ยวพลังงาน และเมื่อพลังงานทางเลือกนั้นหมดในช่วงเวลาที่ฉุกเฉินระบบก็จะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากกริดการไฟฟ้าซึ่งจะสามารถแบ่งโหมดการทำงานของระบบออกเป็น 3 โหมด ดังนี้

โหมดที่ 1 (Solar Mode) ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell (PVs) สามารถผลิตได้ในช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์ซึ่งสามารถอธิบายได้ตาม ($P_{vs} > P_{wb} > P_{Grid}$) จะทำให้ ระบบจะทำการเลือกใช้แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจาก Photovoltaics cell (PVs) เป็นหลัก เนื่องจากโหมดนี้จะเป็นโหมดที่กำลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ส่องถึงและทำให้ระบบนั้นมีการใช้กำลังงานไฟฟ้าที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายจากกริดของการไฟฟ้า และสามารถ

จัดเก็บพลังงานได้อย่างต่อเนื่องในแต่ละวัน ซึ่งหาได้จากกำลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ คือ 1,000 ชั่วโมงต่อวัน และมีอัตราส่วนสมรรถนะเป็นร้อยละ 65 ภายใต้เงื่อนไขที่เกิดขึ้นจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$P_{(Solarreq)} \frac{1,000 Watt/h}{0.65} = 1,538 Watt \quad (1)$$

ดังนั้นในการออกแบบการใช้งานจึงจำเป็นต้องเลือกแผงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีกำลังงานไฟฟ้ามากกว่า 1,500 วัตต์ขึ้นไปซึ่งจะทำให้สามารถจ่ายกำลังงานให้โหลดสูงสุด 1,000 วัตต์ได้

โหมดที่ 2 (Wind Power mode) ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell (PVs) สามารถผลิตได้ นั้นหมายถึง ($P_{wb} > P_{vs} > P_{Grid}$) ซึ่งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงอาทิตย์มาตกกระทบ ระบบจะทำการตรวจสอบแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานลมซึ่งเมื่อมีพลังงานลมเข้ามาในระบบจึงจะทำการเลือกใช้แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าด้วยพลังงานลม ซึ่งในการคำนวณหาพลังงานจากลมด้วยกังหันไฟฟ้า โดยกังหันลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 เมตร ($r=1.5$) ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที ดังนั้นคำนวณได้จาก สมการที่ 2

$$P_{WB} = \frac{1}{2} \times \text{Airdensity}^3 \times \text{Sweptarea}^2 \times \text{WindVelocity}^3 \quad (2)$$

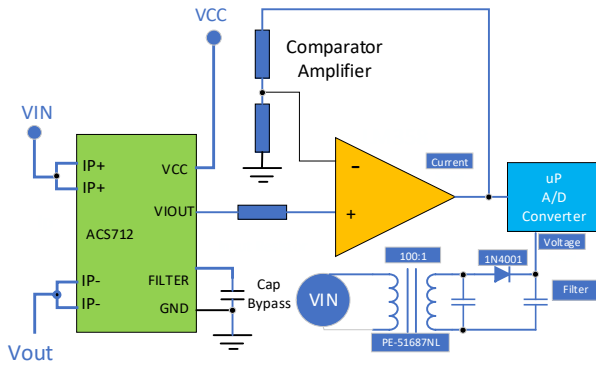
$$= \frac{1}{2} \times 1.2^3 \times \left(\frac{22}{7} \times 1.5^2\right) \times 8^3 = 3,128 Watt$$

ซึ่งในการออกแบบนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงพลังงานสูญเสียซึ่งมีกำลังลดทอนลงที่ 50 % ดังนั้นกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเท่ากับ 1,564 วัตต์ต่อชั่วโมง

โหมดที่ 3 (Grid mode) ($P_{Grid} > P_{vs} > P_{wb}$) ในกรณีที่กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ผลิตโดย Photovoltaics cell (PVs) และการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากลมนั้นเกิดเหตุขัดข้องคือ ระบบจะทำการเลือกใช้งานแหล่งจ่ายกำลังงานไปยังแหล่งจ่ายกริดของการไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ซึ่งสามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องแต่ข้อเสียคือการเสียค่าใช้จ่ายในการใช้กำลังงานไฟฟ้า

เซ็นเซอร์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้า

การออกแบบใช้งานเซ็นเซอร์วัดค่ากำลังงานไฟฟ้านั้น จะอาศัยหลักการวัดแรงดันร่วมกับการวัดกระแสไฟฟ้าซึ่งจะสามารถทำให้หาค่ากำลังงานไฟฟ้าที่โหลดสามารถใช้กระแสได้ในเวลานั้นๆ โดยเซ็นเซอร์ที่ทำการเลือกใช้งานนั้นจะใช้เซ็นเซอร์วัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าเบอร์ ACS712



รูปที่ 2 วงจรเสมือนของวงจรเซ็นเซอร์กำลังไฟฟ้า ที่ออกแบบใช้งานในงานวิจัย

จากรูปที่ 2 สามารถทำการหาค่าแรงดันไฟฟ้าได้จากการนำหม้อแปลงลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง 100 เท่าและทำการเรียงกระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยมีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 0 - 2.5 โวลต์ แบบกระแสตรงและทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นผ่านทางอินพุต อนาล็อกของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยสามารถคำนวณค่าแรงดันได้จากสมการที่ 3

$$V_{Out} = \left(\frac{V_{in}}{100} - 0.7\right) \times (\sqrt{2}) = 2.54V \quad (3)$$

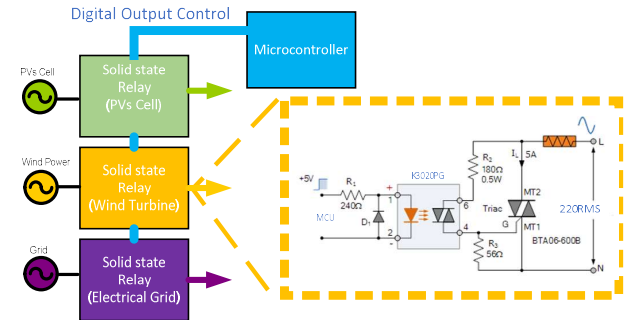
โดยสามารถหาค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดได้โดยหาค่าจากการอ่านแรงดันอนาล็อกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาด 12 บิต ค่าตั้งแต่ 0-1024 ระดับ จากนั้นทำการแบ่งมาตราส่วนค่าที่ได้จากแรงดัน ออกเป็เซ็นต์ จากเซ็นเซอร์ที่มีค่า 2.5 โวลต์ ให้มีมาตราส่วนเป็นแรงดันจาก 0-5 V และทำการคำนวณหาค่ากระแสได้จากสมการที่ 4 และ 5

$$V_O = \frac{ADC_{Value}}{1024} \times 5000 \quad (4)$$

$$Current_{Out} = \frac{(V_O - V_{Offset})}{Sensitivity} \quad (5)$$

และสามารถหาค่ากำลังงานไฟฟ้าได้จาก $P_O = V_O \times Current_{Out}$

การออกแบบสวิตช์จ่ายกำลังงาน

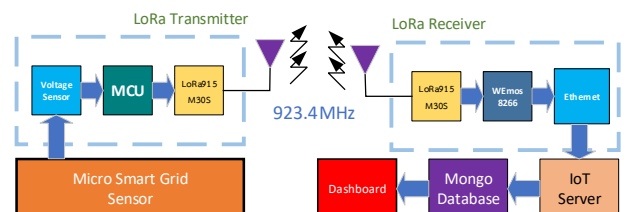


รูปที่ 3 วงจรเสมือนของวงจรสวิตช์อัตโนมัติ(Automatic Transfer Switch, ATS)

การทำงานของระบบ สวิตช์ตัดต่ออัตโนมัติ(Automatic Transfer Switch, ATS) นั้นดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะประกอบไปด้วย วงจรโซลิตสเตรรี่เลย์ขนาด 220 โวลต์ กระแสสลับขนาดกระแส 5 แอมแปร์ เป็นตัวทำหน้าที่ตัดต่อกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 แหล่งโดยไม่มีคอนโทรลเลอร์ที่ทำการควบคุมโดยใช้สัญญาณดิจิทัลทำการทริกเกอร์ให้ทำงาน

ระบบการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งแบบไร้สาย ด้วยเทคโนโลยี LoRa

จากการออกแบบในงานวิจัยจะใช้โมดูลการสื่อสารอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งด้วยเทคโนโลยี LoRa เบอร์ SX1276 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI (Serial Peripheral Interface : SPI) ทำการส่งข้อมูลที่ช่องสัญญาณความถี่ 923.4 MHz ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 โดอะแกรมการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ระยะเวลาไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa

โดยจะสามารถหาค่าความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับ
ในเทอมของพลังงานได้จากสมการที่ 6

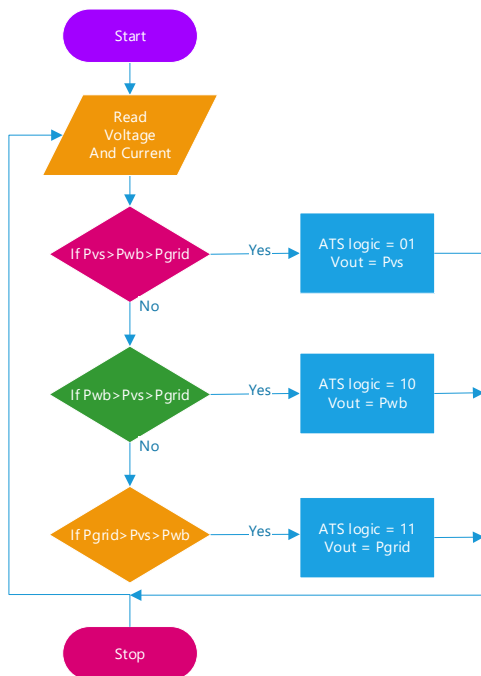
$$RSSI = -10n \log_{10} d + C \quad (6)$$

โดยที่ RSSI (Received Signal Strength Indicator : RSSI) คือ ระดับบ่งชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ และสามารถหาค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน หรือ SNR ได้จาก สมการที่ 7

$$SNR = 147 + RSSI - P_{tx} - 10 \log_{10} BW - NF \quad (7)$$

โดยที่ SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) คือ ค่าอัตราส่วนระหว่างสัญญาณกับสัญญาณรบกวน

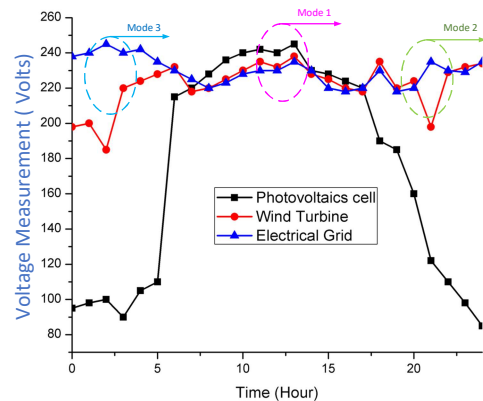
NF (Noise Figure: NF) คือ ตัวเลขแสดงสัญญาณรบกวนกำหนดให้ P_{tx} คือกำลังส่งของตัวส่งสัญญาณ BW คือความกว้างของคลื่นความถี่ในการรับส่งข้อมูลมีหน่วยเป็น kHz และ NF (Noise Figure: NF) คือ ตัวเลขที่ใช้ระบุค่าของสัญญาณรบกวนของเครื่องรับและส่ง



รูปที่ 5 แสดงผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมของอุปกรณ์ ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัย

3. การทดลองและผลการทดลอง

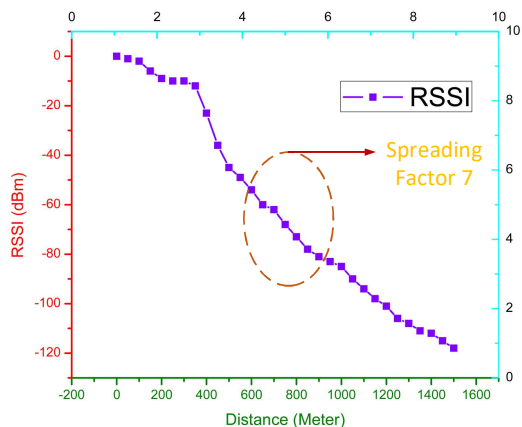
ในการทดลองจะทำการวัดค่าปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่เข้ามาจากแหล่งจ่ายทั้ง 3 แหล่งในช่วงเวลา หนึ่งวัน และทำการบันทึกผลการทดลองและทำการทดลองการสลับการใช้งานจากแหล่งจ่ายกำลังงานในทั้ง 3 โหมดที่ตั้งทำการออกแบบไว้ และสุดท้ายทำการทดลองการส่งข้อมูลระยะทางไกลโดยทำการกำหนดค่ากำลังงานส่งของเครื่องส่งไว้ที่ 20 dBm และทำการเปลี่ยนระยะทางของเครื่องรับให้ห่างจากเครื่องส่งออกไป และทำการบันทึกค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ กับอัตราส่วนระหว่างสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน ดังแสดงในรูปกราฟที่ 6 และ 7 (ข) ตามลำดับ



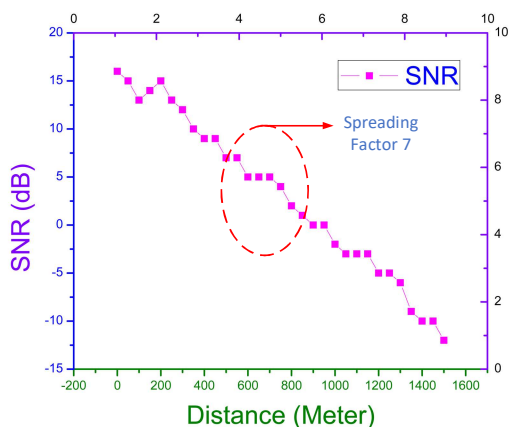
รูปที่ 6 แสดงการวัดแรงดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาและโหมดการทำงาน

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และการกำหนดที่ใช้ในงานวิจัย

พารามิเตอร์ที่ใช้งาน	การกำหนด
แบนด์วิธ (Bandwidth, BW)	125 kHz
กำลังส่ง	20 dBm
Spreading factor (SF)	7
ช่องความถี่ (Frequency Channel)	923.4 MHz
อัตราการขยายของสายอากาศ	3 dBi



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 (ก) แสดงการวัดค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) และ (ข) SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จากโมดูล SX1276 ที่ระยะทางต่างๆ

จากผลการทดลองทำการวัดแรงดันเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลา และโหมดการทำงาน สามารถบอกได้ว่า ในช่วงเวลาที่ผู้วิจัยได้ทำการทดลองช่วงเวลาตั้งแต่ 0 นาฬิกา ไปจนถึงก่อน 5 นาฬิกานั้นระบบที่สามารถจ่ายกำลังงานในช่วงนี้ได้สูงที่สุดนั่นคือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ระบบที่ทำการออกแบบและสร้างนั้นทำงานในช่วงของโหมดที่ 3 (Grid mode) และเมื่อเข้าสู่ช่วงเวลาตั้งแต่ 5 นาฬิกาเป็นต้นไปจนถึงช่วงเวลาประมาณ 18 นาฬิกา แสดงให้เห็นว่ากำลังงานที่เข้ามาในระบบนั้นจะมาจากทุกแหล่งจ่ายกำลังงานที่เข้ามาในระบบแต่จากที่ทำการออกแบบนั้นระบบได้ทำการเลือกการใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังงานแบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะทำงานในโหมดที่ 1 (Solar Mode) และหลังจากช่วงเวลาประมาณ 18 นาฬิกาไปจนถึงช่วงเวลา 24 นาฬิกา สามารถสังเกตได้

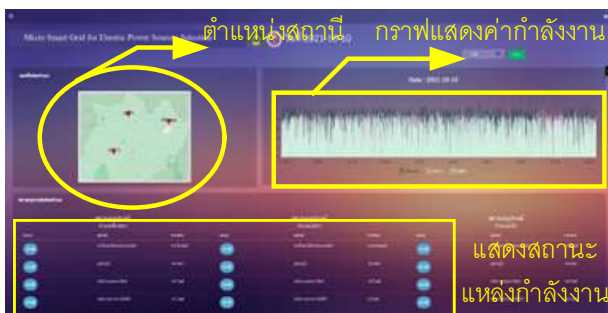
ว่าแหล่งกำลังงานที่จ่ายเข้ามาในระบบนั้นจะมีเข้ามาอยู่จำนวน 2 แหล่งจ่ายกำลังงานคือ แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าและแหล่งจ่ายกำลังงานจากพลังงานกักเก็บลมซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวระบบจะทำการสลับการทำงานกันระหว่าง จำนวน 2 แหล่งจ่ายที่กล่าวมานี้

จากการทดลองและทำการวัดสามารถเห็นได้ว่าเมื่อระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับยังมีระยะทางที่ห่างกันมากขึ้น จะยิ่งทำให้ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator : RSSI) ยิ่งมีค่าที่น้อยลงซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมดูลได้รับสัญญาณที่ต่ำ ลงโดยจะอยู่ที่ 1.6 กิโลเมตร จะได้ ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) อยู่ที่ประมาณ -115 dBm และเมื่อระยะทางที่ไกลเกินนี้ จะทำให้ค่า RSSI (Received Signal Strength Indicator: RSSI) นั้นมีค่าที่ต่ำกว่า -120 dBm ซึ่งส่งผลให้โมดูล LoRa นั้นไม่สามารถรับสัญญาณได้และค่า SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จะมีค่าที่ต่ำโดยอยู่ที่ประมาณ -13 dB และมีค่าสูงสุดที่ประมาณ 15dB และมีระยะเวลาในการส่งข้อมูล เท่ากับ 1 วินาทีต่อการส่งข้อมูลแต่ละครั้ง และนั่นหมายความว่าค่า SNR (Signal to Noise Ratio : SNR) จะมีค่ามากหรือน้อยอาจเกิดจากปัจจัยที่มีผลต่อการรบกวนสัญญาณด้วยเช่น มีสิ่งบดบังสัญญาณและรบกวนสัญญาณ

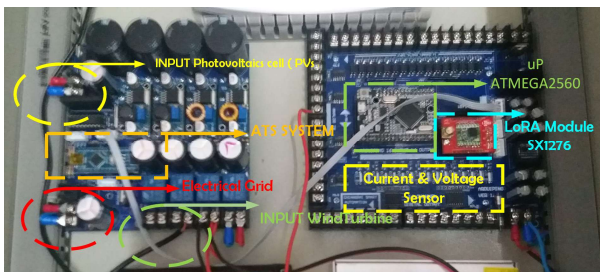
จากรูปที่ 8 แสดงหน้าจอแสดงผลสถานะของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด โดยระบบการแสดงผลนั้นถูกออกแบบจากโปรแกรมแสดงผลด้วย node.js และทำการบันทึกค่าข้อมูลลงในฐานข้อมูล ในระบบนั้นสามารถแสดงตำแหน่งของสถานีที่ติดตั้งอุปกรณ์สมาร์ทกริด และในช่องของรูปภาพนั้นจะทำการแสดงผลค่ากำลังงานจากแหล่งจ่ายกำลังงานทั้งหมด 3 แหล่งจ่ายกำลังงานที่ถูกป้อนเข้ามายังระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบรวมถึงแสดงช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงของกำลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาตลอดทั้งวัน รวมไปถึงระบบหน้าจอแสดงผลนั้นสามารถแสดงสถานะของแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทั้ง 3 แหล่งจ่ายกำลังงานแบบเรียลไทม์ (Real-time)

จากรูปที่ 9 แสดงวงจรของระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบในงานวิจัยซึ่งจะประกอบไปด้วยระบบที่ทำการติดต่อกำลังงานไฟฟ้าที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบประมวลผลและเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ซึ่งประกอบไปด้วย

ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMEGA2560 โมดูลส่งสัญญาณแบบไร้สายโดยใช้เทคโนโลยี LoRa ซึ่งออกแบบใช้งานในย่านความถี่ 923.4 MHz โดยมีชิพ SX1276 ในการทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลแบบไร้สาย และวงจรควบคุมนั้นจะประกอบไปด้วยภาคเซ็นเซอร์แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเพื่อทำการอ่านข้อมูลและทำการประมวลผลค่ากำลังงาน และรูปที่ 10 แสดงสถานที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัยซึ่งทำการติดตั้งจำนวน 3 จุด สามารถแสดงตำแหน่งที่ทำการติดตั้งบนจอแสดงผลโดยใช้ระบบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส GPS (Global Positioning System: GPS)



รูปที่ 8 แสดงหน้าจอแสดงผลสถานะของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 9 แสดงวงจรที่ทำการสร้างขึ้นของอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริด



รูปที่ 10 แสดงสถานที่ติดตั้งอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดที่ใช้ในงานวิจัย

4. สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบและสร้างงานวิจัยเรื่องนี้สามารถสรุปได้ว่าอุปกรณ์ไมโครสมาร์ทกริดสำหรับแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าทางเลือกส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่งระยะทางไกลด้วยเทคโนโลยี LoRa นั้นสามารถที่จะทำการเลือกแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้งานและเวลาที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้านั้นมีเพียงพอ ได้ในขนาดกำลังไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เกิน 1,000 วัตต์ ระบบยังสามารถส่งข้อมูลแสดงผลได้ในระยะทางไกลที่มีระยะทางมากกว่า 1.5 กิโลเมตร ที่ความถี่ 923.4 MHz ด้วยเทคโนโลยี LoRa ที่กำลังส่งสูงสุด 20 dBm และจากการทำการทดลองสามารถบอกได้ว่าระบบไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบนั้นสามารถช่วยลดกำลังงานสิ้นเปลืองที่ปกติสถานีจะใช้กำลังงานไฟฟ้าจำนวน 1,000 ต่อชั่วโมงต่อวัน ซึ่งเมื่อทำการเชื่อมต่อเพิ่มระบบ ไมโครสมาร์ทกริดที่ทำการออกแบบเข้าไประบบจะสามารถประหยัดพลังงานได้จำนวนเฉลี่ย 12-16 ชั่วโมงต่อวัน ซึ่งสามารถประหยัดกำลังงานได้มากกว่า 50% ของกำลังงานที่ต้องใช้จ่ายจากการไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้นเมื่อทำการคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการใช้กำลังงานไฟฟ้านั้นสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า 50% และระบบมีความคุ้มค่าเมื่อทำการติดตั้งใช้งานในระยะยาว ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านพลังงานทดแทนเช่นอุตสาหกรรมการเกษตรหรืออื่นๆ ได้ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ภายใต้การสนับสนุนสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) หน่วยงานด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย รหัสโครงการ A6403 ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Chaimoon and K. Boonlom, "Assessment of IoT LoRaWAN for Smart Cities : Use for Environmental Monitoring," in Proceeding of 41st Electrical Engineering Conference. Ubon

- Ratchathani, Thailand, November 21-23, 2018, pp. 121-124. (in Thai)
- [2] S. Chaimoon and K. Boonlom, "Connection Technology and Wireless Networks for the Internet of Things," in Proceeding of 11th ECTI-CARD 2019 National Academic Conference, Ubon Ratchathani, Thailand, June 4-7, 2019, pp. 207-210. (in Thai)
- [3] P. Arakkid, K. Boonlom, and S. Chaimoon, "Low Cost Particulate Pollution Measurement System Using LoRaWAN Technology for Smart Cities," in Proceeding of 11th ECTI-CARD 2019 National Academic Conference. Ubon Ratchathani Thailand, June 4-7, 2019, pp. 232-235. (in Thai)
- [4] L. Yanwen, H. Jiang, L. Hongjuan, W. Lebin, "Application of the distributed generation, micro and smart power grid in the urban planning", in Proceeding of The IEEE 4th Annual International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, Hong Kong, China , June 4-7, 2014, pp. 455-463.
- [5] S. Kai , B. Yanbing, J. Lin, "Middleware-based implementation of smart micro-grid monitoring using data distribution service over IP networks," in Proceeding of The 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Cluj-Napoca, Romania, September 02-05, 2014, pp.354-362.
- [6] H. Rui, W. Hai-yuan, S. Li-man , C. Hao , "Research on the power utilization strategy of smart power community integrated with micro-grid system," in Proceeding of The 2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA), Ottawa, Canada, December 29-30, 2014, pp. 448-456.
- [7] L. Ringo P.K., L. Loi Lei, L. Chun Sing, "Design and Application of Smart Metering System for Micro Grid," in Proceeding of The 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Manchester, UK , January 27, 2014, pp. 473-482.
- [8] F. Siyao, Y. Wenjun, W Haifeng, "Integrated micro-grid optimization and control technology," in Proceeding of The 2011 International Conference on Advanced Power System Automation and Protection, Beijing, China. 12 April 2012, pp.519-528.

เครื่องหั่นขมิ้นชันเพื่อประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์

The Development of Turmeric Slicing Machine for Applying in Product Processing

สกล นันทศรีวิวัฒน์

Sakol Nanthasreviwat

สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

Department of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

*Email: itech1@tru.ac.th

Received: February 21, 2022; Revised: May 20, Year; Accepted: May 25, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องหั่นขมิ้นชันเพื่อประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ โดยมีการประเมินความพึงพอใจ 4 ด้าน ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะการใช้งาน ลักษณะการบำรุงรักษาและความเหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน ผลการวิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 คน เป็นผู้ประเมินประกอบด้วย ผู้มีประสบการณ์ทางด้านงานวิจัย จำนวน 1 คน ผู้มีประสบการณ์ด้านเครื่องกล จำนวน 3 คน ผู้มีประสบการณ์ด้านไฟฟ้า จำนวน 1 คน และเกษตรกรที่ปลูกขมิ้นชัน จำนวน 5 คน โดยใช้ขมิ้นชัน 1,000 กรัม ที่มีความเร็วรอบ 400 รอบต่อนาที ระยะเวลาของใบมีด 3 มิลลิเมตร ใช้เวลา 22 วินาที ผลการหั่นมีความหนา 2 - 3 มิลลิเมตร ที่ประเมินความพึงพอใจของเครื่องหั่นขมิ้นชันมีดังนี้ ลักษณะทางกายภาพอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 ลักษณะการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 ลักษณะการบำรุงรักษาอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ส่วนความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งานมีความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 และมีค่าเฉลี่ยรวมของความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.54

คำสำคัญ : เครื่องหั่น, ขมิ้นชัน, การแปรรูป

Abstract

The present study was to create and design a turmeric slicing machine for applying in product processing. The quality of the machine was rated based on the four aspects of satisfaction including physical appearance, usability, maintenance, and appropriateness for its usage. The ten experts were asked to evaluate the machine, including one research expert, three mechanical experts, one electrical expert, and five turmeric agriculturists. One-thousand gram of turmeric were sliced by the developed machine with 400 revolutions per minute. The blade height was 3 millimeters. The slicing process took 22 second to finish. The slicing thickness was 2-3 millimeters. The findings revealed that its physical appearance was ranked at the highest ($\bar{X} = 4.62$). The usability of the machine was ranked at high level ($\bar{X} = 4.37$), and the maintenance was at the highest level ($\bar{X} = 4.55$), followed by its usage appropriateness was also ranked at the highest level ($\bar{X} = 4.55$). The overall satisfaction from every aspect was ranked at the highest level ($\bar{X} = 4.54$).

Keywords: Slicing machine, Turmeric, Product processing

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ขมิ้นชันเป็นไม้ล้มลุกมีความสูงของลำต้นประมาณ 30 - 95 เซนติเมตร มีลำต้นใต้ดิน เรียกว่าเหง้า ประกอบด้วยแง่มี่ลักษณะต่างกันคือ แแง่มี่ หรือแง่มี่หลัก จะมีลักษณะกลม เรียกว่าหัว มีลักษณะยาวคล้ายนิ้วมือ เรียกว่านิ้ว ซึ่งเป็นที่เกิดของรากฝอย ส่วนลำต้นเหนือดิน คือ กาบกำนใบ ที่เรียงซ้อนกันเป็นลำต้นเทียม ส่วนใบเป็นใบเดี่ยวกลางใบสีแดงคล้ำแทงออกจากเหง้าใต้ดิน ลักษณะใบรูปหอกยาวเรียวยาวปลายใบแหลมกว้าง 12 - 15 เซนติเมตร ยาว 30 - 40 เซนติเมตร มีเส้นกลางใบเห็นได้ชัดเจนทางด้านล่างของใบใบเรียงแบบสลับและอยู่กันเป็นกลุ่มดอกออกเป็นช่อ ช่อดอกจะเกิดบนลำต้นที่มีใบ หรือโผล่ขึ้นมาจากใจกลางของกลุ่มใบ ช่อดอกมีรูปร่างแบบทรงกระบอก หรือรูปกรวย ใบประดับมีสีเขียวอ่อน หรือขาวกลีบดอกสีเหลืองอ่อนตรงปลายช่อ จะมีสีชมพูอ่อนจัดเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบกลีบรองกลีบดอกจะเชื่อมติดกันเป็นรูปท่อ มีขนกลีบดอกสีขาว ตรงโคนเชื่อมติดกันเป็นท่อยาว บานครั้งละ 3 - 4 ดอก [1] ผิวนอกสีเหลือง หรือเหลืองน้ำตาล สีภายในสีเหลืองหรือสีส้มปนน้ำตาลเป็นมันแข็งและเหนียว เมื่อบดเป็นผงจะมีสีเหลืองทอง หรือส้มปนน้ำตาลมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว รสขมฝาด เผ็ด และเผ็ดเล็กน้อย คนไทยรู้จักกันในฐานสมุนไพรเครื่องเทศ และนำมาประกอบอาหารแล้วยังใช้เป็นยารักษาโรคบรรเทาอาการเจ็บปวดต่างๆ ได้ สมุนไพรชนิดนี้ยังสามารถนำมาใช้เป็นยารักษาโรคที่เกิดจากอนุมูลอิสระได้

ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดี : ปริมาณน้ำไม่เกิน 10% v/w ปริมาณสิ่งแปลกปลอมไม่เกิน 2% w/w ปริมาณเถ้ารวมไม่เกิน 8% w/w ปริมาณเถ้าที่ไม่ละลายในกรดไม่เกิน 1.0% w/w ปริมาณสารสกัดเอทานอล ไม่น้อยกว่า 10% w/w ปริมาณสารสกัดน้ำ ไม่น้อยกว่า 9% w/w ปริมาณน้ำมันระเหยง่าย(volatile oil) ไม่น้อยกว่า 6% v/w ปริมาณสารเคอร์คูมินอยด์ไม่น้อยกว่า 5% w/w

สรรพคุณตำรายาไทย : ใช้ภายในช่วยเจริญอาหารยาบำรุงธาตุ ฟอกเลือด แก้ท้องอืดเฟ้อ แน่น จุกเสียด ลดน้ำหนัก ปวดประจำเดือน ประจำเดือนมาไม่ปกติ อาการตีข่าน แก้อาการวิงเวียน แก่หวัด แก้อาการชัก ลดไข้ ขับปัสสาวะ รักษาอาการท้องมาน แก้ไข้ผอมแห้ง แก้เสมหะ และโลหิตเป็นพิษ โลหิตออกทางทวารหนักและเบา แก้ตก

เลือด แก้อาการตาบวม แก้ปวดฟันเหงือกบวม มีฤทธิ์ระงับเชื้อ ด้านวัณโรค ป้องกันโรคหนองใน แก้ท้องเสีย แก้บิด รักษาเมะเร็งลำไส้ ใช้ภายนอก ช่วยลดอาการฟกช้ำบวม ปวดไหล่และแขน บวมช้ำและปวดบวม แก้ปวดข้อ สมานแผลสดและแผลถลอก ผสมยานวดคลายเส้น แก้เคล็ดขัดยอก แก้ น้ำกัดเท้า แก้คันระดู แก้กลากเกลื้อน แก้โรคผิวหนังผื่นคัน สมานแผล รักษาฝี แผลพุพอง ลดอาการแพ้ อักเสบจากแมลงสัตว์กัดต่อย ตาใส่แผลห้ามเลือด รักษาผิว บำรุงผิว [2]

ประโยชน์ทางยามีกลิ่นหอมมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา ลดการอักเสบ เพิ่มภูมิคุ้มกัน อิมมูโนโกลบูลิน ชนิดจี (Ig G) ช่วยขยายหลอดลม ด้านการอักเสบรักษาภูมิแพ้ แก้อาการหวัด และอีกหลายๆ โรค [1]

ที่บ้านทำเดื่อน้อย หมู่ 5 ตำบล นิคมสร้างตนเอง อำเภอเมืองจังหวัดลพบุรี เป็นหมู่บ้านเกษตรอินทรีย์ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง เป็นพื้นที่ส่งเสริมการปลูกขมิ้นชัน โดยชื่อว่าไร่ทหารสาธิตประชา เป็นแปลงปลูกสมุนไพรขมิ้นชันพันธุ์แดงสยาม ซึ่งผู้วิจัยเป็นกรรมการคลินิกเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ได้ทำการลงพื้นที่พบว่าชาวบ้านได้ปลูกขมิ้นชันกันหลายไร่ เมื่อมีการเก็บเกี่ยวของแต่ละปีจะได้ขมิ้นชันประมาณ 5,000 - 7,000 กิโลกรัม (5 - 7 ตัน) แล้วนำมาทำความสะอาด เพื่อทำการแปรรูป โดยหันให้เป็นชิ้นบาง ๆ ประมาณ 2 - 4 มิลลิเมตร เพื่อนำไปตากแห้ง จากนั้นจะมีบริษัทเข้ามารับซื้อไปทำยา ปัญหาที่มีอยู่ในการแปรรูปให้เป็นชิ้นบาง ๆ นั้นชาวบ้านจะใช้เวลาด้วยมือ หรือถ้าใช้เครื่องมือหั่นขมิ้นชันจากบริษัทผลิตยา เพื่อทำการหั่นขมิ้นชันด้วยเครื่องมือ เมื่อเสร็จแล้วจะต้องนำส่งบริษัทในกรุงเทพฯ

จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความคิดที่จะสร้างและพัฒนาเครื่องสไลด์ขมิ้นชัน เพื่อจะได้มอบให้ชาวบ้านที่ปลูกขมิ้นชันที่บ้านทำเดื่อน้อยที่ทำการเกษตรอินทรีย์ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง จึงเป็นการช่วยเหลือส่งเสริมและสร้างประโยชน์ให้แก่ชุมชน ตามพันธกิจของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี (ดังแสดงในรูปที่ 1)

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อการออกแบบและสร้างเครื่องหันขมิ้นชั้น
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องหันขมิ้นชั้น

3. ประโยชน์ของการวิจัย

- 3.1 เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ที่หมู่บ้านเกษตรอินทรีย์ตามเศรษฐกิจพอเพียงบ้านท่าเดื่อน้อยหมู่ที่ 5 ตำบลนิคมสร้างตนเองอำเภอเมืองจังหวัดลพบุรี
- 3.2 การสร้างเครื่องหันขมิ้นชั้นสามารถนำไปเป็นเครื่องไว้ศึกษาต่อการเรียนการสอน

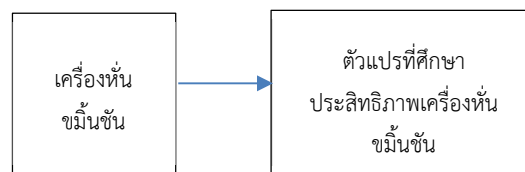
4. ขอบเขตการวิจัย

- การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัยดังนี้
- 4.1 การออกแบบและการสร้างเครื่องหันขมิ้นชั้น
 - 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องหันขมิ้นชั้น
 - 4.2.1 ตัวแปรต้นได้แก่ประสิทธิภาพเครื่องหันขมิ้นชั้น
 - 4.2.2 ตัวแปรตามได้แก่
 - 4.2.2.1 เวลาในการตัดขมิ้นชั้น
 - 4.2.2.2 ขนาดของขมิ้นชั้นหลังการตัด
 - 4.2.3 ตัวแปรควบคุมได้แก่ชนิดและขนาดของขมิ้นชั้น

5. การวัดความพึงพอใจของเครื่องหันขมิ้นชั้น

- 5.1 แบบสอบถามความพึงพอใจได้แก่
 - 5.1.1 ลักษณะทางด้านกายภาพ
 - 5.1.2 ลักษณะทางการใช้งาน
 - 5.1.3 ลักษณะทางการบำรุงรักษา
 - 5.1.4 ความเหมาะสมด้านการนำไปใช้

กรอบแนวคิดของการวิจัย

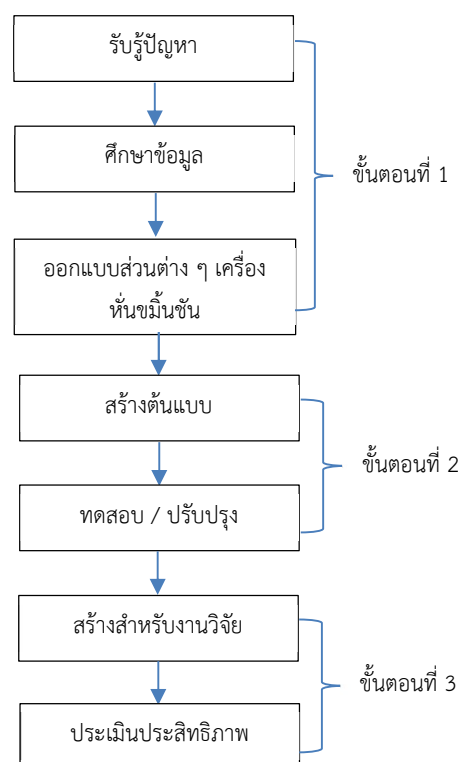


รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

จากรูปที่ 1 ประสิทธิภาพของเครื่องหันขมิ้นชั้น หมายถึงความสามารถในการทำงานของเครื่องหันขมิ้นชั้น ดังนั้นความสามารถของเครื่องหันขมิ้นชั้นจึงเป็นเครื่องบอกให้ทราบถึงคุณลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องหันขมิ้นชั้นจึงสามารถเป็นข้อพิจารณาในการเลือก และใช้เครื่องหันขมิ้นชั้นอย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ในการวัดความพึงพอใจ

6. การดำเนินการวิจัย

ในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องหันขมิ้นชั้นผู้วิจัยได้แบ่งกระบวนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการรับรู้ปัญหาและศึกษาคุณสมบัติ ส่วนประกอบต่างๆและทำการออกแบบ เขียนแบบเครื่องหั่นขมิ้นชัน

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการดำเนินการจัดสร้างเครื่องหั่นขมิ้นชัน หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในส่วนที่ยังมีปัญหา

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการสร้างสำหรับงานวิจัยเพื่อหา ประสิทธิภาพของเครื่องหั่นขมิ้นชัน



7. ผลการทดลอง

ขมิ้นชันและเครื่องหั่นขมิ้นชันแสดงไว้ดังรูปที่ 3,4 และ 5 ขมิ้นชันหลักจากการหั่นด้วยเครื่องหั่นขมิ้นชันเรียบร้อยแล้ว จากการทดสอบและประเมินของผู้เชี่ยวชาญและเกษตรกรที่ทำขมิ้นชัน ดังแสดงที่ตาราง 1 - 5 ส่วนรูปที่ 6 เป็นการปรับตั้งใบมีด รูปที่ 7 และ 8 เป็นขนาดของใบมีด และส่วนประกอบของเครื่องหั่นขมิ้นชัน



รูปที่ 3 ลักษณะของขมิ้นชัน

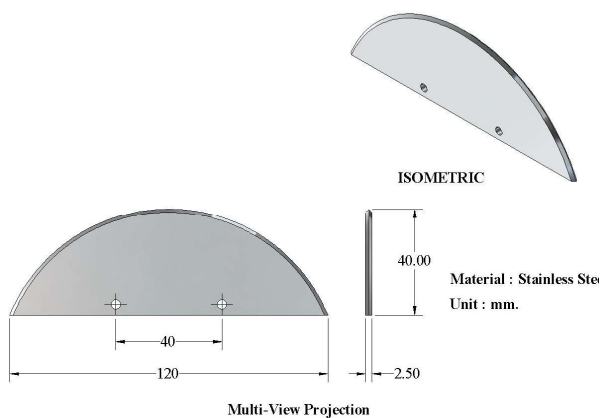
รูปที่ 4 มอบเครื่องหั่นขมิ้นชันให้หมู่บ้านเกษตรอินทรีย์



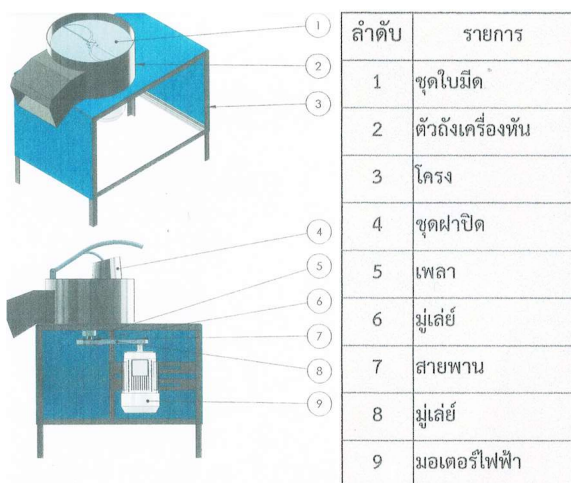
รูปที่ 5 แสดงชิ้นขมิ้นชันหลังการหั่น



รูปที่ 6 แสดงการปรับความห่างใบมีด



รูปที่ 7 ใบมีดหั่นไขมันชั้น



รูปที่ 8 ส่วนประกอบเครื่องหั่นไขมันชั้น

ตารางที่ 1 การทดลองเครื่องหั่นไขมันชั้นด้วยความสูงของใบมีดที่ตั้งไว้ (ทดลองที่ไขมัน 1000 กรัม)

ความเร็วรอบของใบมีด (รอบต่อนาที)	ระยะความสูงของใบมีด (มิลลิเมตร)	ใช้เวลา (วินาที)	ผลการทดลอง
400	3	22	ออกมาเป็นแผ่นขนาด 2 - 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของเครื่องหั่นไขมันชั้นลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพ	\bar{x}	SD	แปลความ
1. เครื่องหั่นไขมันชั้นมีความสวยงามกะทัดรัด	4.70	0.67	มากที่สุด
2. การออกแบบเครื่องหั่นไขมันชั้นมีความเหมาะสม	4.20	0.42	มาก
3. การออกแบบเครื่องหั่นไขมันชั้นมีความแข็งแรง	4.80	0.63	มากที่สุด
4. เครื่องหั่นไขมันชั้น โดยภาพรวมมีความคงทน	4.80	0.63	มากที่สุด
รวม	4.62	0.58	มากที่สุด

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของเครื่อง
หั่นขมิ้นชั้น ลักษณะการใช้งาน

ลักษณะการใช้งาน	\bar{x}	SD	แปล ความ
1. การบรรจุขมิ้นลงเครื่อง ทำได้สะดวก	4.10	0.73	มาก
2. การทำงานของชิ้นส่วน ต่างๆมีความสัมพันธ์กัน	4.10	0.73	มาก
3. การออกแบบเครื่องหั่น ขมิ้นชั้นง่ายต่อการใช้งาน	4.80	0.63	มากที่สุด
4. ขั้นตอนการปฏิบัติงานมี ความเหมาะสม	4.50	0.52	มากที่สุด
รวม	4.37	0.65	มาก

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของเครื่อง
หั่นขมิ้นชั้น ลักษณะการบำรุงรักษา

ลักษณะการบำรุงรักษา	\bar{x}	SD	แปล ความ
1. การบำรุงรักษาก่อน และหลังปฏิบัติงานทำได้ ง่าย	4.40	0.5	มาก
2. การออกแบบเครื่องหั่น ขมิ้นชั้นง่ายต่อการเก็บ รักษา	4.40	0.5	มาก
3. วัสดุที่นำมาสร้างเครื่อง หั่นขมิ้นชั้นหาได้ง่าย	4.50	0.52	มากที่สุด
4. เมื่อชิ้นส่วนใดชำรุด สามารถซ่อมแซมหรือ เปลี่ยนได้	4.90	0.42	มากที่สุด
รวม	4.55	0.48	มากที่สุด

ตารางที่ 5 แสดงผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของเครื่อง
หั่นขมิ้นชั้น ด้านการนำไปใช้งาน

ความเหมาะสมด้านการ นำไปใช้งาน	\bar{x}	SD	แปล ความ
1. ผู้ปฏิบัติงาน 1 คน สามารถปฏิบัติงานได้	4.60	0.69	มากที่สุด
2. มีความปลอดภัยขณะ ปฏิบัติงาน	4.30	0.67	มาก
3. เคลื่อนย้ายไปปฏิบัติงาน ในที่ต้องการได้	4.90	0.42	มากที่สุด
4. สะดวกต่อการนำไป ปฏิบัติงาน	4.70	0.67	มากที่สุด
รวม	4.62	0.61	มากที่สุด

ตารางที่ 6 แสดงผลวิเคราะห์ความพึงพอใจของเครื่องหั่น
ขมิ้นชั้น

ความพึงพอใจ	\bar{x}	SD	แปล ความ
1. ลักษณะทางกายภาพ	4.62	0.58	มากที่สุด
2. ลักษณะการใช้งาน	4.37	0.65	มาก
3. ลักษณะการบำรุงรักษา	4.55	0.48	มากที่สุด
4. ความเหมาะสมด้าน การนำไปใช้งาน	4.62	0.61	มากที่สุด
รวม	4.54	0.58	มากที่สุด

8. สรุปผลการทดลองงาน

จากการทดลองเครื่องหั่นขมิ้นชั้นและวัดความพึงพอใจ
ในการใช้งานของผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผลการหั่นขมิ้นชั้นที่ออกมา 1,000 กรัม ใช้ความเร็ว
รอบใบมีด 400 รอบต่อนาที ตั้งระยะห่างของใบมีด 3
มิลลิเมตร ใช้เวลา 22 วินาที ผลการหั่นขมิ้นชั้นมีความหนา
2 - 3 มิลลิเมตร และยังมีบางส่วนที่ออกมาละเอียด

2. ผลจากผู้เชี่ยวชาญที่ประเมินความพึงพอใจทางด้านลักษณะทางกายภาพพบว่า อยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากที่สุด ส่วนทางด้านลักษณะการใช้งานพบว่า การใช้งานอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากส่วนทางด้านลักษณะการบำรุงรักษา อยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากที่สุดและทางด้านความเหมาะสมด้านการนำไปใช้งาน อยู่ในเกณฑ์ที่มีความพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็น 90.20 เปอร์เซนต์

ข้อดีของเครื่องหั่นขมิ้นชัน

1. มีความสะดวกรวดเร็วและใช้เวลาน้อยในการหั่นขมิ้นชัน
2. ผู้ปฏิบัติงาน 1 คนสามารถทำได้
3. มีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน
4. การดูแลรักษาก่อนใช้งานและหลังใช้งานได้สะดวก
5. เครื่องหั่นขมิ้นชันสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่นได้ เช่น ใช้กับการหั่นขิง ข่า กระชาย หรือพืชที่มีเหง้าที่มีขนาดใกล้เคียงกับขมิ้นชัน

ข้อควรปรับปรุงของเครื่องหั่นขมิ้นชัน

ช่องทางในการใส่ขมิ้นชันเพื่อทำการหั่นยังมีขนาดจำกัด จำนวนการป้อนขมิ้นชัน

ข้อเสนอแนะของเครื่องหั่นขมิ้นชัน

ควรทำความสะอาดใบมีดขณะหั่นขมิ้นชันและขมิ้นชันจะมียางเหนียวๆเคลือบใบมีดเมื่อสังเกตว่าขมิ้นชันที่หั่นมานั้นเริ่มไม่เป็นแผ่นบาง

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Turmeric. [Online]. [Cited January 14, 2022]. Available: http://https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=51.
- [2] Turmeric. [Online]. [Cited December 3, 2021]. Available: <http://www.thaicrudedrug.com/main.php?action=viewpage&pid=34>

- [3] B. Kanjana, “Development of Galingale Slicing Machine for Producing Dried Galingale for Agriculturalists in Post-flooding Areas in Uttaradit Province” Bachelor Thesis, Bachelor of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand, 2010 (in Thai).
- [4] B. Phatthracharukun, “Basic Electrical and Electronic Work”. Bangkok: Se-ed publication, 2013 (in Thai)
- [5] B. Phatthracharukun, “The Development and Design of Curcuma Slicing Machine for Effective Productio”, Bachelor Thesis, Bachelor of Industrial Technology, Production Technology Major, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Thailand, 2017 (in Thai).
- [6] Turmeric. [Online]. [Cited December 3, 2021]. Available: <https://www.disthai.com/16488284/ขมิ้นชัน>
- [7] Turmeric. [Online]. Cited December 10, 2021]. Available: <https://www.doctor.or.th/article/detail/3976>
- [8] A. Tantrapiwat. “The Development of Machine Design”. Department of Mechanical Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Lad
- [9] Turmeric Extract. [Online]. [Cited January 10, 2022]. Available: <https://www.gpoplanet.com/th/vblog/11706/blog-11706>

การพัฒนาโปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวัน
ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน

Software Development of Missing Daily Rainfall Data
using Inverse Distance Weighting

จันทนา ปัญญาวารภรณ์^{1*} และ ศรีสุนี วุฒิวงศ์โยธิน²

Jantana Panyavaraporn^{1*} and Srisunee Wuthiwongyothin²

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

*Email: jantanap@eng.buu.ac.th

Received: March 19, 2022; Revised: April 28, 2022; Accepted: April 29, 2022

บทคัดย่อ

การประมาณค่าสูญหายของฝนรายวันใช้สำหรับเติมชุดข้อมูลฝนให้มีความสมบูรณ์ก่อนนำไปวิเคราะห์หรือประเมินปริมาณน้ำในอนาคต งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การพัฒนาโปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวันโดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันที่สามารถปรับสถานีฐานและค่ายกกำลังได้ จากผลการทดสอบข้อมูลฝนรายวันของสถานีเป้าหมายที่ต้องการเติมค่าสูญหายพบว่าระยะเวลาในการประมวลผลต่อรอบอยู่ที่ประมาณ 9-20 วินาทีขึ้นอยู่กับปริมาณฝนรายวันและเปอร์เซ็นต์การสูญหาย นอกจากนี้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีส่วนต่อประสานผู้ใช้ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและประมวลผลที่รวดเร็วขึ้น

คำสำคัญ : การพัฒนาโปรแกรม, วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน, ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน

Abstract

Gap filling daily rainfall data is an important step to obtain a complete data set before further study that related to water resources. Therefore, this paper presented a software development to fill the missing daily rainfall data using Inverse Distance Weighting (IDW) method that can adjust the number of base stations and powers. The testing result showed that the processing time per round was 9-20 seconds based on daily rainfall data and percent of missing rainfall. Moreover, the program has a user interface (UI) that makes it easy to use and fast processing.

Keywords : Software Development, Inverse Distance Weighting, User Interface

1. บทนำ

ข้อมูลฝนและน้ำเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต หากข้อมูลฝนรายวันที่มีเป็นชุดข้อมูลที่สมบูรณ์จะทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น และเพิ่มความปลอดภัยทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน อีกทั้ง มีประโยชน์ต่อการศึกษา เช่น ป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติทางน้ำ [1-2] การออกแบบเขื่อนและสะพานตามขนาดที่เหมาะสมและปลอดภัย เป็นต้น

ปัจจุบันการตรวจวัดปริมาณน้ำฝนด้วยอุปกรณ์หรือเครื่องมืออาจจะเก็บข้อมูลฝนไม่ครบถ้วน ซึ่งจะมีบางส่วนของข้อมูลที่สูญหายไป [3] ข้อมูลฝนที่สูญหายอาจจะเกิดจากเครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำฝนชำรุด เจ้าหน้าที่ไม่ได้ทำการบันทึกข้อมูล หรือมีเหตุสุดวิสัยจากภัยธรรมชาติ เช่น เกิดจากพายุฝนตกหนักทำให้เครื่องมือทำงานผิดปกติในช่วงเวลา [4] เป็นต้น การประมาณค่าข้อมูลฝนรายวันที่ขาดหายหรือสูญหายไปจึงเป็นส่วนสำคัญ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความสมบูรณ์และถูกต้องก่อนนำไปใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์ต่อไป

การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) คือวิธีที่ใช้ในการทำนายค่าที่ไม่ทราบหรือค่าสูญหายจากข้อมูลที่มีอยู่ โดยวิธีนี้จำเป็นต้องมีข้อมูลที่ทราบค่าเพื่อใช้ในการประมาณหรือเติมค่าสูญหาย งานวิจัยนี้จะใช้หลักการประมาณค่าในช่วงโดยพิจารณาจากข้อมูลที่มีอยู่จากสถานีข้างเคียงหรือคัดเลือกจากลักษณะเงื่อนไขบางอย่างที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ไม่ทราบค่า เช่น อยู่ในพื้นที่เดียวกัน มีลักษณะพื้นที่แบบเดียวกัน เป็นต้น โดยทั่วไปมักจะเลือกใช้จากตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงกัน วิธีการประมาณค่าในช่วงมีหลายวิธีทั้งวิธีอย่างง่ายไปจนวิธีที่ซับซ้อน เช่น วิธีการประมาณค่าเชิงเส้น วิธีการระยะทางผกผัน วิธีการกริกกิง (Kriging) ซึ่งเป็นวิธีประมาณค่าในช่วงขั้นสูง การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธีต่าง ๆ อาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน อีกทั้ง ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ยืนยันได้ว่าวิธีใดดีที่สุด หลักในการเลือกวิธีการประมาณค่าในช่วงจึงต้องใช้ความเข้าใจและความเหมาะสมของการเลือกใช้วิธีนั้นในการนำไปประยุกต์ใช้

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยที่เปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าสูญหายโดยเฉพาะอย่างยิ่งใน

ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา โดยมีทั้งวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่หรือการปรับปรุงจากวิธีดั้งเดิม ยกตัวอย่างเช่นงานวิจัย [1-3, 5-8] แต่จากการสำรวจงานวิจัยพบว่าวิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) มักพบในงานวิจัยเพื่อใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าข้อมูลที่สูญหาย [1-2, 5, 6, 9-12]

นอกจากนี้ วิธี IDW มีการใช้งานเรื่อยมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น งานวิจัยที่ [9] ใช้วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันสำหรับข้อมูลฝนในประเทศไต้หวัน และงานวิจัยที่ [13] ศึกษาวิธีการประมาณค่าและเปรียบเทียบจำนวน 4 วิธีในประเทศออสเตรเลีย และพบว่าวิธี IDW ให้ผลการคำนวณดีกว่าวิธีอื่นที่ใช้ในการศึกษา แม้ว่าวิธี IDW ในงานวิจัยอื่นจะไม่ใช่วิธีการประมาณค่าที่ดีที่สุดหลายงานวิจัย แต่วิธี IDW ยังเป็นวิธีหลักที่นิยมใช้เติมค่าสูญหายหรือใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีอื่นอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ ยังมีการนำวิธี IDW ไปประยุกต์ใช้เพื่อเติมข้อมูลลักษณะอื่น เช่น ข้อมูลฝนจากภาพถ่ายดาวเทียม [14] และมีการนำไปใช้ในโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ โปรแกรม ArcGIS และ QGIS ในการสร้างแบบจำลองพื้นผิวการประมาณค่าในช่วงอีกด้วย

วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงจากสถานีข้างเคียงและจัดเป็นการประมาณค่าเชิงพื้นที่แบบตายตัว (Deterministic Spatial Interpolation) เหตุผลหลักที่วิธี IDW ยังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา เนื่องจากเป็นวิธีที่คำนวณได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทั้งนี้วิธี IDW เติมค่าสูญหายโดยใช้ข้อมูลจากสถานีหรือตำแหน่งใกล้เคียงที่มีข้อมูล โดยตัวแปรในการถ่วงน้ำหนักได้แก่ ระยะห่างของสถานีข้างเคียงที่ใช้ข้อมูลและค่ายกกำลังที่ใช้คำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก โดยทั่วไปค่ายกกำลัง (k) ในสมการที่ (2) ที่ใช้สำหรับคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักควรมีการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ศึกษา ซึ่งนิยมใช้ค่ายกกำลังเท่ากับ 2 และสถานีข้างเคียงที่ใช้สถานีที่อยู่ใกล้ก็จะส่งผลให้การเติมค่าแม่นยำกว่าสถานีที่อยู่ไกลออกไป ทั้งนี้จำนวนสถานีข้างเคียงที่เลือกใช้ก็ส่งผลต่อการประมาณค่าเช่นกัน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่การพัฒนาโปรแกรมที่มีส่วนประสานงานผู้ใช้ (User Interface)

ที่สะดวกและง่ายต่อการเติมค่าฝนรายวันที่สูญหายแบบรายสถานีซึ่งมีตำแหน่งเฉพาะจุด (Point Location) ด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันและสามารถกำหนดค่ายกกำลัง (สมการที่ (2)) เพื่อใช้หาค่ายกกำลังที่เหมาะสมได้ พร้อมทั้งวิเคราะห์การใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

2. วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน

การเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวันด้วยวิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) โดยใช้ข้อมูลจาก [12] เพื่อเติมข้อมูลฝนให้กับสถานีเป้าหมายที่มีข้อมูลสูญหายจะใช้ข้อมูลจากสถานีข้างเคียง (P_i) ที่อยู่ใกล้ที่สุดจำนวน N สถานีที่มีข้อมูลนำมาคำนวณตามสมการที่ (1) โดยค่าถ่วงน้ำหนัก (W_i) แต่ละสถานีคำนวณจากส่วนกลับของระยะห่างระหว่างสถานีเป้าหมายและสถานีข้างเคียงและค่ายกกำลัง (k) ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$P_x = \sum_{i=1}^N W_i P_i \quad (1)$$

$$W_i = \frac{d_i^{-k}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-k}} \quad (2)$$

เมื่อ P_x คือปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่ไม่ทราบค่า (มม.)

P_i คือปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่ทราบค่า (มม.)

จากสถานีข้างเคียง

k คือค่ายกกำลัง ซึ่งค่าพื้นฐานจะเท่ากับ 2

N คือจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่ทราบค่า

d_i คือระยะระหว่างสถานีเป้าหมายกับสถานีข้างเคียงที่

คำนวณระยะห่างระหว่างจุด (d_i) หรือเรียกว่า “Euclidean distance” (กม.) จากสมการที่ (3)

$$d_i = \sqrt{(x_x - x_i)^2 + (y_x - y_i)^2} \quad (3)$$

เมื่อ x_x คือพิกัดแกน x ของสถานีเป้าหมาย

x_i คือพิกัดแกน x ของสถานีข้างเคียง

y_x คือพิกัดแกน y ของสถานีเป้าหมาย

y_i คือพิกัดแกน y ของสถานีข้างเคียง

ถ้าค่ายกกำลัง (k) เท่ากับ 1 การประมาณค่าสูญหายเพื่อเติมให้กับสถานีเป้าหมาย (P_x) จะเป็นการเฉลี่ยค่าจากสถานีข้างเคียงแบบวิธีปกติ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ การเตรียมข้อมูล และการพัฒนาโปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝน

3.1 ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

จัดเตรียมข้อมูลฝนรายวันทั้งหมดให้อยู่ในไฟล์ excel ที่ประกอบด้วย 2 ซิตคือ Coordinate และ data อธิบายองค์ประกอบของข้อมูลในแต่ละซิตดังตารางที่ 1

พิกัดสถานี ตามระบบ Universal Transverse Mercator (UTM) ที่ประกอบด้วยค่าในแกน x จำนวน 6 หลักและค่าในแนวแกน y จำนวน 7 หลัก (รูปที่ 1(ก)) ใช้สำหรับคำนวณระยะห่างระหว่างสถานีตามสมการที่ (3) ข้อมูลฝนรายวันของสถานีที่ต้องการเติมค่าสูญหายประกอบด้วย วัน เดือน ปี และข้อมูลฝนดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 1(ข)

ตารางที่ 1 กำหนดองค์ประกอบของข้อมูล

ชื่อซิต	หน้าที่
Coordinate	คอลัมน์ที่ A ระบุรหัสของสถานีฐาน คอลัมน์ที่ B และ C ระบุพิกัดสถานีฐานในแนวแกน x และ y ตามลำดับ
data	คอลัมน์ที่ A ลำดับข้อมูล คอลัมน์ที่ B ค.ศ. คอลัมน์ที่ C เดือน คอลัมน์ที่ D วัน คอลัมน์ที่ E ข้อมูลฝนรายวันของสถานีที่แรก คอลัมน์อื่น ๆ ข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานี

	A	B	C
1	Station Code	x	y
2	70480	495,017	2,112,268
3	70420	497,908	2,100,463
4	70440	497,677	2,105,663
5	70391	501,446	2,077,638
6	70450	499,718	2,093,492
7	70540	518,154	2,081,210
8	70550	516,550	2,072,269
9	327016	496,159	2,141,311
10	327006	521,160	2,141,291
11	327005	494,176	2,114,116

(ก) ค่าพิกัด

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Year	Month	Date	70480	70420	70440	70391	70450	70540	
2	1953	1	1/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
3	1953	1	2/1/1953	0	0	0	NA	0.1	NA	
4	1953	1	3/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
5	1953	1	4/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
6	1953	1	5/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
7	1953	1	6/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
8	1953	1	7/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
9	1953	1	8/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
10	1953	1	9/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
11	1953	1	10/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
12	1953	1	11/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	
13	1953	1	12/1/1953	0	0	0	NA	0	NA	

(ข) ข้อมูล

(ค)

รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลในไฟล์ excel

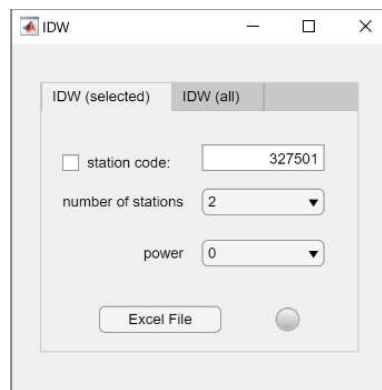
*NA คือค่าสูญหายในข้อมูล (missing data)

3.2 ขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูล

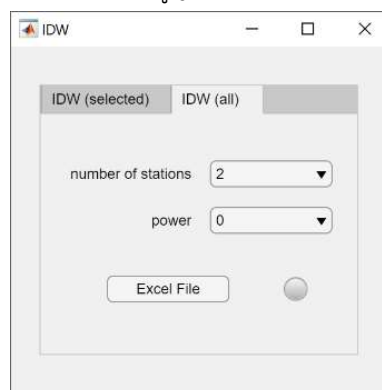
งานวิจัยนี้ใช้วิธีดำเนินการตามวัฏจักรของการพัฒนาซอฟต์แวร์ (SDLC) มีขั้นตอนดังนี้

1) วิเคราะห์ความต้องการ (Requirements) ด้วยความต้องการนำข้อมูลฝนรายวันไปใช้ในการวิเคราะห์ทางด้านแหล่งน้ำ เช่น ใช้ข้อมูลฝนรายวันสำหรับบริหารจัดการน้ำ ลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ป้องกันและบรรเทาภัยพิบัติทางน้ำ เป็นต้น แต่ข้อมูลที่เก็บได้จากสถานีตรวจวัดมีข้อมูลฝนบางวันที่สูญหายไป จึงพัฒนาโปรแกรมที่ใช้วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) สำหรับเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวัน จากเหตุผลข้างต้นพบว่าความต้องการเบื้องต้นประกอบด้วย กลุ่มผู้ใช้ ได้แก่ เจ้าหน้าที่กรมชลประทานและนักวิจัยที่ทำงานวิจัยเกี่ยวกับแหล่งน้ำ และส่วนต่อประสานผู้ใช้ (UI) ที่มีปุ่มปรับค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ จำนวนสถานีฐานและค่ายกกำลัง (สมการที่ (1-2)) พร้อมทั้งผลที่ได้หลังจากการเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนด้วยวิธี IDW ที่อยู่ในไฟล์ excel เดิม

2) การวิเคราะห์และออกแบบ (Analysis and Design) โดยนำความต้องการของผู้ใช้มาวิเคราะห์และออกแบบส่วนประสานผู้ใช้ดังรูปที่ 2



(ก) เติมค่าสูญหายเฉพาะสถานี



(ข) เติมค่าสูญหายทุกสถานี

รูปที่ 2 การออกแบบส่วนประสานผู้ใช้

ออกแบบโปรแกรมโดยพิจารณาจาก 2 เงื่อนไขที่ผู้ใช้งานต้องการ ดังนี้

2.1) ต้องการเติมค่าสูญหายเฉพาะสถานี

จากรูปที่ 2(ก) มีองค์ประกอบ 4 ส่วน คือ Edit Field, Drop Down, Button และ Lamp แสดงหน้าที่การใช้งานของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทำงานของส่วนต่อประสานผู้ใช้

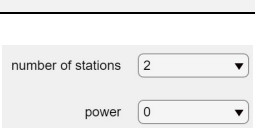

องค์ประกอบ	หน้าที่
station code: <input type="text" value="327501"/>	ใส่รหัสสถานีที่ต้องการเติมค่าสูญหาย
number of stations: <input type="text" value="2"/> power: <input type="text" value="0"/>	เลือกจำนวนสถานีที่อ้างอิง ปรับค่ายกกำลัง (สมการที่ (1-2))
<input type="button" value="Excel File"/>	กดปุ่มเพื่อโหลดไฟล์ excel
<input type="radio"/>	ไฟสถานะทำงาน

หลักการการทำงานของโปรแกรม เริ่มต้นจากระบุสถานะที่ต้องการเติมค่าสูญหาย เลือกจำนวนสถานีอ้างอิงและปรับค่านัยกำลัง หลังจากนั้น โหลดไฟล์ excel ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล โปรแกรมจะทำงานทันทีหลังจากโหลดไฟล์เสร็จในขั้นตอนนี้ไฟสถานะจะเป็นสีขาว เมื่อประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไฟสถานะจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวทันที หากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจะมีข้อความแจ้งเตือน และไฟสถานะจะเปลี่ยนเป็นสีแดง

2.2) ต้องการเติมค่าสูญหายทุกสถานี

จากรูปที่ 2(ข) มีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วน คือ Drop Down, Button และ Lamp แสดงหน้าที่การใช้งานของแต่ละองค์ประกอบดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทำงานของส่วนต่อประสานผู้ใช้

องค์ประกอบ	หน้าที่
	เลือกจำนวนสถานีที่อ้างอิงปรับค่านัยกำลัง (สมการที่ (1-2))
	กดปุ่มเพื่อโหลดไฟล์ excel
	ไฟสถานะทำงาน

หลักการการทำงานของโปรแกรมเริ่มต้นจากเลือกจำนวนสถานีอ้างอิงและปรับค่านัยกำลัง หลังจากนั้น โหลดไฟล์ excel ที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้อมูล โปรแกรมจะทำงานทันทีหลังจากโหลดไฟล์เสร็จ ไฟสถานะจะเป็นสีขาวขณะโปรแกรมกำลังประมวลผล เมื่อประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วไฟสถานะจะเปลี่ยนเป็นสีเขียวทันที หากเกิดข้อผิดพลาดจะมีข้อความแจ้งเตือนและไฟสถานะจะเปลี่ยนเป็นสีแดงดังแสดงความหมายของไฟสถานะดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ไฟสถานะ

สีของไฟสถานะ	ความหมาย
สีเทา	 เริ่มต้นเปิดใช้งานโปรแกรม
สีขาว	 กำลังประมวลผล
สีเขียว	 ประมวลผลเสร็จสมบูรณ์แล้ว
สีแดง	 มีข้อผิดพลาด (error)

3) การพัฒนา (Development) โปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวันด้วยวิธี IDW พัฒนาจากโปรแกรม MATLAB ที่แสดงในรูปของ UI เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน

ขั้นตอนการเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวัน เริ่มต้นจากการคำนวณระยะห่างระหว่างสถานีเป้าหมายและสถานีข้างเคียง (สมการที่ (3)) หลังจากนั้น เรียงค่าระยะห่างจากมากไปน้อย และเลือกใช้สถานีข้างเคียงที่มีระยะห่างมากที่สุดจำนวน N สถานีคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (สมการที่ (2)) และปริมาณน้ำฝนของสถานีเป้าหมาย (สมการที่ (1))

4) การทดสอบ (Testing) แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ทดสอบองค์ประกอบย่อย เช่น ความถูกต้องของการคำนวณจากทฤษฎี โดยปรับค่าสถานีฐาน ปรับค่าสถานีอ้างอิง และปรับค่านัยกำลัง เป็นต้น และทดสอบภาพรวมของโปรแกรม เช่น ผลลัพธ์ที่ได้ การกดปุ่ม และการใช้งานโดยรวม เป็นต้น

5) การสนับสนุนและการบำรุงรักษา (Support and Maintenance) หลังจากให้ผู้เชี่ยวชาญข้อมูลฝนรายวันที่สูญหายมาทดสอบประสิทธิภาพ ความแม่นยำ ความเร็วในการประมวลผลของโปรแกรม

6) การวิเคราะห์และการประเมินผล

4. ผลการทดสอบโปรแกรม

ขั้นตอนการทดสอบโปรแกรมแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การทดสอบภาพรวมของโปรแกรม การทดสอบปรับสถานีฐาน และการทดสอบปรับค่านัยกำลัง โดยจะคำนวณค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของแต่ละตำแหน่งที่ข้อมูลฝนรายวันเกิดการสูญหาย (E_i) ดังสมการที่ (4)

$$E_i = |P_x - P_{real}| \quad (4)$$

เมื่อ P_x คือปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่ไม่ทราบค่า (มม.)

P_{real} คือปริมาณน้ำฝนจริง (มม.)

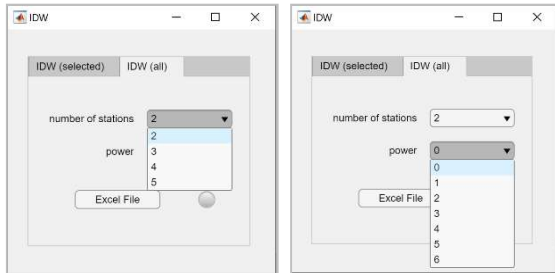
การทดสอบโปรแกรมจะใช้คอมพิวเตอร์ที่มีคุณลักษณะในการประมวลผล ดังนี้ Processor: Intel(R) Core(TM) i5-6300U CPU @ 2.40GHz 2.50 GHz, RAM 8 GB

4.1 ทดสอบภาพรวมของโปรแกรม

ทดสอบการใช้งานส่วนประสานงานผู้ใช้ (UI) ตามลำดับขั้นตอน ดังนี้

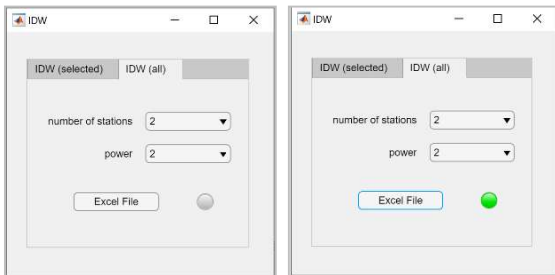
- 1) ระบุจำนวนสถานีอ้างอิงตั้งแต่ 2-5 สถานี (รูปที่ 3(ก))
- 2) ระบุค่ายกกำลังโดยเลือกจาก 0 ถึง 6 (รูปที่ 3(ข))

ทำการทดลองโดยระบุสถานีอ้างอิงเป็น 2 และค่ายกกำลังเป็น 2 (รูปที่ 3 (ค))



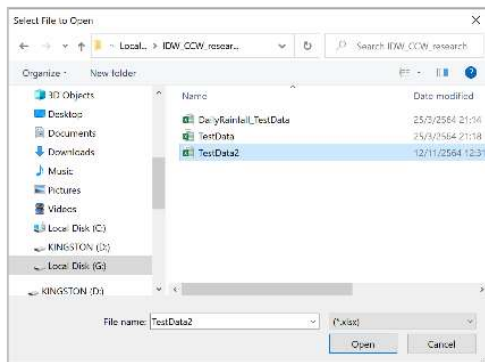
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ 3 ขั้นตอนการใช้งานของวิธี IDW

3) กดปุ่มเพื่อโหลดไฟล์ excel ที่จัดเตรียมไว้ตามหัวข้อที่ 3.1 ดังตัวอย่างในรูปที่ 3(จ) หลังจากนั้น โปรแกรมจะเริ่มประมวลผล หากโปรแกรมทำงานเสร็จแล้วสัญญาณไฟจะเปลี่ยนเป็นสีเขียว (รูปที่ 3(ง))

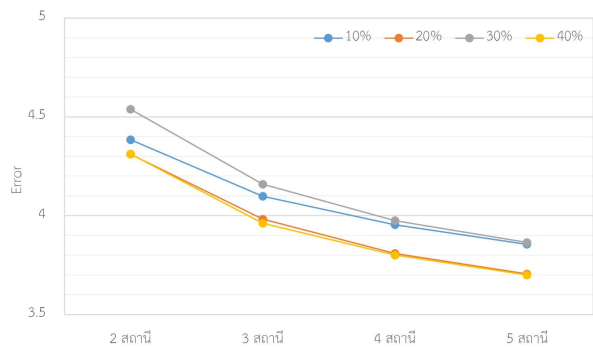
4) ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในไฟล์ excel เดิมในชีทชื่อ result ดังตัวอย่างในรูปที่ 4

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Year	Month	ชื่อสถานี	70480	70420	70440	70391	
1								
2	1	1953	1	1/1/2496	0	0	0	0
3	2	1953	1	2/1/2496	0	0	0	0
4	3	1953	1	3/1/2496	0	0	0	0
5	4	1953	1	4/1/2496	0	0	0	0
6	5	1953	1	5/1/2496	0	0	0	0
7	6	1953	1	6/1/2496	0	0	0	0
8	7	1953	1	7/1/2496	0	0	0	0
9	8	1953	1	8/1/2496	0	0	0	0
10	9	1953	1	9/1/2496	0	0	0	0
11	10	1953	1	10/1/2496	0	0	0	0
12	11	1953	1	11/1/2496	0	0	0	0
13	12	1953	1	12/1/2496	0	0	0	0
14	13	1953	1	13/1/2496	0	0	0	0
15	14	1953	1	14/1/2496	0	0	0	0
16	15	1953	1	15/1/2496	0	0	0	0
17	16	1953	1	16/1/2496	0	0	0	0
18	17	1953	1	17/1/2496	0	0	0	0
19	18	1953	1	18/1/2496	0	0	0	0
20	19	1953	1	19/1/2496	0	0	0	0
21	20	1953	1	20/1/2496	0	0	0	0
22	21	1953	1	21/1/2496	0	0	0	0
23	22	1953	1	22/1/2496	0	0	0	0
24	23	1953	1	23/1/2496	0	0	0	0
25	24	1953	1	24/1/2496	0	0	0	0
26	25	1953	1	25/1/2496	0	0	0	0
27	26	1953	1	26/1/2496	0	0	0	0
28	27	1953	1	27/1/2496	0	0	0	0
29	28	1953	1	28/1/2496	0	0	0	1.515208
30	29	1953	1	29/1/2496	5.9	0	5	5.881011
31	30	1953	1	30/1/2496	8	3.1	2	0.654441
32	31	1953	1	31/1/2496	3.4	5.2	17	1.942648
33	32	1953	2	1/2/2496	0	0	0	5.889972

รูปที่ 4 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี IDW

4.2 ปรับสถานีอ้างอิง

ทดลองปรับสถานีอ้างอิงจาก 2-5 สถานีโดยใช้ข้อมูลฝนรายวันจำนวน 21 สถานีที่เก็บข้อมูลฝนตั้งแต่ปี.ศ. 1953-2017 และให้สถานี 327009 คือสถานีเป้าหมายที่มีค่าสูญหาย 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ



รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด

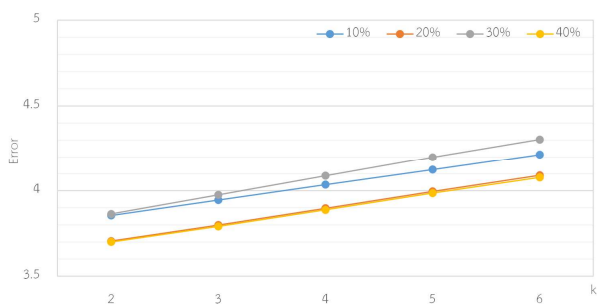
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด เมื่อปรับค่าสถานีอ้างอิง

% ค่าสูญหาย	2 สถานี	3 สถานี	4 สถานี	5 สถานี
10	4.3841	4.0980	3.9541	3.8548
20	4.3106	3.9830	3.8085	3.7054
30	4.5379	4.1592	3.9744	3.8643
40	4.3118	3.9619	3.8007	3.6998

ผลการทดลองปรับจำนวนสถานีอ้างอิงเป็นดังรูปที่ 5 และตารางที่ 5 พบว่าจำนวนสถานีอ้างอิงที่มากขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดน้อยลง สรุปได้ว่าผลการเติมค่าสูญหายจะแม่นยำขึ้น เมื่อใช้จำนวนสถานีอ้างอิงเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

4.3 ปรับค่ายกกำลัง

ทดลองปรับค่ายกกำลัง (k) โดยใช้ข้อมูลฝนรายวันจากกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 21 สถานีที่เก็บข้อมูลฝนตั้งแต่วันที่ ค.ศ. 1953-2017 กำหนดสถานีอ้างอิงไว้ที่ 5 สถานีตามผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 ทำการปรับค่ายกกำลัง (k) จาก 2 ถึง 6 และให้สถานี 327009 คือสถานีเป้าหมายที่มีค่าสูญหาย 10%, 20%, 30% และ 40% ตามลำดับ



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาด เมื่อปรับค่ายกกำลัง

%	ค่ายกกำลัง (k)				
	2	3	4	5	6
10	3.8548	3.9448	4.0350	4.1239	4.2142
20	3.7054	3.7988	3.8962	3.9956	4.0902
30	3.8643	3.9753	4.0876	4.1992	4.3033
40	3.6998	3.7906	3.8881	3.9859	4.0787

ผลการทดลองปรับค่ายกกำลัง (k) ดังแสดงในรูปที่ 6 และตารางที่ 6 พบว่าค่ายกกำลังที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลนี้คือ ค่ายกกำลังสอง (k = 2) เนื่องจากค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจะมีค่าน้อยที่สุด อีกทั้งการใช้ค่ายกกำลังที่สูงจะส่งผลให้เวลาในการประมวลผลเพิ่มมากขึ้นด้วย

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของตารางที่ 5-6 อยู่ที่ประมาณ 9-20 วินาที เนื่องจากระยะเวลาการประมวลผลขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น จำนวนสถานีอ้างอิงและค่ายกกำลัง เป็นต้น

5. สรุปผล

โปรแกรมเติมค่าสูญหายข้อมูลฝนรายวันโดยใช้วิธีถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันสามารถปรับสถานีอ้างอิงจาก 2 ถึง 5 สถานีและค่ายกกำลังจาก 2 ถึง 6 จากผลการทดลองใช้ข้อมูลฝนรายวันปีค.ศ. 1953-2017 พบว่าระยะเวลาในการประมวลผลต่อรอบอยู่ที่ประมาณ 9-20 วินาที ระยะเวลาการประมวลผลต่อรอบที่น้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 9 วินาทีเมื่อค่ายกกำลังเป็น 2 และสถานีอ้างอิง 2 สถานีที่ความสูญหาย 10%

เมื่อค่ายกกำลัง สถานีฐาน และค่าสูญหายของฝนรายวันมากขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการประมวลผล เมื่อค่ายกกำลังเป็น 6 และสถานีอ้างอิง 5 สถานีที่ความสูญหาย 40% จะใช้ระยะเวลาการประมวลผลต่อรอบอยู่ที่ประมาณ 20 วินาที ทั้งนี้จำนวนสถานีอ้างอิงที่มากขึ้นจะทำให้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยลง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท. (A New Researcher Scholarship of CSTS, MOST) โดยศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Coordinating Center for Thai Government Science and Technology Scholarship Students (CSTS)) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ National Science and Technology Development Agency) – NSTDA

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. P. De Silva, N. D. K. Dayawansa, and M. D. Ratnasiri, "A comparison of methods used in estimating missing rainfall data," *The Journal*

- of Agricultural Sciences*, vol. 3, no. 2, pp. 101-108, May. 2007.
- [2] R. Teegavarapu and V. Chandramouli, "Improved Weighting Methods, Deterministic and Stochastic Data-Driven Models for Estimation of Missing Precipitation Records," *Journal of Hydrology*, vol. 312, pp. 191-206, Oct. 2005.
- [3] J. Kim and J. H. Ryu, "A Heuristic Gap Filling Method for Daily Precipitation Series," *Water Resources Management*, vol. 30, no. 7, pp. 2275-2294, May. 2016.
- [4] C. Simolo, M. Brunetti, M. Maugeri, and T. Nanni, "Improving estimation of missing values in daily precipitation series by a probability density function-preserving approach," *International Journal of Climatology*, vol. 30, no. 10, pp. 1564-1576, July. 2010.
- [5] I. F. Kamaruzaman, W. Z. W. Zin, and N. M. Ariff, "A comparison of method for treating missing daily rainfall data in Peninsular Malaysia," *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 13, pp. 375-380, 2017.
- [6] N. A. Rahman, S. M. Deni, N. M. Ramli, and N. Shaadan, "The Improvement of Missing Rainfall Data Estimation During Rainy Season at Ampang Station," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 4.18, pp. 204-212, 2018.
- [7] R. S. V. Teegavarapu, "Missing precipitation data estimation using optimal proximity metric-based imputation, nearest-neighbour classification and cluster-based interpolation methods," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 59, no. 11, pp. 2009-2026, 2014.
- [8] J. Suhaila, M. D. Sayang and A. A. Jemain, "Revised Spatial Weighting Methods for Estimation of Missing Rainfall Data," *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 44, no. 2, pp. 93-104, 2008.
- [9] F.-W. Chen and C.-W. Liu, "Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan," *Paddy and Water Environment*, vol. 10, pp. 209-222, Feb. 2012.
- [10] Y. Xia, P. Fabian, A. Stohl, and M. Winterhalter, "Forest climatology: estimation of missing values for Bavaria, Germany," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 96, no. 1-3, pp. 131-144, Aug. 1999.
- [11] M.-T. Sattari, A. R.-Joudi, and A. Kusiak, "Assessment of different methods for estimation of missing data in precipitation studies," *Hydrology Research*, vol. 48, no. 4, pp. 1032-1044, 2017.
- [12] S. Wuthiwongyothin, C. Kalkan, and J. Panyavaraporn, "Evaluating Inverse Distance Weighting and Correlation Coefficient Weighting Infilling Methods on Daily Rainfall Time Series," *SNRU Journal of Science and Technology*, vol. 13, no. 2, pp. 71-79, 2021.
- [13] X. Yang, X. Xie, D. L. Liu, F. Ji, and L. Wang, "Spatial Interpolation of Daily Rainfall Data for Local Climate Impact Assessment over Greater Sydney Region," *Advances in Meteorology*, vol. 2015, pp. 1-12, 2015.
- [14] S. Stisen and M. Tumbo, "Interpolation of daily rain gauge data for hydrological modeling in data sparse regions using pattern information from satellite data," *Hydrological Sciences Journal*, vol. 60, no. 11, pp. 1911-1926, 2015.
-

การใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติ Wheat Gluten as a Biomordant in Natural Dyeing of Cotton Fabrics

เพ็ญวิสาข์ พิสิษฐศักดิ์^{1*}, อรวรรณ ไพศาลวรกิจ¹, เด่นนภา แผลงศร¹, สาวิตรี เดชบุญ¹

ธนิกา หุตะกมล¹ และ รับโชค ทองเจริญ²

Penwisa Pisitsak^{1*}, Orawan Pisanworakit¹, Dennapha Plangsorn¹, Sawitri Detbun¹

Thanika Hutakamol¹ and Rabchok Thongcharoen²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ

¹Department of Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

²Thailand Textile Institute, Bangkok

*Email: penwisa@tu.ac.th

Received: August 11, 2021; Revised: March 28, 2022; Accepted: April 22, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพ เพื่อย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติที่อุดมด้วยสารแทนนิน โดยสีผงธรรมชาติที่ใช้ย้อมได้จากการนำสารสกัดจากเปลือกไม้ตะบูนขาวมาผ่านการอบแห้งแบบพ่นละอองฝอย ในการใช้ผงกลูเตนข้าวสาลีทำโดยนำผงกลูเตนข้าวสาลีไปละลายน้ำที่พีเอช 12 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปจุ่มอัดบนผ้าฝ้ายก่อนทำการย้อม พบว่ามีผลเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพที่ช่วยให้ความเข้มสีของผ้าที่ย้อมได้สูงขึ้น โดยความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีค่าพีเอช ระยะเวลาในการย้อม และอุณหภูมิต่อความเข้มสีล้วนมีผลต่อความเข้มสีที่ได้ สำหรับสภาวะการย้อมสีที่เหมาะสมคือการใช้กลูเตนข้าวสาลีความเข้มข้น 0.5% w/v, ความเข้มข้นสีย้อม 30% owf, อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส, ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที, ค่าอัตราส่วน L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอช 5 นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของการใช้กลูเตนข้าวสาลีต่อค่าความคงทนของสีต่อการซัก ความคงทนของสีต่อแสง เหงื่อ การขัดถู และทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความต้านทานการฉีกขาด และความต้านทานแรงดึง

คำสำคัญ : กลูเตนข้าวสาลี, การย้อมสีธรรมชาติ, แทนนิน, ผ้าฝ้าย, มอร์แดนต์

Abstract

This study investigated the use of wheat gluten as a biomordant in natural dyeing of cotton. Tannin-rich natural dye powder was obtained from spray-drying of *Xylocarpus granatum* bark extract. Wheat gluten was dissolved in water at pH 12 and applied to cotton samples by padding. This improved dye uptake, giving the biomordant-pretreated samples a higher color strength. The effect on color strength of the protein concentration, pH, dyeing time, and dyeing temperature were investigated. The optimal dyeing conditions were a wheat gluten concentration 0.5% w/v, a dye concentration 30% owf, a dyeing temperature of 90°C, a dyeing time of 45 min, an L:R ratio of 1:30, and a pH of 5. Effects of wheat gluten on color fastness to washing, light, perspiration, crocking, and mechanical properties, including tear and tensile resistance, were also investigated.

Keywords : Wheat gluten, Natural dyeing, Tannin, Cotton, Mordant

1. บทนำ

กลูเต็นข้าวสาลีเป็นไกลโคโปรตีนที่พบในเอ็นโดสเปิร์มของข้าวสาลี ซึ่งได้มาจากกระบวนการแยกแป้งออกจากข้าวสาลีมีคุณสมบัติเหนียวและยืดหยุ่น [1-3] ในกลูเต็นข้าวสาลีประกอบด้วยโปรตีนประมาณ 80% และอื่นๆ ได้แก่ สารกลุ่ม พอลิแซ็กคาไรด์ ไชมัน และแร่ธาตุ [4] กลูเต็นข้าวสาลีมีสมบัติทางการไหลและสมบัติอื่นๆ ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของอาหาร เช่น ขนมปัง เนื้อเทียม ช่วยให้มีความเหนียวนุ่ม และยังสามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ไม่ใช่อาหาร เช่น เครื่องสำอางและยา เป็นต้น

เส้นใยฝ้ายจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้งานมากที่สุด โมเลกุลของเส้นใยฝ้ายคือเซลลูโลส ซึ่งมีหน่วยซ้ำคือกลูโคส ดังนั้นจึงทำให้เส้นใยฝ้ายอุดมไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) จึงมีแนวโน้มแสดงประจุลบในน้ำและผลกับสีย้อมธรรมชาติซึ่งมักมีประจุลบในน้ำเช่นกัน ดังนั้นฝ้ายจึงมักติดสีย้อมธรรมชาติได้ไม่ดี ได้ฝ้าย้อมที่มีความเข้มสีต่ำ [5, 6] ดังนั้นเพื่อให้การย้อมติดสีดีขึ้น จึงมีการใช้มอร์แดนต์ (สารช่วยย้อม) กลุ่มเกลือโลหะ ซึ่งจะช่วยให้เส้นใยฝ้ายจับกับสีย้อมได้โดยผ่านการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเกลือโลหะกับสีย้อม หรือใช้สารผนึกสีประจุบวก (Cationic fixing agent) เพื่อตัดแปรประจุฝ้ายให้เกิดประจุบวกที่สามารถจับกับโมเลกุลสีย้อมที่เป็นลบได้ดี [7, 8]

อย่างไรก็ตาม มีความพยายามใช้สารมอร์แดนต์ชีวภาพ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ามอร์แดนต์

กลุ่มเกลือโลหะมาใช้ทดแทนกัน ซึ่งมอร์แดนต์ชีวภาพที่มีผู้รายงานในฐานข้อมูลวิชาการ ได้แก่ ไคโตซาน (Chitosan) [5] กรดแทนนิกร่วมกับเอนไซม์ (Tannic acid and enzyme) [9] สารสกัดจากต้นปลายसान (*Eurya acuminata* DC var. *acuminata* Karth) [10] โปรตีนอัลบูมินในซีรัม (Bovine serum albumin) [11] โปรตีนไข่ขาว [11] โปรตีนถั่วเขียว โปรตีนเวย์ [12] และโปรตีนสกัดจากเคยแอนตาร์กติก [13] จากผลการวิจัยในอดีต เป็นที่แน่ชัดว่า โปรตีนสามารถช่วยให้ผ้าฝ้ายติดสีย้อมแทนนินได้ดีขึ้น โดยค่าความเข้มสี (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ใช้โปรตีนเป็นมอร์แดนต์ชีวภาพ มีค่าสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ใช้มอร์แดนต์ชีวภาพอย่างชัดเจน

งานวิจัยนี้ ศึกษาการใช้โปรตีนกลูเต็นจากข้าวสาลีในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมสกัดจากเปลือกตะบูนขาว (Cannonball Mangrove ชื่อวิทยาศาสตร์ *Xylocarpus granatum*) ซึ่งเป็นสีย้อมที่อุดมไปด้วยสารคอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannin) โดยมีสมมติฐานว่า การใช้ผ้าที่มีโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี จะช่วยบดบังประจุลบของเส้นใยฝ้ายและการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโปรตีนกับสีย้อมแทนนินซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ จะทำให้สีย้อมติดอยู่บนผ้าได้ดี ผ้ามีสีเข้มและคงทนต่อการซัก อย่างไรก็ตาม เนื่องจากโปรตีนข้าวสาลีประกอบด้วยไกลอะดีน (Gliadin) และกลูเตนิน (Glutenin) เป็นองค์ประกอบหลัก และโปรตีนทั้งสองชนิดนี้ไม่ละลายน้ำที่พีเอชเป็นกลาง แต่สามารถ

ละลายได้ในน้ำที่มีสภาวะเป็นกรด หรือเป็นด่าง [14-15] งานวิจัยนี้จึงเลือกเตรียมสารละลายโปรตีนที่สภาวะต่าง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายสามารถทนทานต่อสภาวะต่างได้ดีกว่า สภาวะกรด ซึ่งการใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีซึ่งหาได้ง่ายและ ราคาไม่แพงในการช่วยย้อมสีฝ้าย จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบจากธรรมชาติทั้งหมด จึงมีความน่าสนใจในแง่ของความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการย้อมสีฝ้ายโดยใช้สีย้อมธรรมชาติและใช้กลูเตนข้าวสาลีเป็นมอร์แดนท์ชีวภาพ
2. เพื่อศึกษาสภาวะต่างๆ ที่มีผลต่อการย้อม
3. เพื่อศึกษาสมบัติความคงทนของสีและสมบัติเชิงกลของผ้าที่ย้อมได้

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี

กลูเตนข้าวสาลี (75% จากบริษัท Sigma Aldrich) ฝ้ายทอละลายขัด (จำนวนด้ายยืน 28 เส้น/ตร.ซม. จำนวนด้ายพุ่ง 34 เส้น/ตร.ซม.) จากตลาดพาหุรัด กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

สีย้อมธรรมชาติสกัดจากเปลือกตะบูนขาว เตรียมโดยนำเปลือกลำต้นตะบูนขาวมาตากแดดจนแห้งเป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ แช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำน้ำสีที่ได้ไปทำการกรองแล้วเข้ากระบวนการอบแห้งแบบพ่นละอองฝอย (spray-drying) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้ผงสีน้ำตาลแดงที่มีองค์ประกอบของแทนนิน 70.0% [13]

3.2 การเตรียมสารละลายกลูเตนข้าวสาลีและจุ่มอัดบนผ้าฝ้าย

นำกลูเตนข้าวสาลีมาละลายในน้ำปราศจากไอออนที่พีเอชต่างๆ พบว่าสามารถละลายได้ดีที่สุดที่พีเอช 12 (ปรับพีเอชด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์) ขณะที่พีเอชอื่นๆให้สารละลายสีขาวขุ่น ดังนั้นจึงใช้สารละลายกลูเตนข้าวสาลีที่พีเอช 12 ในการจุ่มอัดผ้าฝ้ายเพื่อทำการทดลองต่อไป

การจุ่มอัดผ้าฝ้ายด้วยสารละลายกลูเตนข้าวสาลีทำโดยละลายกลูเตนข้าวสาลีที่ความเข้มข้น 0.25-1.5% w/v ในน้ำที่มีค่าพีเอช 12 จนกระทั่งผ้าเปียกทั่ว จากนั้นจึงนำไปจุ่มอัดด้วยลูกกลิ้งจุ่มอัดด้วยแรงกด 2 kg/cm² จากนั้นแขวนผืนผ้าฝ้ายที่ผ่านการจุ่มอัดให้แห้ง

3.3 การเตรียมสารละลายสีย้อม และขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้าย

นำผงสีย้อมที่ทราบน้ำหนักมาละลายในน้ำปราศจากไอออนที่พีเอชที่ต้องการ (ศึกษาในช่วงพีเอช 3-12) จากนั้นนำผ้าฝ้ายตัวอย่างขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 21 เซนติเมตร จุ่มแช่ในสารละลายด้วยอัตราส่วน L:R 1:30 ทำการย้อมด้วยเครื่องย้อมสีระบบอินฟราเรด (Starlet DL-6000) ตั้งสภาวะการย้อมให้เริ่มจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยอัตราเร็ว 2 องศาเซลเซียสต่อ นาที จนถึงอุณหภูมิการย้อมที่ต้องการ ได้แก่ 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นรักษาระดับอุณหภูมิไว้ตามระยะเวลาที่ต้องการ ได้แก่ 10, 30, 45 และ 60 นาที จากนั้นปรับลดอุณหภูมิลงภายในเวลา 5 นาทีให้เหลือ 60 องศาเซลเซียส จึงนำผ้าออกจากเครื่องย้อม ล้างด้วยน้ำสะอาดและผึ่งให้แห้ง

กระบวนการกำจัดสีย้อมส่วนเกินทำโดยให้ความร้อนผ้าฝ้ายย้อมในสารละลายผงซักฟอกมาตรฐาน (AATCC 1993 standard reference WOB) ความเข้มข้น 2 กรัม/ลิตร ที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที ใช้ค่า L:R ที่ 1:30 จากนั้นนำผ้าไปล้างน้ำและผึ่งให้แห้ง

3.4 การวัดสีด้วยระบบซีไอแอล็บ (CIELab)

นำผ้าฝ้ายย้อมสีไปวัดค่าพารามิเตอร์สี ในระบบซีไอแอล็บ ได้แก่ ด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (GretagMacbeth Color i5) โดยวัดการสะท้อนแสงที่ตำแหน่งต่างๆ ของผ้า 3 ตำแหน่ง โปรแกรมจะทำการประมวลผลและรายงานค่าที่ได้ในรูปค่าเฉลี่ย L^* (ความสว่าง), a^* (แดง-เขียว), b^* (เหลือง-น้ำเงิน), ค่า C^* (ความเข้มตัวของสี), h° (ค่าเฉดสีหรือค่ามุมของฮิว) และความเข้มสี (K/S) มีรายละเอียดดังสมการที่ (1) - (3)

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

$$h^\circ = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$K/S = (1-R)^2/2R \quad (3)$$

เมื่อ R คือค่าการสะท้อนแสง (Reflectance) ของผ้า ตัวอย่าง K คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (Absorption coefficient) และ S คือสัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (Scattering coefficient)

3.5 การทดสอบความคงทนของสี

นำผ้าตัวอย่างซึ่งย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 เปรียบเทียบระหว่างการย้อมโดยใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v (Wheat gluten-treated) เทียบกับกรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน (Untreated) มาทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักด้วยมาตรฐาน ISO105-C06:2010 วิธี A1 ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อตามมาตรฐาน ISO105-E04:2013 ความคงทนของสีต่อแสงตามมาตรฐาน ISO 105-B02:2014 และความคงทนของสีต่อการขัดถูตามมาตรฐาน ISO105-X12:2001

3.6 การทดสอบสมบัติเชิงกลของผ้า

นำผ้าตัวอย่างซึ่งย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 เปรียบเทียบระหว่างการย้อมโดยใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v (Wheat gluten-treated) เทียบกับกรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน (Untreated) และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ (Blank) มาทดสอบความต้านทานการฉีกขาด ตามมาตรฐาน ASTM D1424: 1996 และความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 5035-95: 2003

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1 ผลการวัดค่าสี

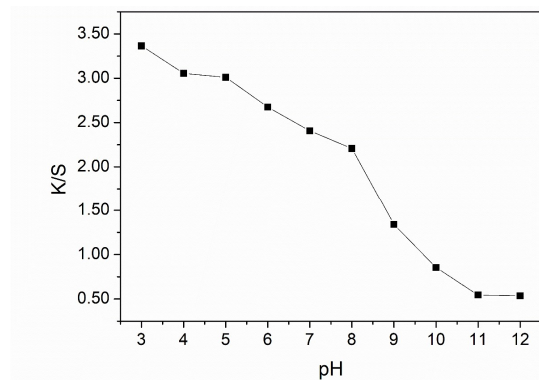
ตารางที่ 1 แสดงภาพถ่ายผ้าตัวอย่าง และค่าสีที่วัดได้ พบว่าผ้าที่ผ่านการย้อมจะมีสีน้ำตาลแดง สอดคล้องกับค่า

เฉดสีหรือค่ามุมของฮิว ($h^\circ = b^*/a^*$) ที่แสดงในตาราง ส่วนความเข้มสีของผ้าซึ่งใช้พารามิเตอร์ K/S ในการวัดพบว่า ผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีช่วยในการย้อมจะมีความเข้มสีสูงกว่ากรณีที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีนอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแทนนินในสีย้อมกับโปรตีน ทำให้ผ้าสามารถดูดซับโมเลกุลสีย้อมเข้าไปได้ดีขึ้น ซึ่งแตกต่างจากกรณีการย้อมสีผ้าฝ้ายกับสีย้อมโดยตรง เนื่องจากปกติแล้วผ้าฝ้ายจะแสดงประจุลบในน้ำย้อม ที่พีเอช 2.9 ขึ้นไป ซึ่งแทนนินเองก็จะแสดงประจุลบเช่นกัน [12] ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างเส้นใยผ้ากับสีย้อม ซึ่งการนำผ้าชุบโปรตีนข้าวสาลีก่อนการย้อม จะช่วยลดประจุลบดังกล่าวบนหน้าผ้า

อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 1 และตารางที่ 2 ในงานวิจัยนี้ เมื่อเพิ่มค่าพีเอชจะมีผลให้การติดสีต่ำลงเรื่อยๆ แสดงให้เห็นว่า ยิ่งสารละลายเป็นด่างมากขึ้น จะยิ่งเพิ่มประจุลบให้กับผ้า (เนื่องจากสารละลายด่างจะมีความเข้มข้นของไอออนไฮดรอกไซด์มาก) และน่าจะทำให้โปรตีนละลายหลุดออกจากผ้าได้ง่ายขึ้น (ผลจากการถูกไอออนด้วยไอออนไฮดรอกไซด์) ในระหว่างการย้อม ซึ่งเป็นผลเสียต่อการย้อม ทำให้โมเลกุลแทนนินซึ่งมีประจุลบแพร่เข้าหาผ้าได้น้อยลง ซึ่งจากที่กล่าวมา การใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี ให้ผลที่แตกต่างจากการใช้โปรตีนเวย์ [12] เนื่องจากโปรตีนเวย์จะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการย้อมที่พีเอช 5 (ศึกษาในช่วงพีเอช 4-11) เนื่องจากโปรตีนเวย์จะแสดงประจุเป็นกลาง (isoelectric point) ที่พีเอช 5.2 [16] และที่ประจุเป็นกลางนี้ มีหลักฐานการวิจัยสนับสนุนว่าโปรตีนมักจะจับกับแทนนินได้ดี เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ [12, 17-18] Chemistry of Tannin-Protein Complexation อย่างไรก็ตาม ในกรณีกลูเต็นข้าวสาลินั้น ที่พีเอชที่ทำให้ประจุเป็นกลาง (พีเอชประมาณ 6 [19] และ 6.2 [20]) ไม่ใช่พีเอชที่ทำให้การจับกันระหว่างกลูเต็นและแทนนินเกิดขึ้นดีที่สุด แต่พีเอชที่ต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งหมายถึงความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น กลับมีอิทธิพลในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อมแทนนิน มากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่โปรตีนกลูเต็นและผ้าฝ้ายแสดงประจุบวกที่เอื้อต่อการดูดซับสีแทนนินซึ่งมีประจุลบ อย่างไรก็ตาม เส้นใยผ้าสามารถถูกทำลายได้ในสารละลายที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 4 ได้ ดังนั้นจึงเลือกทำการ

ย้อมที่พีเอช 5 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่ให้ความเข้มสีสูง แม้ว่าจะไม่ใช่ค่าพีเอชที่ให้ความเข้มสีสูงสุด

โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีมีอันตรกิริยากับแทนนินผ่านแรงระหว่างโมเลกุลหลายประเภทด้วยกัน ทั้งจากส่วนที่มีขั้ว คือ พันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟีนอลิกไฮดรอกซิล (Phenolic hydroxyl) ในโครงสร้างแทนนิน กับหมู่อะมิโน คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิลของโปรตีน และมีอันตรกิริยาแบบไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic interaction) ระหว่างส่วนที่ไม่มีขั้วของทั้งสองด้วย [21-23]

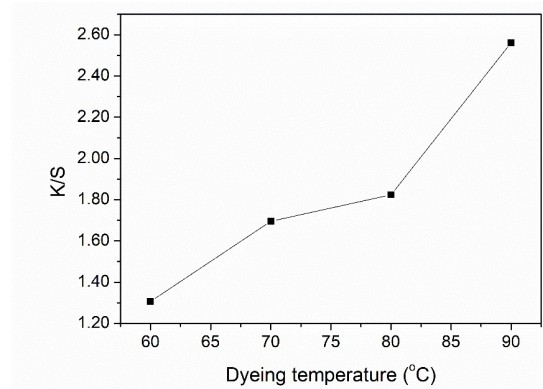


รูปที่ 1 ผลของพีเอชของน้ำย้อมต่อค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 1.0% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการย้อม 45 นาที

4.2 ผลของสภาวะในการย้อมสีต่อค่าความเข้มสี

4.2.1 ผลของอุณหภูมิ

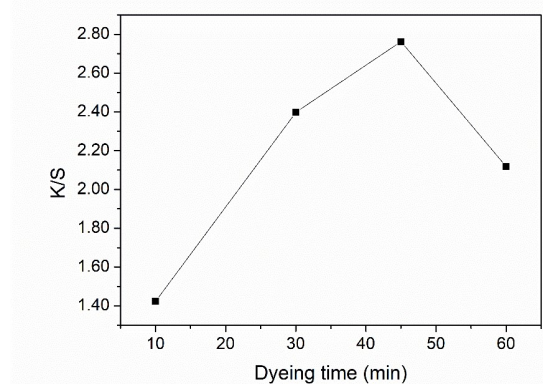
เนื่องจากพลังงานความร้อนมีผลต่อการแพร่ของโมเลกุลสีเข้าสู่เส้นใย ดังนั้นการย้อมที่อุณหภูมิสูง 90 องศาเซลเซียส จึงมีผลให้ความเข้มสีของผ้าสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2 และในการทดลองต่อไปจะใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิในการย้อมต่อค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้เวลาในการย้อม 45 นาที

4.2.2 ผลของระยะเวลาในการย้อม

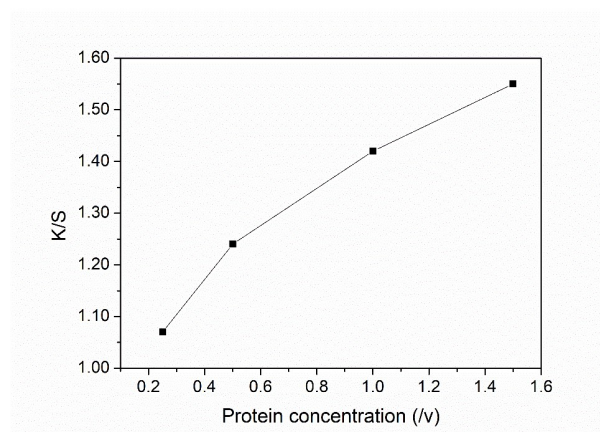
ผลการวิเคราะห์ความเข้มสี เมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิต่างๆ ในระยะเวลา 10 ถึง 60 นาที แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าเวลาที่เหมาะสมในการย้อมคือ 45 นาที โดยในช่วงเวลาไม่เกิน 45 นาที ความเข้มสีของผ้าจะสูงขึ้นเมื่อเวลาในการย้อมเพิ่มขึ้น อธิบายได้ว่าเมื่อให้เวลานานขึ้น ผ้าจะมีเวลาในการดูดซับ (Adsorption) โมเลกุลสีย้อมจึงเข้าไปภายในมากขึ้น ทำให้การติดสีเพิ่มขึ้นตามเวลาในการย้อม อย่างไรก็ตาม ที่เวลายาวนานขึ้นถึง 60 นาที ค่าความเข้มสีของผ้ากลับลดลง ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นอาจทำให้โปรตีนหลุดจากผ้า และมีข้อสังเกตว่าไม่เห็นช่วงที่ความเข้มสีคงที่เมื่อเทียบกับเวลา ดังนั้นการติดสีของผ้าเมื่อย้อมนาน 60 นาที จึงต่ำกว่าเมื่อเทียบกับผ้าที่ย้อม 45 นาทีได้



รูปที่ 3 ระยะเวลาในการย้อมค่าความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลี 0.5% w/v สีย้อมเข้มชั้น 30% owf ใช้อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส

4.2.3 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนข้าวสาลี

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับค่าความเข้มสีที่ได้ แสดงในรูปที่ 4 ซึ่งพบว่า เมื่อใช้โปรตีนเข้มข้นมากขึ้นย่อมมีผลให้ความเข้มสีของผ้าสูงขึ้น เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนบนผ้าที่ดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น และโปรตีนจะช่วยลดการผลัดกันระหว่างประจุของผ้าฝ้ายกับสีย้อม ในงานวิจัยนี้เลือกใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีเข้มข้น 0.5% w/v ในการชุบผ้าฝ้ายก่อนทำการย้อม ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าการใช้โปรตีนเข้มข้นมากขึ้นจะมีผลให้ผ้ากระด้างขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 4 ผลของความเข้มข้นของโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีต่อความเข้มสีของผ้าฝ้าย สีย้อมเข้มข้น 15% owf อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส เวลาในการย้อม 45 นาที

4.3 ผลการทดสอบความคงทนของสี

การทดสอบความคงทนของสี เป็นการทดสอบการต้านทานของผ้าย้อมต่อการเปลี่ยนแปลงสี หรือการติดเปื้อนสีไปยังวัสดุข้างเคียง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อ แสง และการขัดถู

4.3.1 ความคงทนของสีต่อการซัก

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก โดยใช้เกรย์สเกล ซึ่งประเมินการเปลี่ยนแปลงของสี (Gray Scale for color change) และการติดเปื้อนสี (Gray scale for staining) ไปยังผ้าที่ประกบ (Adjacent fabric) ได้เปรียบเทียบกับระหว่างผ้าที่ผ่านการชุบโปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับตัวอย่างควบคุม (ผ้าที่ย้อมโดยไม่ใช้โปรตีน) พบว่าผ้าที่ใช้

โปรตีนจะมีค่าความคงทนของสีในระดับดี (เกรด 4) สูงกว่าระดับปานกลาง (เกรด 3) ในตัวอย่างควบคุม

สำหรับการติดเปื้อนสีพบว่า ผ้าทั้งสองตัวอย่างได้ระดับดี (เกรด 4) ในกรณีที่ผ้าประกบเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ฝ้าย และอะซิเตท แต่ในกรณีที่ผ้าประกบเป็นเส้นใยขนสัตว์ และไนลอน 6,6 พบว่า ผ้าควบคุมจะได้เกรด 3 และ 3-4 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีซึ่งได้ระดับ 4 ทั้งคู่ และเมื่อพิจารณากรณีที่ผ้าประกบเป็นอะคริลิก พบว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีได้เกรดปานกลาง-ดี (3-4) ต่ำกว่าผ้าควบคุมซึ่งได้เกรดดี (4) เพียงเล็กน้อย กล่าวโดยรวมว่าผลการติดเปื้อนสีของตัวอย่างผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีกับผ้าตัวอย่างควบคุมใกล้เคียงกัน

4.3.2 ความคงทนของสีต่อเหงื่อ

ตารางที่ 4 แสดงผลความคงทนของสีต่อเหงื่อกรดและเหงื่อต่าง โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยเกรย์สเกลพบว่าผ้าที่ใช้โปรตีนกลูเตนข้าวสาลีและผ้าตัวอย่างควบคุมได้ความคงทนระดับดี (เกรด 4) เมื่อทดสอบกับเหงื่อต่าง แต่ผ้าควบคุมจะมีความคงทนต่อเหงื่อกรดระดับปานกลาง-ดี (เกรด 3-4) ซึ่งสูงกว่าผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีซึ่งได้ระดับปานกลาง (เกรด 3) เล็กน้อย ส่วนการวิเคราะห์การติดเปื้อนสีพบว่าผลการประเมินโดยส่วนใหญ่ของผ้าตัวอย่างทั้งสองอยู่ในระดับเดียวกัน ยกเว้นกรณีผ้าข้างประกบเป็นเส้นใยขนสัตว์และพอลิเอสเตอร์ ซึ่งผ้าตัวอย่างที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีจะได้ผลประเมินสูงกว่าเล็กน้อย

4.3.3 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

ผลการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู ในตารางที่ 5 พบว่า ผ้าตัวอย่างทั้งสองได้ผลประเมินระดับดี-ดีมาก (4-5) ทั้งหมด ยกเว้นการขัดถูขณะเปียก ซึ่งผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลีให้ผลการประเมินต่ำลงเล็กน้อยที่ระดับดี (เกรด 4) จากผลการประเมินที่ได้ จัดได้ว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับผ้าทอที่ใช้ผลิตเสื้อผ้าและเคหะสิ่งทอ [24]

4.3.4 ความคงทนของสีต่อแสง

ผลการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงในตารางที่ 5 พบว่า ผ้าที่ไม่ใช้กลูเตนข้าวสาลีจะมีความคงทนของสีต่อแสงต่ำมาก (เกรด 1) ขณะที่ผ้าที่ใช้กลูเตนข้าวสาลี

เป็นมอร์แดนที่ชีวภาพ มีความคงทนของสีต่อแสงระดับปานกลาง (เกรด 3) แสดงว่ากลูเต็นข้าวสาลีช่วยให้ความคงทนของสีต่อแสงสูงขึ้นซึ่งอาจเกิดจากการที่โมเลกุลของสีได้รับการปกป้องจากโปรตีน และค่าความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับผ้าที่ย้อมสีธรรมชาติ

4.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบสมบัติเชิงกล ระหว่างผ้าฝ้ายขาว (Blank) ผ้าฝ้ายควบคุม (ผ้าที่ผ่านการย้อมสีแต่ไม่ผ่านการจุ่มอัดด้วยโปรตีน) และผ้าฝ้ายย้อมที่ใช้กลูเต็นข้าวสาลี พบว่า การจุ่มอัดด้วยโปรตีนเพียงอย่างเดียว มีผลทำให้ความต้านทานการฉีกขาด (Tear resistance) ลดลง 11.2% ตามแนวด้ายยืน และลดลง 15.6% ตามแนวด้ายพุ่ง เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายขาวที่ไม่ผ่านกระบวนการใดๆ ส่วนตัวอย่างผ้าที่ผ่านการจุ่มอัดด้วยโปรตีนและย้อมสีจะมีความต้านทานการฉีกขาดที่ยิ่งต่ำกว่าผ้าขาวลงไปอีก โดยลดลง 21.7% ตามแนวด้ายยืน และ 22.4% ตามแนวด้ายพุ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเคลือบผิวผ้าด้วยโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีรวมทั้งการย้อมสี จะทำให้เส้นด้ายเคลื่อนที่ได้ไม่ดี ทำให้ผ้าเสียความยืดหยุ่นและฉีกขาดได้ง่ายขึ้น

สำหรับผลการทดสอบความต้านทานแรงดึง (Tensile resistance) พบว่า โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีไม่มีผลต่อสมบัติความต้านทานแรงดึงและความสามารถในการยืดตัวของผ้าทั้งแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง

5. สรุปผลการทดลอง

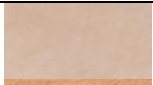

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติซึ่งอุดมด้วย

สารแทนนิน โดยสีย้อมธรรมชาตินี้ได้จากเปลือกไม้ตะบูนขาว ผลการวิจัยพบว่า การจุ่มอัดผ้าฝ้ายด้วยกลูเต็นข้าวสาลีความเข้มข้น 0.5% w/v ช่วยให้ผ้าติดสีได้ดีขึ้น จึงทำให้ได้ผ้าย้อมที่มีความเข้มสีสูงขึ้น สีที่ปรากฏเป็นสีน้ำตาลแดงซึ่งเป็นเฉดสีเดิมของผงสีสกัดจากเปลือกไม้ตะบูนขาว ผลการศึกษาสถานะในการย้อมสีพบว่าได้ความเข้มสีที่ดี เมื่อใช้โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีที่ 0.5% w/v ใช้สีย้อมธรรมชาติความเข้มข้น 30% owf อุณหภูมิในการย้อม 90 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการย้อม 45 นาที ค่า L:R เท่ากับ 1:30 และพีเอชเท่ากับ 5 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักแห้ง การขัดถู และแสง พบว่าโดยส่วนใหญ่การใช้กลูเต็นข้าวสาลีเป็นสารช่วยย้อมนั้นจะไม่ทำให้ค่าความคงทนของสีที่ได้แตกต่างกันมากนัก ยกเว้นการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงที่ให้ผลความคงทนที่ขึ้นอย่างชัดเจน จากการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่าทั้งการย้อมสีและการจุ่มอัดโปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีจะมีผลให้ผ้ามีความคงทนต่อการฉีกขาดต่ำลง แต่สมบัติความต้านทานแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง อาจกล่าวได้ว่า โปรตีนกลูเต็นข้าวสาลีสามารถนำมาใช้เป็นสารมอร์แดนที่ชีวภาพ แทนการใช้มอร์แดนที่เกลือโลหะในการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยสีธรรมชาติที่อุดมด้วยสารแทนนินได้


6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากหน่วยวิจัยหน่วยวิจัยด้านเคมีสิ่งทอและพอลิเมอร์แห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตารางที่ 1 ค่าสีของผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีย้อมเข้มข้น 30% owf เวลาในการย้อม 45 นาที อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส พีเอช 5 เปรียบเทียบระหว่างการใช้และไม่ใช้กลูเต็นข้าวสาลีที่ความเข้มข้น 0.5% w/v

Sample	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	K/S	Fabric image
Untreated	69.68	12.28	14.09	18.69	48.92	0.99	
Wheat—gluten treated	54.60	16.84	20.14	26.25	50.10	3.01	

ตารางที่ 2 ผลของพีเอชของน้ำย้อมต่อค่าสีของผ้าฝ้ายที่จุ่มอัดด้วยโปรตีนกลูเตนข้าวสาลี 1.0% w/v สีย้อมเข้มข้น 30% owf เวลาในการย้อม 45 นาที อุณหภูมิการย้อม 90 องศาเซลเซียส

pH	Color value					Fabric image
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	
3	53.22	16.99	20.50	26.63	50.35	
4	54.16	16.32	19.25	25.24	49.71	
5	54.60	16.84	20.14	26.25	50.10	
6	56.01	15.66	20.14	25.51	52.13	
7	57.40	15.91	18.19	24.17	48.83	
8	58.28	15.34	17.10	22.97	48.11	
9	64.69	12.54	14.09	18.86	48.33	
10	69.92	10.22	10.88	14.93	46.79	
11	74.49	8.30	7.25	11.02	41.14	
12	74.01	7.12	6.25	9.47	41.28	

ตารางที่ 3 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ตามมาตรฐาน ISO105-C06:2010 วิธี A1

Fastness properties	Sample	
	Untreated	Wheat gluten-treated
Color change	3	4
Color staining		
– wool	3	4
– acrylic	4	3–4
– polyester	4	4
– nylon	3–4	4
– cotton	4	4
– acetate	4	4

ตารางที่ 4 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ ตามมาตรฐาน ISO105–E04:2013

Fastness properties	Sample			
	Untreated		Wheat gluten-treated	
	Acid	Alkali	Acid	Alkali
Color change	3–4	4	3	4
Color staining				
– wool	3	3	4	4
– acrylic	4	4	4	4
– polyester	4	4	4–5	4–5
– nylon	4	4–5	4	4–5
– cotton	4–5	4	4–5	4
– acetate	4	4	4	4

ตารางที่ 5 ผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก (ISO 105–X12: 2001) และต่อแสง (ISO 105–B02: 2014)

Fastness properties	Sample	
	Untreated	Wheat–gluten treated
Crocking		
– dry	4–5	4–5
– wet	4–5	4
Light	1	3

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบความต้านทานการฉีกขาด และการต้านทานแรงดึงของผ้า (ตัวเลขในวงเล็บคือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

Mechanical properties	Sample		
	Blank	Untreated	Wheat–gluten treated
Tearing strength (N)			
– warp	7.57 (0.40)	6.72 (0.21)	5.93 (0.34)
– weft	8.50 (0.33)	7.18 (0.13)	6.60 (0.25)
Tensile strength (N)			
– warp	223.43 (24.48)	224.61 (12.07)	206.85 (20.50)
– weft	177.92 (17.76)	172.62 (22.55)	199.77 (25.88)
Tensile strain at break (%)			
– warp	21.0 (7.5)	17.2 (7.9)	20.61 (5.7)
– weft	33.0 (5.0)	31.6 (10.3)	33.6 (2.2)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Day, M. Augustin, I. Batey, and C. Wrigley, "Wheat- gluten uses and industry needs," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 17, no. 2, pp. 82-90, Feb. 2006.
- [2] P. Wang, Z. Jin, and X. Xu, "Physicochemical alterations of wheat gluten proteins upon dough formation and frozen storage –A review from gluten, glutenin and gliadin perspectives," *Trends in Food Science and Technology*, vol. 46, no. 2, pp. 189-198, Dec. 2015.
- [3] E. Abedi, and K. Pourmohammadi, "Physical modifications of wheat gluten protein: An extensive review" *Journal of Food Process Engineering*, vol. 44, no. 3, e13619, Mar. 2021.
- [4] M. Majzoobi, E. Abedi, "Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten," *International Food Research Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 1219-1224, Dec. 2014.
- [5] A. Haji, "Improved natural dyeing of cotton by plasma treatment and chitosan coating; optimization by response surface methodology," *Cellulose Chemistry and Technology*, vol. 51, no. 9-10, pp. 975-982, Sep.-Dec. 2017.
- [6] S. Janhom, R. Watanesk, S. Watanesk, P. Griffiths, O. A. Arquero, and W. Naksata, "Comparative study of lac dye adsorption on cotton fibre surface modified by synthetic and natural polymers," *Dyes and Pigments*, vol. 71, no. 3, pp. 188-193, Sep. 2006.
- [7] P. Pisitsak, J. Hutakamol, S. Jeenapak, P. Wanmanee, J. Nuammaiphum, and R. Thongcharoen, "Natural dyeing of cotton with *Xylocarpus granatum* bark extract: Dyeing, fastness, and ultraviolet protection properties," *Fibers and Polymers*, vol. 17, pp. 560-558, Apr. 2016.
- [8] M. B.Ticha, W. Haddar, M. Meksi, A. Guesmi, and M. F. Mhenni, "Improving dyeability of modified cotton fabrics by the natural aqueous extract from red cabbage using ultrasonic energy," *Carbohydrate Polymers*, vol. 154, pp. 287-295, Dec. 2016.
- [9] P. S. Vankar, R. Shanker, and A. Verma, "Enzymatic natural dyeing of cotton and silk fabrics without metal mordants," *Journal of Cleaner Production*, vol. 15, no. 15, pp. 1441-1450, Oct. 2007.
- [10] P. S. Vankar, R. Shanker, D. Mahanta, D. And S. Tiwari, "Ecofriendly sonicator dyeing of cotton with *Rubia cordifolia* Linn. using biomordant," *Dyes and Pigments*, vol. 76, no. 1, pp. 207-212, Jan. 2008.
- [11] F. Giacomini, A. A. U. de Souza, and M .A. S. D. de Barros, "Cationization of cotton with ovalbumin to improve dyeing of modified cotton with cochineal natural dye," *Textile Research Journal*, vol. 90, no. 15-16, pp. 1805-1822, Jan. 2020.
- [12] P. Pisitsak, J. Hutakamol, R. Thongcharoen, P. Phokaew, K. Kanjanawan, and N. Saksang, "Improving the dyeability of cotton with tannin-rich natural dye through pretreatment with whey protein isolate," *Industrial Crops and Products*, vol. 79, pp. 47-56, Jan. 2016.
- [13] P. Pisitsak, N. Tungsovatvisit, and K. Singhanu, "Utilization of waste protein from Antarctic krill oil production and natural dye to impart durable UV- properties to cotton textiles," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1215-1223, Feb. 2018.

- [14] S. Uthayakumaran, and C. W. Wrigley, "Wheat: characteristics and quality requirements," In *Cereal Grains*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2010, pp. 59-111.
- [15] B. G. Thewissen, I., Celus, K. Brijs, and J. A. Delcour, "Foaming properties of wheat gliadin," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 59, no. 4, pp. 1370-1375, Jan. 2011.
- [16] L. Donato, E. Kolodziejczyk, and M. Rouvet, "Mixtures of whey protein microgels and soluble aggregates as building blocks to control rheology and structure of acid induced cold-set gels," *Food Hydrocolloids*, vol. 25, no. 4, pp. 734-742, Jun. 2011.
- [17] T. N. Asquith, and L. G. Butler, "Interactions of condensed tannins with selected proteins," *Phytochemistry*, vol. 25, no. 7, pp. 1591-1593, Nov. 1985.
- [18] D. K. Salunkhe, J. K. Chavan, and S. S. Kadam, in *Dietary Tannins: Consequences and Remedies*, 1st ed. CRC Press, Florida, 1989, ch. 1, pp. 1-3.
- [19] M. Mejri, B. Rogé, A. BenSouissi, F. Michels, and M. Mathlouthi, "Effects of some additives on wheat gluten solubility: A structural approach," *Food Chemistry*, vol. 92, no. 1, pp. 7-15, Jan. 2005.
- [20] M. Majzoobi, and E. Abedi, "Effects of pH changes on functional properties of native and acetylated wheat gluten," *International Food Research Journal*, vol 21, no. 3, pp. 1219-1224, May 2014.
- [21] A. E. Hagerman, "Chemistry of tannin-protein complexation," In *Chemistry and Significance of Condensed Tannins*, Springer, Germany, 1989, pp 323-333.
- [22] E. R. Deaville, R. J. Green, I. Mueller-Harvey, I. Willoughby, and R. A. Frazier, "Hydrolyzable tannin structures influence relative globular and random coil protein binding strengths," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 55, no. 11, pp. 4454-4561, May 2007.
- [23] S. Rattanaphani, M. Chairat, J. B. Bremner, and V. Rattanaphani, "An adsorption and thermodynamic study of lac dyeing on cotton pretreated with chitosan," *Dyes and Pigments*, vol. 72, pp. 88-96, Oct. 2005.
- [24] G. N. Ramaswamy, J. Wang, and B. Soeharto, "Mercerization and dyeing of kenaf/ cotton blend fabrics," *Textile Chemists and Colorists*, vol. 31, no. 3, pp. 27-31, Mar. 1999.

การสำรวจการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดิน ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร
(วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์)

A Survey of Underground Power System at Silpakorn University
(Sanam Chandra Palace Campus)

ภรณ์ฤมล ทังหะกุลธร¹, สาโรช พูลเทพ^{1*}, และ คณิต เขียววิชัย²

Pronnaruimon Talhakultorn¹, Saroj Pullteap^{1*}, and Kanit Kheovichai²

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

²ภาควิชาพื้นฐานทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

²Department of Foundation Education, Faculty of Education, Silpakorn University

*Email: saroj@su.ac.th

Received: January 31, 2022; Revised: May 09, 2022; Accepted: May 12, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการสำรวจความพึงพอใจต่อโครงการการนำสายไฟฟ้าและสายสื่อสารลงใต้ดิน (Underground power system) ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาเรื่องความปลอดภัยและประสิทธิภาพด้านระบบไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย แบบสอบถามถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการสำรวจ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการสำรวจความพึงพอใจ และส่วนความคิดเห็น ตามลำดับ นอกจากนี้ข้อคำถามยังแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านภูมิทัศน์ ด้านความปลอดภัย และด้านความเสถียรของระบบส่ง - จ่ายกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย นักเรียน นักศึกษา และบุคลากร รวมทั้งสิ้น 400 ตัวอย่าง โดยเครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และร้อยละ ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจพบว่า ประชากรมีความพึงพอใจเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 ซึ่งส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 โดยมีความพึงพอใจอยู่ใน “ระดับมากที่สุด” อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นการกระจายตัวที่ค่อนข้างน้อยแสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นผลลัพธ์ข้างต้นสามารถอนุมานได้ว่า หากมีการนำสายไฟฟ้าและสายสื่อสารลงใต้ดินจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ รวมถึงประชากรจะรู้สึกปลอดภัยมากขึ้นในการสัญจรและระบบไฟฟ้าจะมีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตได้

คำสำคัญ : ความพึงพอใจ, ระบบสายไฟฟ้าลงใต้ดิน, ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง, แบบสอบถาม

Abstract

In this work, a satisfaction survey of an underground power system project at Silpakorn University (Sanam Chandra Palace) has been investigated. The research purpose is to guide the problems of power distribution, safety, and efficiency. A questionnaire has been used as a tool for the survey, which divided

into two parts: satisfaction part and opinion part, respectively. Moreover, there are 3 main points that have been assigned into questionnaire as followed by: landscape, safety, and stability of the power distribution system. The sampling size is 400 samples including the academie staffs, high school, and university students, respectively. The arithmetic mean standard deviations and percentage parameters are applied as the statistical variables for data analysis. Consequently, the analytical resulted indicated that an average satisfaction score is exploited of 4.62 with a standard deviation of 0.39, which indicate the highest level of satisfaction. Moreover, the analysis data reported a relatively small distribution thus, imply that the respondents have tended to follow. This summarizes that the underground power system project would, thus, be able to solve the safety and efficiency problems. In addition, the population would feel safer to transport, while the electrical system would be more stable, and also could support the future technological developments.

Keywords : Satisfaction, Underground power system, Sampling data, Questionnaire

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้ถูกพัฒนาให้มีความทันสมัยมากขึ้น ทั้งด้านคมนาคม ด้านการสื่อสาร ด้านการแพทย์ และด้านอุตสาหกรรม ซึ่งระบบไฟฟ้าถือเป็นระบบพื้นฐานที่สำคัญของเทคโนโลยีต่าง ๆ [1] แต่ยังคงพบปัญหาได้กับระบบสายไฟฟ้าเหนือหัว (Overhead system) ที่สามารถพบเจอได้ทั่วไป อาทิ สายไฟฟ้าและสายสื่อสารพาดราวสะพานลอย สายสื่อสารที่ชำรุดพันระโยงระยาง รวมถึงกระแสไฟฟ้าตกหรือดับจากปัจจัยภายนอก เป็นต้น ซึ่งในบางสถานการณ์หากเกิดการขัดข้องกับระบบไฟฟ้าอาจจะส่งผลให้เกิดอันตรายต่อชีวิตหรือต่อทรัพย์สินได้ ดังนั้นการดูแลและแก้ไขปัญหากับระบบไฟฟ้าจึงถือเป็นเรื่องพื้นฐานที่สำคัญ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ก็ประสบปัญหาเกี่ยวกับสายไฟฟ้าและสายสื่อสารหลายประการเช่นเดียวกัน อาทิเช่น ปัญหาสายไฟฟ้าที่ไปพาดกับกิ่งไม้ สายไฟฟ้าและสายสื่อสารที่ไม่มีความเป็นระเบียบ ไม่มีความปลอดภัยต่อผู้เดินทางบนท้องถนนและทางเดินเท้า เมื่อเกิดฝนตกหนักอาจทำให้ต้นไม้มีโอกาสล้มและเหนี่ยวรั้งสายไฟฟ้าจนทำให้เสาไฟฟ้าล้ม ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับตัวบุคคล ซึ่งสามารถแสดงตัวอย่างปัญหาข้างต้นได้ดังรูปที่ 1 อย่างไรก็ตาม การแก้ไขปัญหาดังกล่าวอาจทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการจัดระเบียบสายสื่อสาร หรือรื้อถอนสายสื่อสารและสายไฟฟ้าที่ชำรุด แต่การแก้ไขเหล่านี้เป็นการ

แก้ไขได้เพียงชั่วคราวเท่านั้น การแก้ไขปัญหาระยะยาวอาจทำได้โดยการปรับเปลี่ยนจากระบบสายไฟฟ้าเหนือหัวเป็นระบบไฟฟ้าใต้ดินนั่นเอง



รูปที่ 1 ปัญหาสายไฟฟ้า และสายสื่อสารภายใน มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์

จากปัญหาข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นภายในมหาวิทยาลัยศิลปากรจึงได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจเกี่ยวกับสายไฟฟ้า และสายสื่อสารลงใต้ดินเพื่อนำไปเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาและพัฒนา ระบบไฟฟ้าให้ดีขึ้น ซึ่งการสำรวจในครั้งนี้ได้ทำการสำรวจกับกลุ่มตัวอย่างภายในมหาวิทยาลัยมีประชากรที่ประกอบไปด้วย นักศึกษา นักเรียน และบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยฯ โดย

จากสมการของ Taro Yamane ทำให้ทราบถึงจำนวนของกลุ่มตัวอย่างในการสำรวจครั้งนี้มีจำนวนทั้งสิ้น 400 ตัวอย่าง แบ่งตามสัดส่วนประชากร อีกทั้งการสำรวจครั้งนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการสำรวจ และใช้โปรแกรม Statistical Package for the Social Sciences: SPSS ในการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้การสำรวจ นอกจากนี้ การสำรวจความพึงพอใจครั้งนี้ไม่เพียงช่วยแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเท่านั้นแต่ยังช่วยทำให้ประชากรมีความปลอดภัยมากขึ้น รวมถึงการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดินสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่ง – จ่ายกระแสไฟฟ้าให้ดีขึ้น และยังสามารถรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีที่จะขยายตัวในอนาคตได้ อีกประการหนึ่งด้วย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจความพึงพอใจ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey research) โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือช่วยในการสำรวจข้อมูล โดยพิจารณาจากความคิดเห็นของนักเรียน นักศึกษา และบุคลากรภายในวิทยาเขต พระราชวังสนามจันทร์

2.1 วิธีการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่าง

วิธีการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างมีด้วยกันหลากหลายวิธี ซึ่งการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากการกำหนดเกณฑ์การใช้สมการคำนวณ หรือการใช้ตารางสำเร็จรูป ซึ่งแต่ละวิธีสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- การกำหนดเกณฑ์ในกรณีที่มีผู้สำรวจต้องทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน

- การใช้ตารางสำเร็จรูป การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยตารางสำเร็จรูปมีอยู่หลายประเภทขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้สำรวจ ซึ่งจะนิยมใช้กันในงานวิจัยเชิงสำรวจ ได้แก่ ตารางของ Taro Yamane [2] และตารางของ Krejcie and Morgan [3] เป็นต้น

- การใช้สมการในการคำนวณ แม้การใช้ตารางกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างจะง่ายและสะดวกกับผู้วิจัย แต่บางครั้งผู้วิจัยอาจจำเป็นต้องคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ขนาดประชากรหรือระดับความเชื่อมั่นอื่น ๆ ที่

แตกต่างกันออกไป กรณีกลุ่มตัวอย่างได้จากสมการคำนวณสามารถคำนวณสมการขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้หลากหลายวิธีไม่ว่าจะเป็นสมการของ Taro Yamane และสมการของ Krejcie and Morgan ทั้งสองสมการนี้จำเป็นต้องทราบขนาดของประชากร แต่ถ้าไม่ทราบขนาดของประชากรก็อาจใช้สมการของ Cochran [4] รายละเอียดมีดังนี้

- กรณีทราบขนาดของประชากร

- สมการของ Taro Yamane

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (1)$$

เมื่อ N = ขนาดของประชากร

n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

e = ระดับความคลาดเคลื่อนที่มี

นัยสำคัญจากการสุ่มตัวอย่างที่ค่าความเชื่อมั่น 95%

- สมการของ Krejcie and Morgan

$$n = \frac{(x^2 N p (1-p))}{(e^2 (n-1) + x^2 p (1-p))} \quad (2)$$

เมื่อ x^2 = ค่า Chi-square Test ที่ Degree of freedom มีค่าเท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95% ($x^2 = 3.841$)

p = สัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร(ถ้าไม่ทราบให้กำหนด $p = 0.5$)

- กรณีไม่ทราบขนาดของประชากร

• สมการของ Cochran ใช้ในกรณีที่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน แต่ทราบว่าไม่ทราบความต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากร มี 2 กรณี คือ

- กรณีทราบค่าสัดส่วนของประชากร

$$n = \frac{p(1-p)Z^2}{e^2} \quad (3)$$

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่ม
ตัวอย่างที่ยอมรับได้

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่นหรือระดับ
นัยสำคัญ

ถ้าระดับความเชื่อมั่น 95% หรือระดับ
นัยสำคัญ 0.05 มีค่า $Z = 1.96$

ถ้าระดับความเชื่อมั่น 99% หรือระดับ
นัยสำคัญ 0.01 มีค่า $Z = 2.58$

- กรณีไม่ทราบสัดส่วนของประชากร หรือ $p =$
0.5

$$n = \frac{Z^2}{4e^2} \quad (4)$$

หรือ

$$n = \frac{\sigma Z^2}{e^2} \quad (5)$$

เมื่อ σ = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง

2.2 การใช้แบบสอบถาม

แบบสอบถาม (Questionnaire) หมายถึง เครื่องมือในการสำรวจที่ คิด ขึ้น เพื่อเตรียมไว้สอบถามผู้ตอบแบบสอบถามเพื่อให้ได้ซึ่งข้อมูลที่ต้องการจะศึกษา โดยแบบสอบถามสามารถแบ่งได้ดังนี้ แบบตัวต่อตัว (Face to Face), แบบสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์ (Telephone survey) และทางอินเทอร์เน็ต (Online Survey) เป็นต้นแบบสอบถามจะมีการตั้งข้อความไปให้กรอกตามแบบฟอร์มหรือคำถามที่กำหนดให้ โดยจะมีทั้งคำถามปลายเปิด (Open-ended form) และคำถามปลายปิด (Closed-ended form) แล้วจึงนำคำตอบที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป [5]

แบบสอบถาม เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ใช้รวบรวมข้อมูลซึ่งตามปกติใช้กันมากในการวิจัยเชิงสำรวจ ซึ่งเป็นการสำรวจภาคสนาม เช่น การสำรวจหรือสำมะโน และการวิจัยอย่างอื่น ๆ ที่ผู้สำรวจจะต้องเข้าไปเกี่ยวข้องกับบุคคลหรือสิ่งแวดล้อมที่จะทำการวิจัย เป็นต้น แบบสอบถามนับว่าเป็น

เครื่องมือที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิจัยทางสังคมศาสตร์ เพราะใช้บันทึกข่าวสาร ความรู้สึกนึกคิดและทัศนคติ (Attitude) ของประชากรโดยตรง แบบสอบถามเป็นเครื่องมือวิจัยชนิดหนึ่งที่นิยมกันมาก เพราะการเก็บรวบรวมข้อมูลสะดวก และสามารถใช้วัดได้อย่างกว้างขวาง การเก็บข้อมูลด้วยแบบสอบถามสามารถทำได้ด้วยการสัมภาษณ์ด้วยตัวเองหรือให้ผู้ตอบด้วยตนเอง [6]

แบบสอบถามที่ได้ร่างไว้จำเป็นต้องมีการนำมาตรวจสอบเพื่อหาข้อบกพร่องที่ควรปรับปรุงแก้ไขโดยให้ผู้เชี่ยวชาญได้ตรวจสอบแบบสอบถามด้วยการประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม (Index of Item-Objective Congruence: IOC) เพื่อที่จะได้นำข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญมาปรับปรุงและแก้ไขแบบสอบถามให้ดียิ่งขึ้น [7] แบบสอบถามที่สามารถนำไปใช้ได้ต้องผ่านเกณฑ์ผู้เชี่ยวชาญไม่น้อยกว่า 3 ท่าน และมีค่า IOC ไม่ต่ำกว่า 0.5 สามารถคำนวณได้จาก (6)

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (6)$$

เมื่อ IOC = ดัชนีความสอดคล้อง

R = คะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ

N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญ

2.3 การทดสอบเครื่องมือและการหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

การทดสอบแบบสอบถามก่อนใช้จริงถือเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งในการทดสอบแบบสอบถามควรที่จะทำภายใต้สภาวะภาคสนามที่ใกล้เคียงกับกลุ่มคนที่คล้ายกับประชากรจริงที่ต้องการศึกษา จุดประสงค์ของการทดสอบแบบสอบถามไม่ใช่การรวบรวมข้อมูลแต่เพื่อระบุปัญหาที่ผู้ตอบแบบสอบถามอาจมีความไม่เข้าใจและตีความข้อความผิดเพี้ยนไป เป้าหมายของการทดสอบคือการระบุปัญหาในการทำความเข้าใจวิธีการตั้งคำถาม ความเหมาะสมของข้อความคำถาม รวมถึงความหมายที่ต้องการสื่อสารออกไป หากมีพบปัญหาในการทดสอบควรมีการเรียบเรียงคำใหม่เพื่อให้ชัดเจนตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการจะศึกษา [8]

การทดสอบแบบสำรวจไม่ใช่แค่การรวบรวมข้อบกพร่องของแบบสอบถามเท่านั้นยังรวมถึงการทดสอบความ

นำเชื่อถือของแบบสอบถามก่อนที่จะนำไปใช้จริง ซึ่งการหาความเชื่อถือของแบบสอบถามหาได้จากสัมประสิทธิ์อัลฟาครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) โดยค่าสัมประสิทธิ์นี้จะเป็นการหาความเชื่อมั่นชนิดความสอดคล้องภายใน (Internal Consistency) [9] แบบสอบถามที่ใช้ในการทดสอบทั้งสิ้น 30 ชุด จะถูกนำไปทดสอบหาค่าความเชื่อมั่นของอัลฟา-ครอนบาคและจะถูกนำไปใช้สำรวจจริงก็ต่อเมื่อมีค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 0.7 สามารถหาได้จาก [10]

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum s_i^2}{s_t^2} \right) \quad (7)$$

- เมื่อ α = ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟา
 k = จำนวนข้อของเครื่องมือวัด
 s_i^2 = ความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ
 $\sum s_i^2$ = ความแปรปรวนของคะแนนรวมทุกข้อ

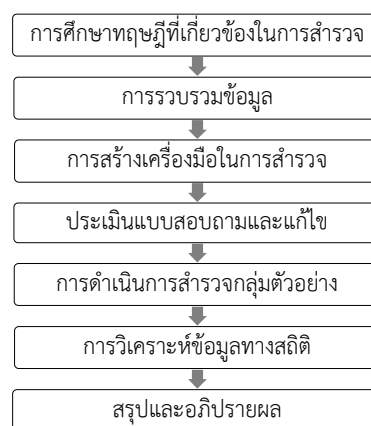
2.4 ะสายไฟฟ้าใต้ดิน

ระบบสายไฟฟ้าใต้ดินมักถูกนำมาช่วยเสริมสร้างความมั่นคง ความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า และการใช้งานในพื้นที่ที่มีประชากรหนาแน่น นอกจากนี้สายไฟฟ้าใต้ดินมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าระบบสายไฟฟ้าเหนือหัว เพราะเป็นสายไฟฟ้าชนิดที่มีฉนวน PVC หุ้มลวดทองแดง อีกทั้งมีฉนวนหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่งจึงมีความคงทนสูงกว่าและทำให้ไม่เกิดคราบสนิมออกไซด์ตามผิวสัมผัส [11] การติดตั้งสายไฟใต้ดินยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากต้องใช้งบลงทุนและค่าบำรุงรักษาสูง รวมทั้งค่าซ่อมแซมที่มีราคาแพงในกรณีที่ไฟฟ้ายัดดับ [12] ระบบสายไฟฟ้าใต้ดินอาจใช้เวลา 48 ถึง 480 ชั่วโมงในการซ่อมระหว่างที่ไฟดับ ซึ่งมากกว่าสายส่งเหนือศีรษะ 6 ถึง 10 เท่า เนื่องจากมีความซับซ้อนในการผลิตสูง และการติดตั้ง [13]

ข้อดีอีกหนึ่งของระบบไฟฟ้าใต้ดิน คือ รองรับการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น และมีประสิทธิภาพมากกว่าระบบสายไฟฟ้าอากาศ จึงสามารถรองรับปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามการเติบโตของเทคโนโลยี รวมถึงช่วยทำให้ทัศนียภาพสวยงาม อีกทั้งยังเพิ่มความน่าเชื่อถือ และเสริมสร้างภาพลักษณ์ที่ดีสู่สายตาชาวต่างชาติ [14]

3. วิธีการดำเนินงาน

การสำรวจความพึงพอใจต่อการนำสายไฟฟ้า และสายสื่อสารลงใต้ดิน ณ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) โดยจะมุ่งเน้นการสำรวจความพึงพอใจเกี่ยวกับการนำสายไฟฟ้าและสายสื่อสารลงใต้ดิน เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนา โดยการสำรวจครั้งนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการสำรวจ ซึ่งแบบสอบถามสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนการสำรวจความพึงพอใจ และส่วนความคิดเห็น นอกจากนี้ ข้อคำถามยังสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเด็น ได้แก่ ด้านภูมิทัศน์ ด้านความปลอดภัย และด้านความเสถียรของระบบส่ง - จ่ายกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ ซึ่งวิธีการสำรวจความพึงพอใจจะเป็นการสำรวจแบบตัวต่อตัว โดยขั้นตอนการดำเนินงานสามารถแสดงได้ดังนี้



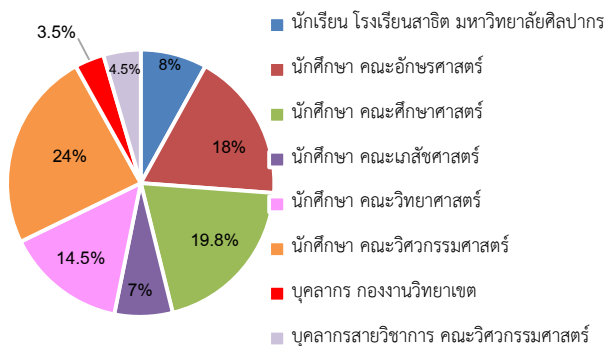
รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานได้แบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนหลักๆ โดยเริ่มจากการกำหนดปัญหา รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบสายไฟฟ้าใต้ดินและโครงการการนำสายไฟฟ้าแรงสูงลงใต้ดิน เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบแบบสอบถาม และในการกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วย นักเรียน นักศึกษา และบุคลากรภายในมหาวิทยาลัย โดยกลุ่มตัวอย่างอ้างอิงตามทฤษฎีของ Taro Yamane ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% สามารถคำนวณจาก (1)

ประชากรภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์มีจำนวนทั้งหมด 19,541 ราย และกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างด้วยทฤษฎีของ Taro Yamane ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คำนวณได้ดังนี้

$$n = \frac{19,541}{1 + (19,541 \times (0.05)^2)} = 391.98$$

จากการคำนวณข้างต้นจึงได้กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยเท่ากับ 400 ตัวอย่าง ซึ่งสามารถแสดงสัดส่วนของสถานะกลุ่มตัวอย่างได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจำแนกสัดส่วนสถานะของกลุ่มตัวอย่าง

เมื่อกำหนดกลุ่มตัวอย่างเรียบร้อยแล้วจึงทำการออกแบบโครงสร้างแบบสอบถามให้มีความถูกต้องเหมาะสม โดยการประเมินคุณภาพของแบบสอบถาม (Index of Item-Objective Congruence: IOC) จากนั้นจะทำการทดลองแบบสอบถามในการสำรวจความพึงพอใจทั้งสิ้น 30 ชุด เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การหาค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

คำถาม	Cronbach's alpha
1. ด้านภูมิทัศน์	0.966
2. ด้านความปลอดภัย	0.964
3. ด้านความเสถียรของระบบส่ง - จ่ายไฟฟ้า	0.963
รวม	0.964

จากตารางที่ 1 การทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 30 ชุด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับ เท่ากับ 0.964 และค่าความเชื่อมั่นของแต่ละด้านมีดังนี้ ด้านภูมิทัศน์มีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.966 ด้านความปลอดภัยมีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.964 ด้านความเสถียรของระบบส่ง-จ่ายไฟฟ้ามีค่าความเชื่อมั่น เท่ากับ 0.963 ซึ่งทุกด้านผ่านเกณฑ์ค่าความเชื่อมั่นที่ต้องมีค่ามากกว่า 0.7

เมื่อทำการสำรวจครบตามจำนวนกลุ่มตัวอย่างจะเก็บผลสำรวจที่ได้มาวิเคราะห์ ซึ่งเครื่องมือทางสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสรุปผลการสำรวจความพึงพอใจ ในส่วนของขั้นตอนสุดท้ายเป็นส่วนของการอภิปรายและสรุปผลการสำรวจความพึงพอใจต่อการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดิน และการประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจได้นำโปรแกรม SPSS มาใช้ในการวิเคราะห์ผล โดยจากการวิเคราะห์จะบ่งบอกได้ว่า หากดำเนินการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดินประชากรภายในมหาวิทยาลัยจะมีความพึงพอใจอยู่ในระดับใด

4. ผลการสำรวจและอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์การสำรวจความพึงพอใจต่อการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดินภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จากกลุ่มตัวอย่าง 400 ตัวอย่าง ทั้ง 3 ประเด็น สามารถแสดงรายละเอียดระดับความพึงพอใจแต่ละประเด็นได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจทั้ง 3 ประเด็น

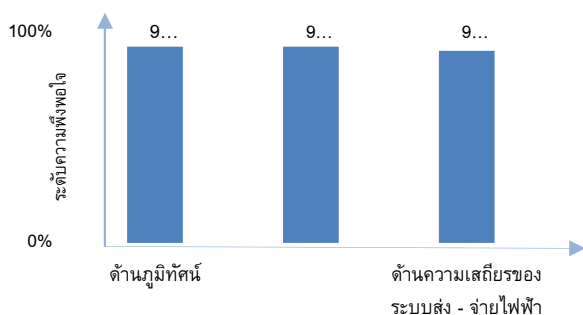
จากตารางที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า การสำรวจความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างต่อการนำสายไฟฟ้าลงดิน ณ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (X̄)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านภูมิทัศน์	4.65	0.48	มากที่สุด
2. ด้านความปลอดภัย	4.65	0.44	มากที่สุด
3. ด้านความเสถียรของระบบส่ง-จ่ายไฟฟ้า	4.55	0.47	มากที่สุด
สรุปผลการประเมินทุกด้านเฉลี่ย	4.62	0.39	มากที่สุด

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.62 จากคะแนนเต็ม 5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.39 และมีระดับความพึงพอใจมากที่สุดทั้ง 3 ด้าน โดยเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ ด้านภูมิทัศน์มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 ด้านระบบส่ง – จ่ายไฟฟ้ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.65 และด้านความปลอดภัยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.55 ทั้งนี้หมายถึงหากมีการนำสายไฟฟ้า และสายสื่อสารลงดินสามารถทำให้ภูมิทัศน์มีความสวยงามมากขึ้น สร้างความปลอดภัยให้กับประชากรในวิทยาเขต มากขึ้น และระบบส่ง – จ่ายไฟฟ้าที่มีความเสถียรมากขึ้น

5. สรุปผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อการนำสายไฟฟ้าลงใต้ดินที่แสดงดังตารางที่ 2 ข้างต้นนั้น ทำให้เห็นถึงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจและแนวโน้มความต้องการของกลุ่มตัวอย่างต่อการนำสายไฟฟ้า และสายสื่อสารลงใต้ดิน ดังนั้นจึงสามารถสรุประดับความพึงพอใจทางด้านภูมิทัศน์ ด้านความปลอดภัย และด้านความเสถียรของระบบส่ง – จ่ายไฟฟ้าเป็นคำร้อยละ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลสรุปการสำรวจความพึงพอใจในรูปแบบร้อยละ

การวิเคราะห์ผลสรุปได้ว่าการสำรวจความพึงพอใจทั้ง 3 ประเด็น คือ ด้านภูมิทัศน์ ด้านความปลอดภัย และด้านความเสถียรของระบบส่ง – จ่ายไฟฟ้า มีค่าร้อยละเท่ากับ 93, 93 และ 91 ตามลำดับ ซึ่งมีความพึงพอใจอยู่ใน “ระดับมากที่สุด” และส่วนของความคิดเห็นจะสามารถกล่าวได้ว่า ผู้ตอบแบบสอบถามยังคงขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าใต้ดิน อย่างไรก็ตามผู้ตอบแบบสอบถามยังต้องการให้มีการปรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้าเหนือหัวเป็นระบบ

ไฟฟ้าใต้ดิน อีกทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลชี้ให้เห็นการกระจายตัวที่ค่อนข้างน้อยแสดงให้เห็นว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีแนวโน้มเป็นไปตามค่าเฉลี่ย ผลจากการสำรวจข้างต้นสามารถอนุมานได้ว่า หากมีการนำสายไฟฟ้า และสายสื่อสารลงใต้ดินจะสามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ รวมถึงประชากรภายในมหาวิทยาลัยศิลปากรจะรู้สึกปลอดภัยมากขึ้นในการสัญจร และระบบไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยจะมีความเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถรองรับการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Kuffel, W.S. Zaengl, and J. Kuffel High Voltage Engineering: Fundamentals (2nd edition), Newnes, 2006.
- [2] Taro Yamane, *Elementary Sampling Theory*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall Inc, 1967.
- [3] Krejcie R.V. & Morgan D.W., “*Determining Sample Size for Research Activities*”, Educational and psychological Measurement, vol.30, pp.607-610, 1970.
- [4] Cochran, W.G.. *Sampling techniques (3rd ed.)* New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [5] S. McLeod, Questionnaire: definition, examples, design and types. Simply Psychology, [Online] (2018). Available: www.simplypsychology.org/questionnaires.html
- [6] Rovinelli, R. J. และ Hambleton, R.K., “*On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity*” Dutch Journal of Educational Research, 1977, 2, 49 – 60.
- [7] Saroj Pullteap, “*ENGINEERING MEASUREMENT*”, Nakompathom: Silpakorn University (Sanam Chandra Palace Campus) Press, 2019. (in Thai)
- [8] Ranjit Kumar, “*RESEARCH METHODOLOGY step-by-step guide for beginners (3rd)*”, SAGE Publications Asia-Pacific Pte Ltd, 2011, pp. 150.
- [9] Wathna Soonthorndhai and Wanida Kuchaisit, “*The Reliability of Multi-target Assessment*

- Tryouts: A Case Study for Teaching and Learning Assessment at Bangkok University*”, BU ACADEMIC REVIEW, vol. 14, No.1, January - June 2015. (in Thai)
- [10] Thananan Numsang and Thanita Tantrarungroj, “Validity and Reliability of the Brief COPE Inventory: Thai version”, J Psychiatr Assoc Thailand, vol. 63, No. 2 , April - June 2018.
- [11] Cherdchai Prapanavarat, Point out the advantages and disadvantages of over-ground and underground wiring systems, [Online] (2016), Available: [http: / / www.siamedunews.com/articles](http://www.siamedunews.com/articles). (in Thai)
- [12] NRG Expert, Electricity T&D White Paper, [Online] (2013), Available: www.nrgexpert.com
- [13] Metwally I., Al-Badi A., Al Farsi A., Factors influencing ampacity and temperature of underground power cables, Electrical Engineering 95(4) (2013), pp. 383–392.
- [14] Metropolitan Electricity Authority, 3 things that have changed After grounding the wires, [Online] (2018), Available: <https://www.meo.or.th/content/detail>. (in Thai)

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า

The Study of Mathematical Equilibrium Moisture Content for Banana (*Musa sapientum* L.)

เพ็ญพร นิมนวน¹ นภาลัย เหล่ามะลอ² และสรารวุฒิ แนนเนียร^{3*}

Phenphorn Nimnuan¹ Napalai Laomalaw² and Sarawut Nabnean^{3*}

¹สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

²สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

³สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

¹Division of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

²Department of Mathematics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

³Division of Physics, Faculty of Science and Technology, Thepsatri Rajabhat University

*Email: n_sarawut@hotmail.com

Received: February 01, 2022; Revised: March 31, 2022; Accepted: April 22, 2022

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า สำหรับการหาค่าความชื้นสมดุลนั้น ผู้วิจัยได้ทำการสร้างอุปกรณ์สำหรับหาความชื้นสมดุล จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยตู้อบไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้ ภายในตู้ที่ติดตั้งขดลวดให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าขนาด 1,500 วัตต์และกล่องบรรจุตัวอย่างที่มีฝาปิดป้องกันอากาศไหลผ่านจำนวน 6 กล่อง ภายในกล่องบรรจุตัวอย่างแต่ละกล่องบรรจุสารละลายอิ่มตัวเพื่อควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในกล่อง อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลนี้เท่ากับ 30°C 40°C และ 50°C กับค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, a_w) แปรค่าระหว่าง 0.11-0.97 เส้นกราฟขอบชั้นไอโซเทอมที่ได้มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี สุดท้ายผู้วิจัยได้หาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลกับค่าวอเตอร์แอกทิวิตีตามแบบจำลองขอบชั้นไอโซเทอม 5 แบบจำลอง แล้วเปรียบเทียบกับผลการทดลอง จากผลการทดลองพบว่า แบบจำลอง modified GAB มีสมรรถนะที่ดีที่สุดสำหรับอธิบายความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า โดยมีค่า R^2 เฉลี่ยเท่ากับ 0.99 และมีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 8.17% และ 1.58% ตามลำดับ

คำสำคัญ : ความชื้นสมดุล, กล้วยน้ำว้า, ความชื้นสัมพัทธ์, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

In this study, mathematic models of equilibrium moisture content of banana (*Musa sapientum* L.) were investigated. To determine the equilibrium moisture content, three sets of equipment was constructed. Each set consist of a controllable temperature hot air chamber. The hot air chamber equipped with a 1,500 W electrical heater and six sample airtight plastic boxes. In each sample box, saturated salt solution is used to control relative humidity. After that the equilibrium moisture content was determined

using standard oven method. The air temperature in this study are 30°C, 40°C, and 50°C and water activity is in the range of 0.11-0.97. The sorption isotherm curves obtained displayed an inverse relationship with temperature at constant water activity. Finally, five selected sorption isotherm model were tested to fit the experiment. The results shown that the modified GAB model fitted the best to the experimental data of banana with R^2 of 0.99, and the value of RMSD and MBD are 8.17% and 1.58%, respectively.

Keywords : Equilibrium moisture content, *Musa sapientum* L., Relative humidity, Mathematic models

1. บทนำ

ภูมิภาคตะวันตกเป็นแหล่งผลิตพืชผลทางการเกษตรที่สำคัญ โดยเฉพาะประเทศไทยมีการผลิตพืชผลทางการเกษตรจำนวนมาก ทั้งผลไม้ ผัก และสมุนไพร โดยผลิตผลที่ได้จะมีทั้งการบริโภคผลสดและผลิตผลที่แปรรูป โดยกระบวนการแปรรูปด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การแช่แข็ง การอบแห้ง การบรรจุกระป๋อง เป็นต้น สำหรับการแปรรูปด้วยวิธีการอบแห้งนั้นมีการผลิตในระดับครัวเรือนและการผลิตในระดับอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในปัจจุบันมีโรงงานผลิตผลไม้อบแห้งขนาดใหญ่หลายแห่งในแต่ละภูมิภาคของประเทศ เช่น อุตสาหกรรมการแปรรูปกล้วยอบแห้ง ที่อำเภอบางกระทุ่ม จังหวัดพิษณุโลก [1] เป็นต้น

กล้วยน้ำว้ามีการปลูกทุกพื้นที่ของประเทศไทย เนื่องจากสามารถปลูกง่าย และบริโภคง่าย ไม่ว่าจะบริโภคผลสุก หรือแม้กระทั่งการแปรรูป โดยเฉพาะการแปรรูปเป็นกล้วยตากแห้ง ซึ่งเป็นที่นิยมเป็นอย่างมากสำหรับคนไทย ซึ่งเป็นการนำเอากล้วยสุกกอมนำมาปอกเปลือกและนำไปตากแดดตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แต่สำหรับการขายกล้วยตาก และการส่งออกในปัจจุบันจำเป็นต้องทำให้กล้วยตากมีคุณภาพและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กระบวนการผลิตจึงจำเป็นต้องทำให้กล้วยตากที่ได้มีคุณภาพ เนื่องจากการตากแห้งตามธรรมชาตินั้นอาจปนเปื้อนฝุ่นละออง และมีแมลงมารบกวนรวมทั้งการเปียกเนื่องจากฝน เป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เป็นเชื้อราที่เป็นอันตรายก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ เช่น อะฟลาทอกซิน (Aflatoxins) [2-3] เป็นต้น ผู้ผลิตในปัจจุบันจึงหันมาใช้เครื่องอบแห้งกันเป็นจำนวนมาก

กระบวนการอบแห้ง นอกจากจะต้องทำการควบคุมคุณภาพแล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณความร้อนที่ใช้ด้วย ทั้งนี้เพราะการอบแห้งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานสูง โดยเฉพาะการอบแห้งกล้วย ซึ่งทำให้มีผลต่อต้นทุนการผลิต ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องอบแห้ง หรือแม้แต่การออกแบบเครื่องอบแห้งให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีและใช้พลังงานน้อยสุด จำเป็นต้องเข้าใจกลไกของการอบแห้งและทราบคุณสมบัติการดูดและคายความชื้นของผลิตภัณฑ์

ผักและผลไม้โดยทั่วไปเป็นวัสดุที่จัดอยู่ในประเภทไฮโกรสโคปิก (hygroscopic materials) กล่าวคือ สามารถดูดและคายความชื้นได้ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ หรือวัสดุทางการเกษตรประเภทผักและผลไม้ไปวางในบริเวณที่มีสภาวะของอากาศซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดให้ ผลิตภัณฑ์จะมีการดูดหรือคายความชื้นจนกระทั่งอยู่ในสภาวะสมดุล โดยความชื้นนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, EMC) [4-6] ในกรณีความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าสูง ความชื้นภายในผลิตภัณฑ์นี้จะคายความชื้นให้กับอากาศบริเวณโดยรอบผลิตภัณฑ์ ในทางกลับกันถ้าผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำกว่าความชื้นสมดุล ผลิตภัณฑ์ก็จะดูดความชื้นจากอากาศเข้าไป ดังนั้นความชื้นสมดุลจึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการกำหนดสภาวะของอากาศในกระบวนการอบแห้ง เพื่อให้การอบแห้งมีประสิทธิภาพสูงสุด และมีประโยชน์ต่อการจัดทำบรรจุภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งให้มีอายุยาวนานยิ่งขึ้น

ความชื้นสมดุลของผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะขึ้นกับชนิดของผลิตผล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ซึ่งจำเป็นต้องหาโดยวิธีการทดลอง ดังนั้นในประเทศต่าง ๆ จึงได้มีการหาความชื้นสมดุลของผลิตผลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งในกรณีประเทศไทย ข้อมูลความชื้นสมดุลของผลิตผลทางการเกษตรในประเทศไทยยังมีค่อนข้างจำกัด ซึ่งใน

กรณีกล้วยน้ำว้าเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยที่มีการผลิตเพื่อบริโภค รวมถึงการส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ หลายประเทศทั่วโลก ดังนั้นงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาแบบจำลองของความชื้นสมมูลของกล้วยน้ำว้า โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมมูลจำนวน 5 แบบจำลอง ที่ได้มีการพัฒนามาจากแบบจำลองแบบเก่า และยังใช้งานสำหรับการหาความชื้นสมมูลของผลิตผลทางการเกษตรเป็นส่วนใหญ่ [7-9] ทั้งนี้เพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในงานวิจัยด้านการอบแห้งและการเก็บรักษากล้วยน้ำว้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความชื้นสมมูล

วัสดุขึ้นเป็นวัสดุที่ประกอบไปด้วยของแข็งและน้ำที่แทรกตัวอยู่ในโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งผลิตผลทางการเกษตรเป็นวัสดุประเภทไฮโกรสโคปิก (hygroscopic) คือสามารถดูดและคายความชื้นจากอากาศบริเวณโดยรอบได้ โดยการถ่ายเทความชื้นระหว่างผลิตผลทางการเกษตรกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นค่าหนึ่ง จนกระทั่งมีความดันไอ (vapor pressure) ของวัสดุทางการเกษตรเท่ากับค่าความดันไอของอากาศ ผลิตผลทางการเกษตรนี้จึงจะหยุดการถ่ายเทความชื้น เราจึงเรียกสภาวะสมดุลกับอากาศแวดล้อมนี้ว่า ความชื้นสมมูล

สำหรับทางเทคโนโลยีการอาหารจะบอกปริมาณความชื้นที่อยู่ในวัสดุหรือผลิตผลทางการเกษตรด้วยค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity) ซึ่งเป็นค่าของอัตราส่วนระหว่างความดันไอน้ำในวัสดุหรือผลิตผลทางการเกษตรต่อความดันไอน้ำของน้ำอิสระ (free water) หรือน้ำที่อยู่ในตัววัสดุ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [10]

$$a_w = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

โดยที่ a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี

P คือ ความดันไอน้ำในวัสดุขึ้น [Pa]

P_0 คือ ความดันไอน้ำของน้ำอิสระ [Pa]

การนำผลิตผลทางการเกษตรหรือวัสดุขึ้นไปไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (rh) และมีอุณหภูมิ (T) จะ

ทำให้วัสดุมีการกระตุ้นในการดูดหรือคายความชื้นจนกระทั่งเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [11] ดังสมการที่ (2)

$$a_w = \frac{rh}{100} \quad (2)$$

โดยที่ rh คือ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [%]

ค่าวอเตอร์แอกติวิตีเป็นค่าความดันไอน้ำในผลิตผลทางการเกษตรหรือวัสดุทางการเกษตรเทียบกับความดันไอน้ำของน้ำอิสระ เป็นสาเหตุให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีมีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์และชีวเคมีของวัสดุทางการเกษตร ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์ แบคทีเรีย และรา ทำให้ไม่สามารถเก็บผลิตผลทางการเกษตรในรูปแบบผลิตผลสดได้ในสภาวะอากาศปกติ โดยทั่วไปความชื้นสมมูลของวัสดุทางการเกษตรมีความสัมพันธ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตี ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิคงที่ จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมมูลกับค่าวอเตอร์แอกติวิตีคือกราฟขอบชั้นไอโซเทอม (sorption isotherm) ซึ่งจะมีลักษณะกราฟเป็นรูปซิกมอยด์ (sigmoid)

สำหรับกล้วยน้ำว้าที่นำมาใช้ในการทดลองหาค่าความชื้นสมมูลจะใช้กล้วยน้ำว้าสายพันธุ์มะลิทองโดยการเตรียมตัวอย่างจะใช้กล้วยสุกมาทำการปอกเปลือกออกโดยใช้กล้วยทั้งลูก และทำการทดสอบหาค่าความชื้นสมมูล ซึ่งกล้วยน้ำว้าที่นำมาทดลองนี้จะมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นอยู่ที่ 77% (wb.)

สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่าความชื้นสมมูลของกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีการแบบวิธีสถิติกส์ (statics method) กล่าวคือ การนำผลิตผลมาใส่ในภาชนะในระบบปิด ที่ควบคุมด้วยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในระยะเวลาหนึ่งจนผลิตผลนั้นเกิดสภาวะสมดุลคือมีความชื้นของผลิตผลที่คงที่ซึ่งวิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในระบบปิดนั้นจะใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว และนำไปใส่ในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิเพื่อใช้ในการสร้างสภาวะอากาศในรูปแบบต่าง ๆ

2.2 สารละลายเกลืออิ่มตัว

การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสามารถทำได้โดยใช้สารละลายเกลืออิ่มตัว ที่มีความเข้มข้นที่ต่างกันออกไปเพื่อใช้สร้างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วง 0-100% ซึ่งสามารถควบคุมความชื้นได้ดีกว่าสารละลายกรดหรือค่าวอเตอร์แอกติวิตีของสารละลายเกลือ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการรวบรวมข้อมูลสารละลายเกลือชนิดต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้ได้ช่วงกว้างมากที่สุด (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของสารละลายเกลือที่อุณหภูมิต่าง ๆ [12]

ชนิดสารละลาย	ค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่อุณหภูมิ		
	30°C	40°C	50°C
เกลือ			
LiCl.H ₂ O	0.118	0.116	0.114
MgCl ₂ .6H ₂ O	0.328	0.321	0.314
Na ₂ Cr ₂ O ₇ .2H ₂ O	0.525	0.498	0.463
NaCl	0.756	0.754	0.745
KNO ₃	0.907	0.879	0.850
K ₂ SO ₄	0.966	0.962	0.958

2.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของขอบชั้นไอโซเทอมจะแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นสัมพัทธ์ของผลิตภัณฑ์กับค่าวอเตอร์แอกติวิตีตามอุณหภูมิที่กำหนด [13] โดยผู้วิจัยได้ทำการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาค่าขอบชั้นไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้าดังตารางที่ 2

3. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของกล้วยน้ำว้า ที่คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี กล้วยน้ำว้าที่นำมาใช้ในการทดลองหาค่าความชื้นสัมพัทธ์จะใช้กล้วยน้ำว้าสายพันธุ์

มะลิองโดยการเตรียมตัวอย่างที่ใช้กล้วยสุกมาทำการปกเปลือกออกและทำการทดสอบหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งกล้วยน้ำว้าที่นำมาทดลองนี้จะมีค่าความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้นอยู่ที่ 77% (wb.) โดยการหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทดลองแบบสแตติกส์ ในการทดลองใช้สารละลายเกลืออิ่มตัวในการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจำนวน 6 ชนิด ดังตารางที่ 1 โดยเทสารละลายลงในกล่องพลาสติกแบบซูปเปอร์ล็อก (super lock) และใช้ตู้อบไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุณหภูมิที่ 30°C 40°C และ 50°C จำนวน 3 ตู้ สำหรับช่วงอุณหภูมิที่ใช้เพื่อให้ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการศึกษากระบวนการอบแห้งต่อไป ดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและอุณหภูมิ จะได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ตัวอย่างรวมทั้งสิ้น 18 ค่า



รูปที่ 1 กล่องพลาสติกแบบซูปเปอร์ล็อกบรรจุสารละลายเกลือสำหรับใส่กล้วยน้ำว้าในการทดลอง



รูปที่ 2 ตู้อบไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิสำหรับการทดลอง

สำหรับการทดลองผู้วิจัยได้นำเกลือแต่ละชนิดมาละลายน้ำในบีกเกอร์โดยให้ความร้อนด้วยเตาไฟฟ้า (hot plate) ตามอุณหภูมิที่กำหนดที่ 30°C 40°C และ 50°C ตามลำดับ หลังจากที่ได้สารละลายเกลืออิ่มตัวตามอุณหภูมิดังกล่าว จึงนำสารละลายเกลือบรรจุลงกล่องพลาสติกแบบซูปเปอร์ล็อก

และนำมวลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือกล้วยน้ำว้า ที่ปอกเปลือกออกแล้วนำมาวางลงบนตะแกรงที่อยู่เหนือชั้นสารละลายเกลือ ไม่ให้มวลตัวอย่างสัมผัสสารละลายเกลือ ที่สำคัญควรระมัดระวังไม่ให้มวลตัวอย่างสัมผัสสารละลายเกลือ หลังจากนั้นจึงทำการปิดฝากล่องพลาสติกซูปเปอร์ล็อกเพื่อไม่ให้อากาศภายนอกเข้าไปยังภายในกล่องได้ และนำกล่องพลาสติกนี้เข้าสู่ตู้ควบคุมอุณหภูมิให้ตรงกับสารละลายเกลืออิมมัวที่อุณหภูมินั้น ๆ และปล่อยให้มวล

ตัวอย่างเกิดการแลกเปลี่ยนความชื้นจนเข้าสู่สภาวะสมดุลหรือมวลของกล้วยไม่ลดลงจึงหยุดการทดลอง ซึ่งใช้ระยะเวลา 3 สัปดาห์ หลังจากนั้นนำมวลตัวอย่างเข้าไปทำการอบแห้งที่ตู้อบแห้งอุณหภูมิ 103°C เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC [14] เพื่อหามวลแห้งสำหรับใช้คำนวณความชื้นสมดุลต่อไป โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองการหาค่าความชื้นสมดุลซ้ำจำนวน 3 รอบ

ตารางที่ 2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความชื้นสมดุล

ลำดับที่	แบบจำลอง	สมการทางคณิตศาสตร์	เอกสารอ้างอิง
1	Modified Oswin Equation	$M_e = (A + BT) \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^C$	[15]
2	Modified Handerson Equation	$M_e = \left[\frac{-\ln(1 - a_w)}{A(T + B)} \right]^{1/C}$	[16]
3	Modified Chung-Pfost Equation	$M_e = -\frac{1}{C} \ln \left[\frac{-(T + B) \ln(a_w)}{A} \right]$	[17]
4	Modified Halsey Equation	$M_e = \left[-\frac{\ln(a_w)}{\exp(A + BT)} \right]^{-1/C}$	[18]
5	Modified GAB	$M_e = \frac{AB \left(\frac{C}{T} \right) a_w}{(1 - Ba_w)(1 - Ba_w + \frac{C}{T} Ba_w)}$	[19]

หมายเหตุ : M_e คือ ความชื้นสมดุล [%, db] T คือ อุณหภูมิ [K], a_w คือ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี [-], A, B, C คือ ค่าคงที่ของสมการ หรือค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

การวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองในตารางที่ 2 ใช้วิธีการนำค่าความชื้นสมดุลที่ได้จากการทดลองกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิที่กำหนดไว้ คือ 30°C 40°C และ 50°C โดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งการคำนวณหาค่าคงที่ของสมการสามารถหาได้จากการวิเคราะห์เชิงถดถอย (regression analysis) สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) รากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างยกกำลังสอง (Root Mean Square Difference, RMSD, %) และค่าความเอนเอียงเฉลี่ย (Mean Bias Difference, MBD, %) สามารถหาได้ดังนี้

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{eq(mod,i)} - M_{eq(meas,i)})^2}{\sum_{i=1}^N (M_{eq(mod,i)} - M_{eq(meas,i)})^2} \quad (3)$$

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{eq(mod,i)} - M_{eq(meas,i)})^2}{N}} \quad (4)$$

$$MBD = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{eq(mod,i)} - M_{eq(meas,i)})}{\sum_{i=1}^N M_{eq(meas,i)}} \quad (5)$$

เมื่อ $M_{eq(mod,i)}$ คือ ความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าจากแบบจำลองของข้อมูลที่ i [%, db]

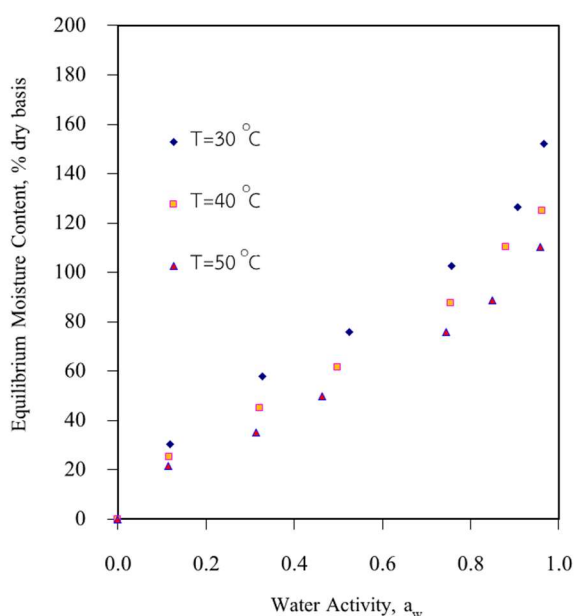
$M_{eq(meas,i)}$ คือ ความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าจากการทดลองของข้อมูลที่ i [%, db]

N คือ จำนวนข้อมูล

i คือ ลำดับที่ของข้อมูล

4. ผลและการอภิปรายผลการทดลอง

ผลการทดลองการหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 11%-97% หรือค่าวอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.11 – 0.97 ดังรูปที่ 3 จากรูปพบว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีลักษณะของกราฟเป็นแบบซิกมอยด์ โดยที่กราฟจะมีลักษณะเรียงลำดับเป็นเส้นไอโซเทอมโดยเรียงลำดับของอุณหภูมิต่ำอยู่เส้นบนลงมาถึงเส้นล่างจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าลักษณะของกราฟซอบซันไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้ามีลักษณะของกราฟสอดคล้องกับซอบซันไอโซเทอมของผลิตภัณฑ์อาหารทั่วไป [20]



รูปที่ 3 ซอบซันไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้า

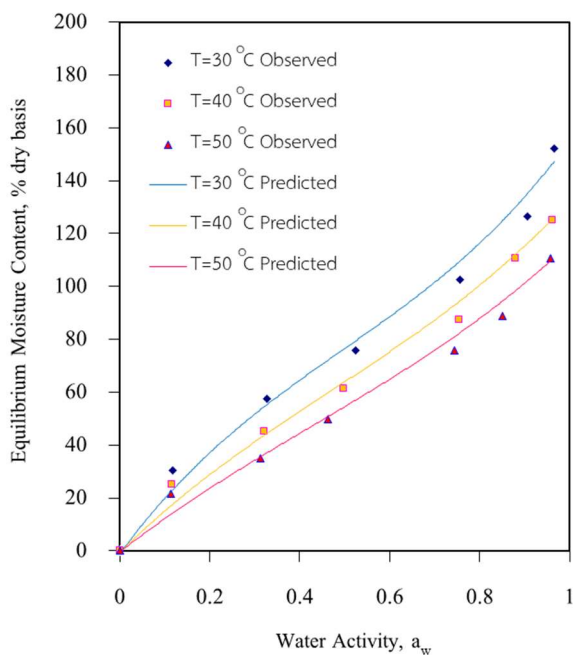
จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการหาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างความชื้นสมดุลกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี หรือเรียกว่าแบบจำลองของซอบซันไอโซเทอม (sorption isotherm model) โดยทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมจำนวน 5 แบบจำลองกับผลที่ได้จากการทดลองในแต่ละอุณหภูมิ พบว่าแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้าของ Modified GAB มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองมากที่สุด โดยมีค่าของสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ หรือค่า R^2 สูงที่สุดอยู่ที่ 0.99 และค่าของรากที่สองของค่าเฉลี่ยความแตกต่างยกกำลังสอง หรือค่า RMSD อยู่ที่ 8.17 และค่าความเอนเอียงเฉลี่ย หรือค่า MBD ต่ำสุด อยู่ที่ 1.58 ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีความเหมาะสมที่ใช้สำหรับทำนายค่าความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในช่วงต่าง ๆ โดยค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้าแสดงดังตารางที่ 3

ในรูปที่ 4 จะเป็นผลการเปรียบเทียบการแปรค่าความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองของ Modified GAB ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกับการหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยหิน (Saba Banana) หรือในภาษาอินโดนีเซียเรียกว่า “Kepok Banana” ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองในการควบคุมอุณหภูมิ 30°C 40°C และ 50°C ที่วอเตอร์แอกติวิตีอยู่ในช่วง 0.11 – 0.97 พบว่า แบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของ GBA ให้ค่าความสัมพันธ์กับผลที่ได้จากการทดลองมากที่สุด [21]

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของความชื้นสมดุลของกล้วย

แบบจำลอง	ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง			RMSD (%)	MBD (%)	R^2
	A	B	C			
Modified Oswin Equation	97.59710	-0.88422	0.25234	10.95	5.90	0.98
Modified Handerson Equation	0.00001	-0.57028	2.10313	45.36	40.40	0.98
Modified Chung-Pfost Equation	376.07790	-14.69540	0.08530	52.34	43.82	0.94
Modified Halsey Equation	16.21884	-0.04785	3.37665	34.35	29.33	0.97
Modified GAB	172.14850	0.27500	122.90160	8.17	1.58	0.99

สำหรับแบบจำลองของซอบซันไอโซเทอมมีความสำคัญสำหรับการอบแห้ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ และนอกจากนี้แบบจำลองของซอบซันไอโซเทอมยังสามารถใช้คำนวณเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (drying time) ใช้คำนวณอายุของผลิตภัณฑ์แห้งซึ่งเก็บอยู่ในช่องหรือห้องชนิดต่าง ๆ และยังสามารถใช้ประโยชน์ในการหาสถานะสมดุลของผลิตภัณฑ์อาหารได้



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบค่าความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้ากับค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลที่ได้จากการทดลองเทียบกับแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของ Modified GAB

5. สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองหาค่าความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้า และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หรือแบบจำลองซอบซันไอโซเทอม ซึ่งมีความสำคัญต่องานในด้านการอบแห้ง และการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยใช้อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส และค่าวอเตอร์แอกติวิตีแปรค่าระหว่าง 0.11-0.97 และนำไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตีและค่าความชื้นสมดุลที่อุณหภูมิ และความชื้นต่าง ๆ พบว่า กราฟซอบซันไอโซเทอมที่ได้มีลักษณะเส้นกราฟเป็นแบบซิกมอยด์ โดยเส้นกราฟที่มีอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านล่างขึ้นไปยังเส้นกราฟ

อุณหภูมิต่ำซึ่งจะอยู่ด้านบนสุด และค่าวอเตอร์แอกติวิตีเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความชื้นสมดุล จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่อุณหภูมิคงที่พบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Modified GAB มีความเหมาะสมในการทำนายความสัมพันธ์ของค่าความชื้นสมดุลกับค่าวอเตอร์แอกติวิตีได้ดีที่สุด ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในรูปแบบของ RMSD และ MBD เท่ากับ 8.17% และ 1.58% ตามลำดับ และค่าของสัมประสิทธิ์ของการตัดสิ้นใจ หรือค่า R^2 สูงที่สุดอยู่ที่ 0.99 ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ดีที่สุดสำหรับกล้วยน้ำว้า จากผลการทดลองทำให้ทราบว่าความชื้นสมดุลของกล้วยน้ำว้าขึ้นอยู่กับสถานะแวดล้อมที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็นสำคัญ อย่างไรก็ตามในการทดลองหาผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ ต้องทำการหาค่าซอบซันไอโซเทอมของผลิตภัณฑ์ชนิดนั้น ๆ

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

สำหรับการหาค่าความชื้นสมดุลในการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดลองหาค่าความชื้นสมดุล และการหาแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของกล้วยน้ำว้า ถ้าเป็นกล้วยชนิดอื่น หรือผลิตภัณฑ์อื่น ผู้วิจัยขอแนะนำให้ทำการทดลอง และทดสอบหาแบบจำลองซอบซันไอโซเทอมของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ โดยเฉพาะ จะทำให้ได้แบบจำลองซอบซันไอโซเทอมที่มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Udomkun, S. Romuli, S. Schock, B. Mahayothee, M. Sartas, T. Wossen, E. Njukwe, B. Vanlauwe, and J. Müller, "Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach," *Journal of Environmental Management*, Vol. 268, 110730, pp.1-14, May. 2020.
- [2] O. Olagunju, N. Mchunu, N. Durand, N. Spigolon, P. Alter, D. Montet, and O. Ijabadeniyi, "Effect of

- mulling, fermentation of roasting on water activity, fungal growth, and aflatoxin contamination of Bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Verdc),” *LWT-Food Science and Technology*, Vol. 98, pp.533-539, December. 2018.
- [3] S. Valente, G.R. Meloni, S. Prencipe, N. Spigolon, M. Somenzi, M. Fontana, M.L. Gullino, and D. Spadaro, “Effect of drying temperatures and exposure times on aspergillus flavus growth and aflatoxin production on artificially inoculated hazelnuts,” *Journal of Food Protection*, Vol. 83, no. 7, pp.1241-1247, March. 2020.
- [4] J. Yang, A. Martin, S. Richardson, and C.H. Wu, “Microstructure investigation and its effects on moisture sorption in fried potato chips,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 214, pp.117-128, December. 2017.
- [5] K. Fan, M. Zhang, and B. Bhandari, “Osmotic-ultrasound dehydration pretreatment improves moisture adsorption isotherms water state of microwave-assisted fried purple-fleshed sweet potato slices,” *Food and Bioprocess Processing*, Vol. 115, pp.154-164, April. 2019.
- [6] J.A.C. Echavarria, A.M.R. Torres, and J.E.Z. Montoya, “Sorption isotherms and thermodynamic properties of the dry silage of red tilapia viscera (*Oreochromis* spp.) obtained in a direct solar dryer,” *Heliyon*, Vol. 7, e06798, pp.1-8, April. 2021.
- [7] S. Basu, U.S. Shivhare, and A.S. Mujumdar, “Models for sorption isotherms for foods: A review,” *Drying Technology*, Vol. 24, pp.917-930, February. 2006.
- [8] A. Iguaz, and P. Virseda, “Moisture desorption isotherms of rough rice at high temperatures,” *Journal of Food Engineering*, Vol. 79, pp.794-802, April. 2007.
- [9] N.A. Aviara, “Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products,” *In Sorption in 2020s*, pp.1-33, IntechOpen. 2020.
- [10] H.A. Iglesias, and J. Chirife, “An empirical for fitting water sorption isotherms of fruits and related products,” *Canadian Institute of Food and Technology Journal*, Vol. 11, pp.12-15, April. 1978.
- [11] S. Janjai, K. Tohsing, and B.K. Bala, “Moisture sorption isotherms of Lincheu Mushroom (*Ganoderma lucidum*),” *Food Science and Technology Research*, Vol. 13, no. 4, pp.315-320, May. 2007.
- [12] S. Janjai, B.K. Bala, K. Tohsing, B. Mahayothee, M. Haewsungcharern, W. Mühlbauer, and J. Müller, “Equilibrium moisture content and heat of sorption of longan (*Dimocarpus longan* Lour.),” *Drying Technology*, Vol. 24, no. 12, pp.1691-1696, April. 2007.
- [13] S. Nabnean, S. Thepa, and S. Janjai, “Sorption Isotherm of osmotic dehydration of cherry tomato,” in *Proceeding of The 5th International Science, Social Science, Engineering and Energy Conference, Kanchanaburi Thailand*, December. 18-20, 2013, pp. 219-224.
- [14] AOAC, *Official Methods of Analysis (17th ed.)*, Association of Official Analytical Chemists, Washington. DC, 2000.
- [15] C. Chen, “A study of equilibrium relative humidity for yellow-dent corn kernels,” *Ph.D. thesis*, University of Minnesota: St. Paul, 1988.
- [16] T.L. Thompson, R.M. Peart, and G.H. Foster, “Mathematical simulation of corn drying a new

- model,” *Transactions of the ASAE*, Vol. 11, no. 4, pp.582-586, November. 1968.
- [17] H.B. Pfost, S.G. Mourer, D.S. Chung, and G.A. Milliken, “Summarizing and reporting equilibrium moisture data for grains,” *ASAE meeting*, St. Joseph, Mi. (Paper,76-3520), 1976.
- [18] H.A. Iglesias, and J. Chirife, “Prediction of the effect of temperature on water sorption isotherms of food material,” *Journal of Food Technology*, Vol. 11, pp.109-116, April. 1976.
- [19] D.S. Jayas, and G. Mazza, “Comparison of five three-parameter equations for the description of adsorption data of oats,” *Transactions of the ASAE*, Vol. 36, pp.119-125, February. 1993.
- [20] H.A. Iglesias, and J. Chirife, “Water sorption parameters for food and food components,” *Handbook of Food Isotherm*, Academic Press, New York, 1982.
- [21] B. Susilo, D.M. Maharani, L.C. Hawa and D.N.K. Fitri, “Study of sorption isotherm and isosteric heat of Kepok Banana (*Musa paradisiaca* F.) slice,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 230, 012017, pp.1-10, September. 2019.

การพัฒนาเครื่องบดมูลสัตว์สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง
อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี

The Development of Animal Manure Grinder for Ban Sai Nong
Fertilizer Product Community Enterprise Group,
Tha Mai District, Chanthaburi Province

อนุวัฒน์ เนืองน้อย, ชัชวาลย์ เชื้อมาก*, ปญญ์ณัฐ แสนสุภา, วรินทร์ เล็กกำพูช,
เดชา วงศ์แก้ว และโพธิ์ทอง ปราณีตพลกรัง

Anuwat Nueangnoi, Chatchawan Chuemark*, Punnut Sensupa, Warantorn Lekkamphut,
Decha Wongkaew and Phothong Praneetpolkrang

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม(ต่อเนื่อง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี
Department of Industrial Technology (Continuing Program), Faculty of Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University
*Email: Chatchawan.chw@gmail.com

Received: February 07, 2022; Revised: April 08, 2022; Accepted: May 09, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี โดยการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์เครื่องเดิม หลังจากนั้นทำการทดสอบการทำงานของเครื่องบดละเอียดแล้วเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการบดของเครื่องก่อนและหลังการพัฒนาเครื่อง พบว่าปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 14.07 วินาที มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 3.053 กิโลกรัมต่อ 14.07 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 4.554 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที คิดเป็น 49.16 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 1.947 กิโลกรัมต่อ 14.07 วินาที เป็น 0.446 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที คิดเป็น 77.09 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 10 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 6.114 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 9.305 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที คิดเป็น 52.19 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 3.886 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที เป็น 0.695 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที คิดเป็น 82.12 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 15 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 9.667 กิโลกรัมต่อ 17.07 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 14.099 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที คิดเป็น 45.85 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 5.333 กิโลกรัมต่อ 17.07 วินาที เป็น 0.901 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที คิดเป็น 83.11 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 20 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 12.041 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 18.622 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที คิดเป็น 54.65 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 7.959 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที เป็น 1.378 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที คิดเป็น 82.69 % จากผลการทดลอง เครื่องบดละเอียดหลังการพัฒนาสามารถบดมูลสัตว์ได้ความละเอียดตรงตามความต้องการ

คำสำคัญ : เครื่องบดมูลสัตว์, การทดสอบ

Abstract

This study presented design and development of animal manure grinder to be more efficient that needs of the Ban Sai Nong Fertilizer Community Enterprise Group, Tha Mai District, Chanthaburi Province. This study will improving and developing the model of animal manure grinder to comparison new one, The improve such as changed the position of belt unit and motor for increase the blade rotation, expand the gap between the blades. After that testing the grinder and compare before and after experiments.

It was found that the amount of test manure 5 kg took 14.07 seconds that the average particle size increased from 3.053kg per 14.07 seconds increased to 4.554 kg per 6.31 seconds, was considered to be 49.16%, and the amount of coarse manure decreased from 1.947 kg per 14.07 seconds to 0.446 kg per 6.31 seconds, was considered to be 77.09%. The amount of manure tested 10 kg, the amount of fine manure increased from 6.114 kg per 20.32 seconds, an increase of 9.305 kg per 13.70 second, was considered to be 52.19% and the amount of coarse manure decreased from 3.886 kg per 20.32 seconds to 0.695 kg per 13.70 seconds, was considered to be 82.12%. The amount of manure tested 15 kg, with the amount of fine manure increased from 9.667 kg per 17.07 seconds, an increase of 14.099 kg per 8.21 seconds, was considered to be 45.85%. and the amount of coarse manure decreased from 5.333 kg per 17.07 seconds to 0.901 kg per 8.21 seconds, was considered to be 83.11 %. The amount of manure tested was 20 kg. The amount of fine manure increased from 12.041 kg per 16.59 seconds, an increase of 18.622 kg per 9.27 seconds, was considered to be 54.65% and the amount of coarse manure decreased from 7.959 kg per 16.59 seconds to 1.378 kg per 9.27 seconds, was considered to be 82.69 %. The results of the experiment, the animal manure grinder after development can grind the manure to the fineness that meets the requirements.

Keywords: Animal Manure Grinder, Testing

1. บทนำ

พื้นที่ชุมชนไทรนอง ตำบลสองพี่น้อง อำเภอกำแพง จังหวัดจันทบุรี ประชากรในพื้นที่ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร ทำสวนยางพารา สวนผลไม้ การทำการเกษตรในอดีตนั้นเกษตรกรนิยมใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกพืชเนื่องจากหาซื้อได้ง่าย พืชเจริญเติบโตได้เร็ว แต่มีผลเสีย คือ ต้องใช้ต้นทุนสูงในการซื้อปุ๋ยเคมี ทั้งยังมีสารตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรอีกด้วย [1] เกษตรกรชุมชนไทรนองได้มีแนวคิดในการเปลี่ยนวิธีการทำการเกษตรโดยเปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพทดแทนการใช้ปุ๋ยเคมี เนื่องจากราคาไม่สูง มีแร่ธาตุที่สำคัญครบถ้วนตามที่พืชต้องการ และไม่มีสารตกค้างในผลผลิตทางการเกษตรโดยในกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพนั้นมีส่วนผสมวัตถุดิบที่ต้องใช้ คือ มูลสัตว์

เช่น มูลวัว มูลไก่ มูลค่างควา มูลนกกกระทา และต้องใช้เครื่องจักรในการผลิต คือ เครื่องบดละเอียดใช้สำหรับบดมูลสัตว์และวัตถุดิบต่างๆ เครื่องผสมปุ๋ย เครื่องผลิตเม็ดปุ๋ย และเครื่องสายพานลำเลียงปุ๋ย ซึ่งในปัจจุบันกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง ได้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเพื่อจำหน่ายให้กับสมาชิก และยังจำหน่ายให้กับผู้ที่สนใจนำไปใช้ทางการเกษตร ปัจจุบันมีกำลังการผลิตประมาณ 2,400 ตัน/ปี

ด้วยความร่วมมือระหว่างคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง ได้เปิดโอกาสให้นักศึกษาลงพื้นที่เพื่อศึกษาดูงานกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพและนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการเรียน และได้รับทราบปัญหาของกระบวนการผลิตคือ เครื่องบดละเอียดมูลสัตว์ที่ใช้สำหรับบดมูลสัตว์และวัตถุดิบ ทำงานไม่เต็มประสิทธิภาพ

กล่าวคือ เมื่อนำมูลสัตว์เข้าเครื่องบดละเอียดแล้ว พบว่ามูลสัตว์ที่ได้จากการบดมีอัตราส่วนของมูลสัตว์ละเอียด 60% และเป็นมูลสัตว์หยาบ 40% ส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดความล่าช้าเนื่องจากต้องทำการบดซ้ำจนกว่าจะละเอียดทางผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องบดละเอียดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น โดยการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรหนองฯ จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของเครื่องบดละเอียดหลังการปรับปรุงและพัฒนาโดยใช้มูลสัตว์ของกลุ่มผลิตปุ๋ยในการทดสอบ เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดละเอียด ซึ่งผลการทดสอบจะออกมาในรูปแบบของ อัตราส่วน มูลสัตว์ละเอียด / มูลสัตว์หยาบ ซึ่งปริมาณมูลสัตว์ทดสอบที่ใช้คือ 5, 10, 15 และ 20 กิโลกรัม แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดละเอียด ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดขนาด (Size reduction)

การลดขนาด หมายถึง การแตกตัวของสารที่เป็นของแข็ง โดยไม่ทำให้สถานะของสารนั้นเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งรวมถึงการแบ่งของเหลวออกเป็นหยดหรือก๊าซเป็นฟอง อย่างไรก็ตามสภาพทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่สลายตัวอาจเปลี่ยนแปลงได้โดยเฉพาะเมื่อสารไม่เป็นเนื้อเดียวกัน [2] และ คชินท์ สายอินทวงศ์ [3] กล่าวว่า การบดละเอียด เป็นการบดวัตถุที่ผ่านการบดหยาบมาแล้ว ให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลงจนถึงขั้นละเอียดมาก (Pulverization) โดยใช้การกระทบ, กระทบ และการเสียดสีกันระหว่างวัตถุกับ ตัวลูกบด (Grinding Media) และตัวบุผนังของหม้อบด (Lining)

2.2 กระบวนการที่ใช้ในการลดขนาด

ของแข็งอาจถูกทำให้มีขนาดเล็กลงโดยกระบวนการ [4]

1. การอัดหรือบีบ (Compression)
2. การทุบหรือกระทบ (Impact)
3. การไม่หรือขัด (Attrition or rubbing)
4. การตัด (Cutting)

2.3 เทคโนโลยีการลดขนาดอนุภาค

อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่นิยมใช้ลดขนาดมีอยู่หลากหลาย มีการประยุกต์ใช้ทั้งอย่างง่ายและแบบซับซ้อน แต่ในที่นี้จะยกมาในรูปแบบหลักๆ ได้แก่ [4]

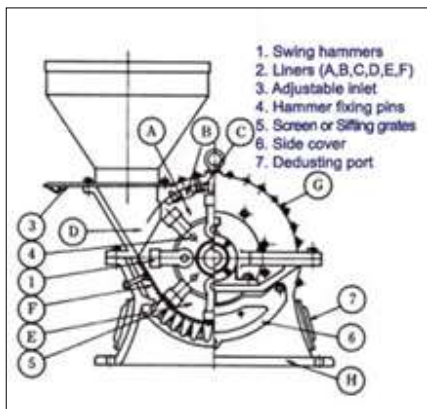
1. เครื่องมืออัดหรือบีบ (Crusher) มักจะใช้ในการลดขนาดขั้นต้นกับวัตถุชิ้นใหญ่ จึงจัดเป็นการลดขนาดแบบหยาบ
2. เครื่องบด (Grinder) มักใช้ในการลดขนาดวัตถุขนาดเล็ก จัดเป็นการลดขนาดแบบละเอียด
3. Ultra-fine grinder มักใช้ลดขนาดวัตถุในระดับที่ละเอียดมากตั้งแต่ 44 ไมครอน ลงไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นผงละเอียดในขนาดที่เล็กลง
4. เครื่องตัด (Cutting machines) มักใช้กับวัตถุขนาดใหญ่เช่นเดียวกับเครื่องอัด แต่ต่างตรงที่สามารถใช้กับวัตถุดิบที่มีความเหนียว ซึ่งไม่เหมาะต่อการบีบอัด

2.4 รายละเอียดของเครื่องมือที่ใช้ในการบดแบบค้อนเหวี่ยง (Hammer mill)

Hammer mill จะถูกใช้ในการลดขนาดต่างๆ หรือบดละเอียดวัสดุที่ต้องการหรือใช้ในการผลิตส่วนผสมของปุ๋ยหรืองานในโรงงานต่าง ๆ มากมาย [5]

Hammer mill ประกอบด้วย

1. ตะแกรงคัดขนาด (Perforate Screen)
2. อุปกรณ์สำหรับตีวัสดุเมื่อหมุน (Rotating Beater) หรือชุดของค้อน (Series of Hammers) ที่หมุน [6] ด้วยความเร็วรอบ 1500-4000 rpm. ทำการตีและคลุกเคล้าผลผลิตจนกว่าจะได้ขนาดที่เล็กลงตามความต้องการแล้วลอดผ่านตะแกรงลงสู่ส่วนล่างของตัวเครื่องสิ่งสำคัญคือขนาดรูของตะแกรง ซึ่งจะเป็นตัวบังคับขนาดโดยเฉลี่ยผลผลิตให้ได้ตามความต้องการ ถึงแม้อัตราการหมุนของ Rotor ต่อหน้าที่และอัตราการป้อนผลผลิตจะมีผลก็ตาม



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องบด Hammer mill [7]



รูปที่ 2 แสดงลักษณะค้อน (Hammer Type) [7]



รูปที่ 3 แสดงการวัดขนาดของช่องตะแกรงคัดขนาด
ละเอียด 4.40 มิลลิเมตร

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยการพัฒนาเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์ สำหรับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง อ.ท่าใหม่ จ.จันทบุรี ผู้วิจัยทำการลงพื้นที่ ณ กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิต

ปุ๋ยบ้านไทรนอง ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2563 เพื่อเก็บข้อมูลสภาพเครื่องบดละเอียดก่อนจากนั้นตรวจสอบสภาพเครื่องบดละเอียดและแล้วจึงทำการทดสอบการทำงานของเครื่องบดละเอียดและเครื่องบดละเอียดต้นแบบ พร้อมทั้งหาจุดที่ต้องทำการแก้ไขปรับปรุง หลังจากที่ได้ข้อมูลเบื้องต้นแล้วนำข้อมูลที่ได้ไปปรึกษาหารือกับอาจารย์ที่ปรึกษาด้วยการทดสอบการทำงานของเครื่องบดละเอียดเพื่อเก็บข้อมูล จากการทดสอบนั้น เมื่อป้อนมูลสัตว์เข้าเครื่องบดละเอียดเครื่องต้นแบบโดยใช้ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 4 ค่า คือ 5 กิโลกรัม 10 กิโลกรัม 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม พบว่าที่มูลสัตว์ทดสอบน้ำหนัก 20 กิโลกรัม ได้มูลสัตว์ละเอียด 16 กิโลกรัม คิดเป็น 80% และได้มูลสัตว์หยาบ 4 กิโลกรัม คิดเป็น 20 %

ทำการเก็บข้อมูลเครื่องที่จะทำการพัฒนาโดยใช้ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 4 ค่า คือ 5 กิโลกรัม 10 กิโลกรัม 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม พบว่าที่น้ำหนัก 20 กิโลกรัม ได้มูลสัตว์ละเอียด 12 กิโลกรัม คิดเป็น 60% และได้มูลสัตว์หยาบ 8 กิโลกรัม คิดเป็น 40% ส่งผลให้กระบวนการผลิตล่าช้าเนื่องจากต้องนำมูลสัตว์หยาบมาทำการบดซ้ำจนกว่าจะได้รับความละเอียดตามที่ต้องการ หลังจากการทดสอบเครื่องต้นแบบ ผู้วิจัยได้นำเสนอข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ปัญหาพร้อมกัน แล้วนำเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาเพื่อทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องบดละเอียดดังนี้

- ช่องระหว่างชุดใบมีดตีปนกับช่องห้องเครื่องมีลักษณะแคบ มีพื้นที่ในการหมุนเหวี่ยงของชุดใบมีดสำหรับตีปนน้อย ส่งผลให้การตีปนไม่มีคุณภาพ การแก้ไขคือ ทำการขยายโครงสร้างในส่วนของห้องเครื่องให้มีความกว้างมากขึ้น ทำให้การตีปนมีคุณภาพตรงตามความต้องการ

- ชุดใบมีดมีลักษณะบิดงอ ระยะของใบมีดไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดการติดขัดของใบมีดช่วงที่ชุดใบมีดหมุนเหวี่ยง การแก้ไขคือ ทำการเปลี่ยนชุดใบมีดใหม่และปรับระยะของใบมีดแต่ละใบให้มีระยะเท่ากัน มีการหมุนเหวี่ยงได้อย่างอิสระไม่ติดขัด สามารถตีปนปุ๋ยได้อย่างมีคุณภาพตรงตามความต้องการ



รูปที่ 4 แสดงการปรับปรุงชุดใบมีดตีป่นปุ๋ย [7]

- ช่องระหว่างตะแกรงรองมูลสัตว์ใต้ท้องเครื่องกับชุดใบมีดมีลักษณะแคบ ส่งผลให้มูลสัตว์ที่ได้จากการตีป่นขาออกไหลลงได้ช้า ทำให้มูลสัตว์ที่ได้จากการตีป่น ติดอยู่ที่ชุดใบมีด การแก้ไขคือ ทำการขยายโครงสร้างในส่วนช่องระหว่างตะแกรงรองปุ๋ยใต้ท้องเครื่องกับชุดใบมีดให้มีความกว้างมากขึ้น ทำให้มูลสัตว์ที่ได้จากการตีป่นไหลลงสู่ตะแกรงได้สะดวกมากขึ้น



รูปที่ 5 แสดงการปรับปรุงตระแกรงรองปุ๋ย

- ช่องป้อนมูลสัตว์เข้าเครื่องบด มีลักษณะรูกว้าง ส่งผลให้มูลสัตว์ไหลเข้าปริมาณมาก ทำให้เครื่องบดละเอียดบดไม่ทัน การแก้ไขคือปรับปรับให้ช่องป้อนมูลสัตว์มีลักษณะแคบลง



รูปที่ 6 แสดงการปรับปรุงช่องทางเข้าปุ๋ย

ตามที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการแก้ไขปรับปรุงและได้พัฒนาเครื่องบดละเอียดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงได้นำข้อมูลส่งให้อาจารย์ที่ปรึกษาทำการตรวจสอบการทำงานของเครื่อง ๆ เมื่ออาจารย์ที่ปรึกษาเห็นว่าเครื่องบดละเอียดสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องบดละเอียดก่อนการพัฒนาจึงนำส่งเครื่องให้แก่ชุมชนต่อไป ทั้งนี้ ทีมผู้วิจัยได้มีการติดตามการทำงานของเครื่องบดละเอียดเป็นระยะเพื่อพัฒนาปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบการทำงานเปรียบเทียบก่อน-หลังการปรับปรุงและพัฒนา

งานวิจัยนี้ทำการออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์ จาก การทดสอบการทำงานของเครื่องบดละเอียดเครื่องต้นแบบ โดยใช้มูลสัตว์ของโรงปุ๋ยมาทำการบดในปริมาณ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม เพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องโดยเฉลี่ย แล้วทำการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดังรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดลองเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์(ก่อนการปรับปรุงและพัฒนา)

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	14.60	3.127	1.873
2	15.20	3.015	1.985
3	12.40	3.017	1.983
เฉลี่ย	14.07	3.053	1.947

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 10 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	20.20	6.098	3.902
2	22.12	6.167	3.833
3	18.64	6.078	3.922
เฉลี่ย	20.32	6.114	3.886

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 15 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	17.42	9.620	5.380
2	16.85	10.140	4.860
3	17.04	9.240	5.760
เฉลี่ย	17.10	9.667	5.333

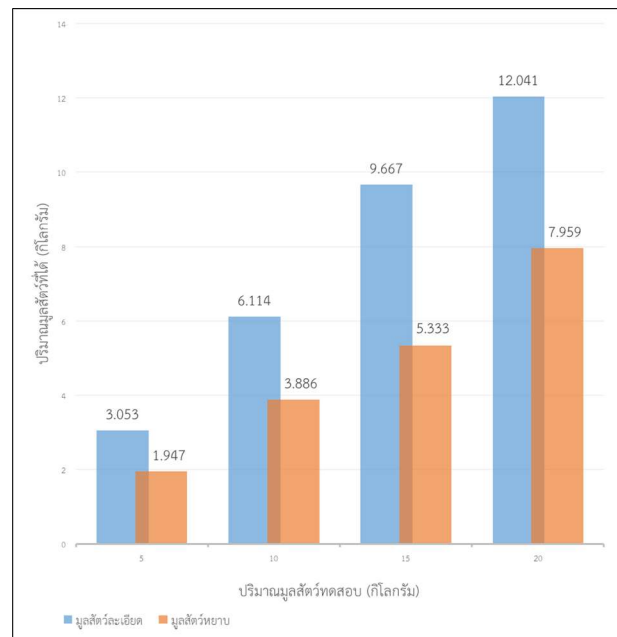
ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 20 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	16.42	12.048	7.952
2	17.56	12.021	7.979
3	16.88	12.054	7.946
เฉลี่ย	16.95	12.041	7.959

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนาปริมาณ มูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ครั้งมาแสดง

ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ (กิโลกรัม)	ก่อนการปรับปรุงพัฒนา		
	มูลสัตว์ละเอียด (กิโลกรัม)	มูลสัตว์หยาบ (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
5	3.503	1.947	14.07
10	6.114	3.886	20.32
15	9.667	5.333	17.07
20	12.041	7.959	16.59

จากตารางที่ 5 เป็นการแสดงข้อมูลการทดลองการ บดละเอียดมูลสัตว์ของเครื่องก่อนการปรับปรุงพัฒนา โดยใช้ ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม ทำการจับเวลาในการบด พบว่า การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 14.07 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 3.053 กิโลกรัมต่อ 14.07 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 1.947 กิโลกรัมต่อ 14.07 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 10 กิโลกรัม ใช้เวลา เฉลี่ย 20.32 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 6.114 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 3.886 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 15 กิโลกรัม ใช้ เวลาเฉลี่ย 17.07 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 9.667 กิโลกรัม ต่อ 17.07 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 5.333 กิโลกรัมต่อ 17.07 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 20 กิโลกรัม ใช้ เวลาเฉลี่ย 16.59 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 12.041 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 7.959 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที



รูปที่ 7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนการปรับปรุงและพัฒนา จากตารางที่ 1

4.2 การทดลองเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์(หลังการปรับปรุงและพัฒนา)

ตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	6.31	4.500	0.500
2	6.29	4.543	0.457
3	6.33	4.620	0.380
เฉลี่ย	6.31	4.554	0.446

ตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 10 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	6.31	4.500	0.500
2	6.29	4.543	0.457
3	6.33	4.620	0.380
เฉลี่ย	6.31	4.554	0.446

ตารางที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 15 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	8.34	14.147	0.853
2	8.30	13.993	1.007
3	7.98	14.156	0.844
เฉลี่ย	8.21	14.099	0.901

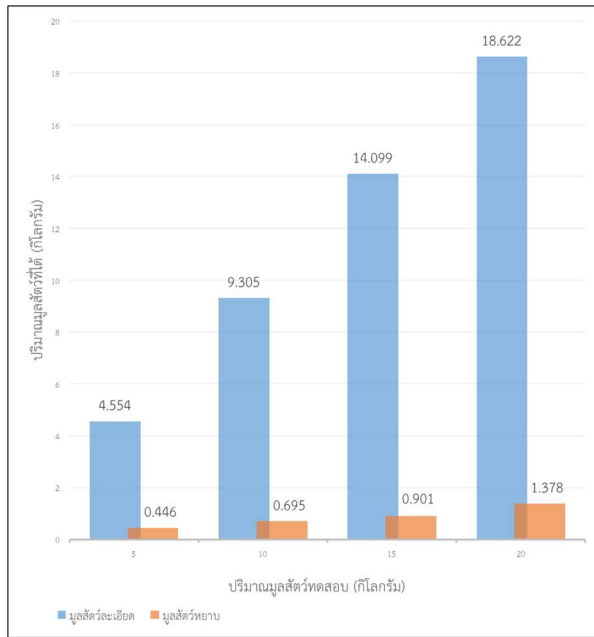
ตารางที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุงและพัฒนาและเวลาที่ใช้ในการบด ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 20 กิโลกรัม

การทดลองครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการบด (วินาที)	น้ำหนักหลังการบด (กิโลกรัม)	
		มูลสัตว์ละเอียด	มูลสัตว์หยาบ
1	9.20	18.557	1.443
2	9.33	18.648	1.352
3	9.27	18.660	1.340
เฉลี่ย	9.27	18.622	1.378

ตารางที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียดมูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุงและพัฒนาปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม โดยใช้ค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ครั้งมาแสดง

ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ (กิโลกรัม)	หลังการปรับปรุงพัฒนา		
	มูลสัตว์ละเอียด (กิโลกรัม)	มูลสัตว์หยาบ (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
5	4.554	0.446	6.31
10	9.305	0.695	13.7
15	14.099	0.901	8.21
20	18.622	1.378	9.27

จากตารางที่ 10 เป็นการแสดงข้อมูลบดละเอียดมูลสัตว์ของเครื่องหลังการปรับปรุงพัฒนา โดยใช้ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม ทำการจับเวลาในการบด พบว่า การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 6.31 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 4.554 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 0.446 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 10 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 13.70 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 9.305 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 0.695 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 15 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 8.21 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 14.099 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 0.901 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที การบดละเอียดมูลสัตว์ปริมาณ 20 กิโลกรัม ใช้เวลาเฉลี่ย 9.27 วินาที เป็นมูลสัตว์ละเอียด 18.622 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที และเป็นมูลสัตว์หยาบ 1.378 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที

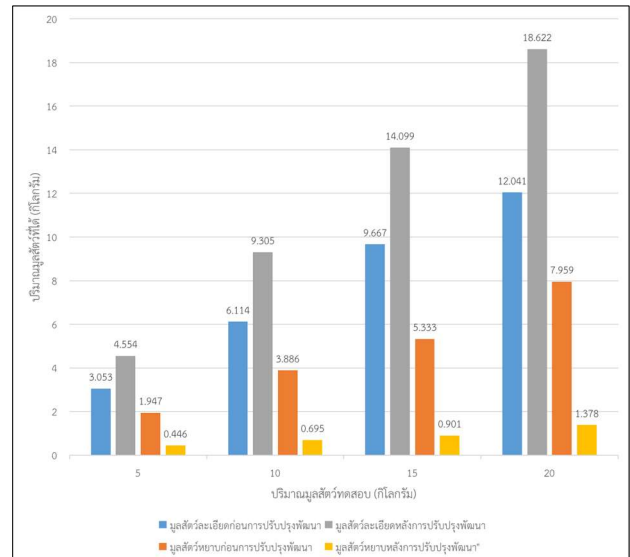


รูปที่ 8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ หลังการปรับปรุง และพัฒนาจากตารางที่ 10

4.3 เปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนา

ตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนา

ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ (กิโลกรัม)	ก่อนการปรับปรุงพัฒนา			ก่อนการปรับปรุงพัฒนา		
	มูลสัตว์ละเอียด (กิโลกรัม)	มูลสัตว์หยาบ (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)	มูลสัตว์ละเอียด (กิโลกรัม)	มูลสัตว์หยาบ (กิโลกรัม)	เวลา (วินาที)
5	3.053	1.947	14.07	4.554	0.446	6.31
10	6.114	3.886	20.32	9.305	0.695	13.7
15	9.667	5.333	17.07	14.099	0.901	8.27
20	12.041	7.959	16.59	18.622	1.378	9.27



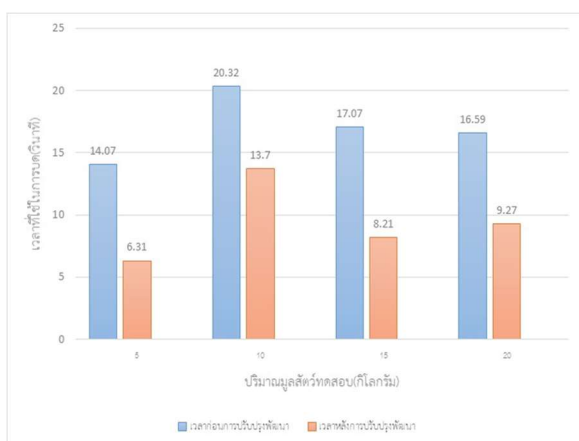
รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ที่บดได้ ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนาจากตารางที่ 11

จากการทดลองการบดละเอียดมูลสัตว์ ปริมาณ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม แล้วทำการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนา พบว่า ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 3.053 กิโลกรัมต่อ 14.7 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 4.554 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที คิดเป็น 49.16 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 1.947 กิโลกรัมต่อ 14.70 วินาที เป็น 0.446 กิโลกรัมต่อ 6.31 วินาที คิดเป็น 77.09 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 10 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 6.114 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 9.305 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที คิดเป็น 52.19 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 3.886 กิโลกรัมต่อ 20.32 วินาที เป็น 0.695 กิโลกรัมต่อ 13.70 วินาที คิดเป็น 82.12 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 15 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 9.667 กิโลกรัมต่อ 17.07 วินาที เพิ่มขึ้นเป็น 14.099 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที คิดเป็น 45.85 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 5.333 กิโลกรัมต่อ 17.07 วินาที เป็น 0.901 กิโลกรัมต่อ 8.21 วินาที คิดเป็น 83.11 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 20 กิโลกรัม มีปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้นจาก 12.041 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที

เพิ่มขึ้นเป็น 18.622 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที คิดเป็น 54.65 % และมีปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลงจาก 7.959 กิโลกรัมต่อ 16.59 วินาที เป็น 1.378 กิโลกรัมต่อ 9.27 วินาที คิดเป็น 82.69 %

4.4 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทดสอบการบด

จากตารางที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณมูลสัตว์ละเอียด-มูลสัตว์หยาบที่บดได้ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนาสามารถนำเวลาที่ใช้ในการบดมาเขียนกราฟได้



รูปที่ 9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบดมูลสัตว์ละเอียด มูลสัตว์หยาบ ก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนาจากตารางที่ 11

จากการทดลองการบดมูลสัตว์ ปริมาณ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม แล้วทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการบดมูลสัตว์ก่อน หลัง การปรับปรุงและพัฒนา พบว่า เวลาที่ใช้ก่อนการปรับปรุงพัฒนาเฉลี่ยที่ 17 วินาที เวลาที่ใช้หลังการปรับปรุงพัฒนาเฉลี่ยที่ 9 วินาที เวลาที่ใช้ก่อนการปรับปรุงพัฒนาใช้เวลามากกว่าเวลาที่ใช้หลังการปรับปรุงพัฒนา

5. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์จำนวน 3 เครื่อง ประกอบด้วย

1. เครื่องบดละเอียดที่เป็นเครื่องต้นแบบ
2. เครื่องบดละเอียดก่อนการปรับปรุงและพัฒนา
3. เครื่องบดละเอียดหลังการปรับปรุงและพัฒนา

ในการทดสอบ ผู้วิจัยเลือกใช้มูลสัตว์ของโรงปุ๋ยมาทำการบดในปริมาณ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม เงื่อนไขในการทดสอบของทั้ง 3 เครื่อง จะกำหนดให้ใช้น้ำหนักมูลสัตว์ที่เท่ากัน โดยทำการชั่งน้ำหนักมูลสัตว์ก่อนการบด ทำการจับเวลาในการบด และนำมูลสัตว์ที่ได้จากการบด ทั้งที่เป็นมูลสัตว์ละเอียดและมูลสัตว์หยาบมาทำการชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกผลการทดลอง ทำการทดสอบการบดซ้ำ 3 ครั้ง จากการทดสอบสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. จากการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องบดละเอียด ผู้วิจัยได้ดำเนินการขยายช่องเครื่องให้กว้างมากขึ้น เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการตีป่นมูลสัตว์ ทำการกลึงแก้ไขชุดใบมีดที่มีลักษณะโค้งให้เรียบและตรง เพื่อให้สามารถตีป่นได้ดีขึ้น ทำการขยายพื้นที่ตะแกรงใต้ชุดใบมีด เพื่อให้มูลสัตว์ที่ผ่านการตีป่นไหลลงได้สะดวกมากขึ้น ทำการติดตั้งล้อเลื่อนและตัวล้อคล้อเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายเครื่อง

2. การทดสอบการบดละเอียดของเครื่องหลังการปรับปรุงและพัฒนา โดยใช้ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม, 10 กิโลกรัม, 15 กิโลกรัม, และ 20 กิโลกรัม ทำการจับเวลาในการบด และนำมูลสัตว์ที่ได้จากการบดมาทำการชั่งน้ำหนักแล้วเปรียบเทียบผลการทดลอง พบว่า ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 14.07 วินาที ได้ปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้น 49.16 % และได้ปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลง 77.09 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 10 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 20.32 วินาที ได้ปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้น 52.19 % และได้ปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลง 82.12 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 15 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 17.10 วินาที ได้ปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้น 45.85 % และได้ปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลง 83.11 % ปริมาณมูลสัตว์ทดสอบ 20 กิโลกรัม ใช้เวลาในการบดเฉลี่ย 16.95 วินาที ได้ปริมาณมูลสัตว์ละเอียดเพิ่มขึ้น 54.65 % และปริมาณมูลสัตว์หยาบลดลง 82.69 %

3. จากการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องบดละเอียดมูลสัตว์แล้วทำการทดสอบการทำงานของเครื่องบดละเอียด และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานก่อนและหลังการปรับปรุงและพัฒนา พบว่าเครื่องที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือสามารถบดมูล

สัตว์ได้ละเอียดและใช้เวลาในการบดลดลงตรงตามความต้องการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยบ้านไทรนอง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Suthiwattana, D. Wongkaew, V. Udomphot, S. Chitpatanakul, K. Putthamee and S. Siricharoen. "Creating a blending process between technology and folk wisdom Integrated bio-organic fertilizer production community enterprise group at Ban Sai Nong Song Phi Nong Subdistrict, Khung Kraben Integrated Oyster Group, Khlong Khut Sub-district and Community Rice Group, Tapon Sub-District, in Chanthaburi Province" , Faculty of Industrial Technology Rambhai Bami Rajabhat University (2013) , Chanthaburi Province [Online]. (2021). [Cited November 18, 2021]. Available: <https://www.eresearch.rbru.ac.th/showthesis.php?theid=1415&depid=7> (in Thai)
- [2] P. Tiwari. Size reduction. [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <https://www.ramauniversity.ac.in/online-study-material/Pharmacy/BPharma/IIIsemester/PharmaceuticalEngineering/Lecture-2.pdf>
- [3] K. Saiinthawong. Grinding or Milling. [Online]. [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: http://www.thaiceramicsociety.com/pc_pre_grindmore.php (in Thai)
- [4] Fine powder production technology. [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: https://www.opsmoac.go.th/km-km_org_center-files-391691791802 (in Thai)
- [5] M. T. Krishna. *Conceptual design and development of shredding machine for agricultural Waste.*(2017), page 8. [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Sreenivas-H-T/publication/350037749_Conceptual_design_and_development_of_shredding_machine_for_agricultural_waste/links/604c7d3292851c2b23c5fa21/Conceptual-design-and-development-of-shredding-machine-for-agricultural-waste.pdf
- [6] C. Areechitnusorn. *Textbook of scientific instruments. Chapter 5 Centrifuge. Faculty of Medical Technology Khon Kaen University* [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <https://home.kku.ac.th/chuare/12/centrifuge.pdf> (in Thai)
- [7] Hosokawa micron corporation. Grinding Hammer mill H, Hammer Breaker HB [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <https://www.hosokawamicron.co.jp/en/machines/111>
- [8] Logistic basic. Deming Cycle PDCA (Deming Cycle). [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <https://logisticbasic.blogspot.com/> (in Thai)
- [9] Definition of PDCA. [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <https://sites.google.com/site/pumpkin2555/khwampdca> (in Thai)
- [10] D. Subso. *Teaching Documents Machine Tool Transmission System, Code 2102- 110, Unit 2 Calculation of Belt Transmission System (2013)* [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <http://www.tl.ac.th/document/damrong/1.pdf> (in Thai)
- [11] S. Temram. *Rotating a Brushless DC Motor.* [Online]. (2021) [Cited November 18, 2021]. Available: <http://www.repository.rmutt.ac.th/dspace/bitstream/123456789/2427/1/RMUTT-106550.pdf> (in Thai)

การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิต
ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุญ ตำบลง้อจาน
อำเภอโนนสุวรรณจังหวัดบุรีรัมย์

Developing Entrepreneurial Potential by Using ECRS Principles
to Reduce Production Costs of Ban Don Somboon Banana Processing
Community Enterprise Group, Dong Eichan Sub-district,
Non Suwan District, Buriram Province

อุดมพงษ์ เกศศรีพงษ์ศา* และ วิบูลย์ สำราญรัมย์
Udompong Ketsripongsa* and Wiboon Samranrum

สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

*Email: udompong.jo@bru.ac.th, udompong.jo@gmail.com

Received: March 01, 2022; Revised: April 07, 2022; Accepted: April 28, 2022

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง “การพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุญ ตำบลง้อจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์” มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตกล้วยทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุญ 2) เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยช่วยในการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้หลักการ ECRS โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ จำนวนสมาชิกในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุญ จำนวน 10 คน ผลการวิจัยพบว่า ในการใช้หลักการ ECRS ในการแก้ปัญหา ในส่วนขั้นตอนการผลิตกล้วยทอด จากเดิมมีทั้งหมด 19 ขั้นตอน หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 15 ขั้นตอน ลดลงไป 4 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 21.05 ได้แก่ การรวมงาน (C) ในส่วนเวลาการผลิตกล้วยทอดในขั้นตอนที่ 14, 15, 16 จากเดิมใช้เวลาทั้งสิ้น 774.50 นาที หลังปรับปรุงโดยทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้ลดเวลาในการทำงานลง ลดลง 4 นาที ในส่วน การปรับเปลี่ยน (R) ย้ายจุดที่นำกล้วยบ่มแล้วมาวางข้างจุดวางเตา ในขั้นตอนที่ 7 และขั้นตอนที่ 13 ในส่วนของระยะทาง จากเดิมใช้ระยะทาง 12 เมตร หลังปรับปรุงสามารถลดระยะทางลง 12 เมตร ทางคิดเป็นร้อยละ 100 และการทำให้ง่าย (S) ใช้อุปกรณ์ฝานกล้วยดิบแบบใหม่ ฝานกล้วย 1 ลูก ได้ 5 ชั้น จากเดิมฝานได้ 2 ชั้น ในขั้นตอนที่ 9 ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้ ดังนั้น เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตกล้วยทอด (10 กิโลกรัม = 1 ถูงใหญ่) ก่อนปรับปรุงประสิทธิภาพ ต้นทุนการผลิตก่อนปรับปรุง เท่ากับ 271 บาทต่อ 1 ถูง หลังปรับปรุงต้นทุนการผลิต เท่ากับ 241 บาทต่อ 1 ถูง มีต้นทุนลดลง 30 บาทต่อถูง ลดลงคิดเป็นร้อยละ 11.07

คำสำคัญ : การพัฒนาศักยภาพ, ผู้ประกอบการ, หลักการ ECRS, ลดต้นทุน

Abstract

This research entitled Developing Entrepreneurial Potential by using ECRS Principles to reduce production costs of Ban Don Somboon Banana Processing Community Enterprise Group, Dong Eichan Sub-district, Non Suwan District, Buriram Province. This research aims 1) To study and analyze problems in the banana chips production process of the Ban Don Somboon Banana Processing Community Enterprise 2) to improve the banana production process to help reduce production costs by using the ECRS principle. The samples used in this research were number of members of Ban Don Somboon Banana Processing Community Enterprise amount 10 people. The results showed that to use the ECRS principles to solve problems In the process of producing fried bananas Originally, there were 19 steps, after the improvement was reduced to 15 steps, a reduction of 4 steps, representing 21.05%, namely The Combine section (C) of work in the production time of fried bananas in steps 14, 15, and 16 from Originally, it took 774.50 minutes after the improvement, where all 3 steps can be performed consecutively, reducing the working time by 4 minutes. In The Re-arrange section (R), move the point where the bananas are ripened to be placed next to the furnace in steps 7 and 13 in the distance section. From the original distance of 12 meters, after the renovation, the distance can be reduced to 12 meters, the way is 100%, and The Simplify section (S) uses a new device to slice raw bananas, one banana can be sliced 5 layers, the former one can slice 2 layers. In the 9th step, the work time was reduced. Therefore, when calculating the cost of banana chips production (10 kg = 1 big bag) before improving efficiency. The production cost before improvement was 271 baht per 1 bag, after improvement, the production cost was 241 baht per 1 bag, the cost was reduced by 30 baht per bag, a decrease of 11.07%.

Keywords : Developing Potential, Entrepreneurial, ECRS Principles, Reduce Production Costs

1. บทนำ

การพัฒนาศักยภาพสำหรับผู้ประกอบการถือเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากในปัจจุบันมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการดำเนินงานของผู้ประกอบการ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยด้านเงินทุน ด้านแรงงาน ด้านเครื่องมือเครื่องจักร รวมถึงปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ผู้ประกอบการอยู่ได้หรือต้องปิดกิจการลง จากข้อมูล ผู้ประกอบการ SMEs ของประเทศไทย ปี 2563 ภาวะเศรษฐกิจ ธุรกิจมีความผันผวนอย่างมาก ตลอดทั้งปี เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคโควิด-19 ที่ส่งผลกระทบต่อการค้าเงินธุรกิจตั้งแต่ช่วงต้นปี 2563 ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ส่งผลทำให้ค่าดัชนีความเชื่อมั่นผู้ประกอบการ ปี 2563 เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 42.5 ซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับค่าฐาน 50 จากองค์ประกอบด้านคำสั่งซื้อ ปริมาณการผลิต การค้าและบริการ กำไร การลงทุน และ

การจ้างงาน จากมาตรการควบคุมโรคที่เข้มงวด และการจำกัดการทำกิจกรรมทางสังคมต่าง ๆ ทำให้สถานประกอบการ หลายแห่งต้องปิดกิจการชั่วคราว ส่งผลให้ธุรกิจขาดรายได้และมีสภาพคล่องต่ำ [1]

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบุรณ์ ตั้งอยู่ที่บ้านเลขที่ 191 ตำบลงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ เนื่องจากอำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นพื้นที่ที่นิยมปลูกกล้วยน้ำว้าทุกครัวเรือน ทำให้มีผลผลิตเป็นจำนวนมากและเกิดปัญหาผลผลิตล้นตลาด พ่อค้ารับซื้อราคาค่อนข้างต่ำกว่าต้นทุน บางครั้งขายไม่หมด ทางกลุ่มจึงเกิดแนวคิดที่จะแปรรูปกล้วยน้ำว้าเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม คิดหาวิธีเพื่อให้เก็บไว้ได้นานและสามารถเกิดรายได้ โดยนำกล้วยน้ำว้ามาแปรรูปเป็นกล้วยทอดกรอบที่มีรสชาติความกรอบอร่อย เรียกกล้วยแปรรูปนี้ว่า “กล้วยเบรคแตก” เป็นชื่อทางการค้า ซึ่งกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรบ้านดอนสมบุรณ์ได้

ดำเนินการมากกว่า 10 ปี รุ่งสู่รุ่นจันต่อมาประธานกลุ่มรุ่นถัดมาได้ดำเนินงานต่อมาและพัฒนาจนกลายเป็น “กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์” ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ โดยการแปรรูปเป็นกล้วยเบรคแตก จนกลายเป็นของฝากของดีประจำท้องถิ่น มูลค่ายอดขายผลิตภัณฑ์เฉลี่ยประมาณ 30,000 บาทต่อเดือน จนได้เป็นสินค้าโอท็อปชุมชน ระดับ 3 ดาว และได้รับเลขที่จดทะเบียน, เลขที่มาตรฐาน อย. นอกจากนี้ยังได้รับมาตรฐานการผลิตอาหาร Primary GMP อีกด้วย

ผลิตภัณฑ์ “กล้วยเบรคแตก” ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ได้รับรางวัลโอท็อปของจังหวัดบุรีรัมย์ ทำให้กลายเป็นสินค้าที่รู้จักในวงกว้าง ได้รับความสนใจจากหน่วยงานภาครัฐและกลุ่มแม่บ้านในพื้นที่อื่นจำนวนมากมาศึกษาดูงาน เป็นจุดแลกเปลี่ยนเรียนรู้เรื่องการแปรรูปกล้วยเบรคแตกเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม ช่วยสร้างงานสร้างอาชีพให้แก่กลุ่มผู้แปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยจำนวนมากในระยะต่อมา ผลิตภัณฑ์ “กล้วยเบรคแตก” ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ มีจุดเด่นสำคัญ คือ ไม่ใส่น้ำตาล แต่มีรสหวานของกล้วยธรรมชาติ เนื้อบางกรอบ รสหวานมัน อร่อย ขั้นตอนการผลิตไม่ยุ่งยากและจากการสัมภาษณ์สมาชิกกลุ่มพบว่า กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ทำผลิตภัณฑ์ “กล้วยเบรคแตก” มีสมาชิกกลุ่มประมาณ 10 คน เป็นกลุ่มที่มีการรวมตัวกันเพื่อนำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการสร้างอาชีพและสร้างรายได้ให้กับสมาชิกในชุมชน โดยมีนำทรัพยากรที่มีภายในชุมชนท้องถิ่นมาสร้างรายได้

ซึ่งจากที่กล่าวมานั้น จะพบว่ากลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ มีปัญหาที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานของวิสาหกิจชุมชน ได้แก่ กลุ่มต้องการพัฒนาระบบการผลิตให้รวดเร็วขึ้นโดยใช้องค์ความรู้โดยใช้หลักการ ECRS มาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสามารถแก้ไขปัญหาในระบบการผลิต ได้แก่ ช่วยลดระยะทางในการขนถ่ายสินค้า การสร้างอุปกรณ์ช่วยลดเวลาช่วยลดขั้นตอนในระบบการผลิต เช่น อุปกรณ์ฝานกล้วยเป็นแผ่นบาง ต้องการการรักษาสภาพผลผลิตให้ยืดอายุเก็บให้นานขึ้น เป็นต้น ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาให้กลุ่มมีความเข้มแข็ง พัฒนาผู้ประกอบการให้

สามารถพัฒนาระบบการผลิต ลดระยะเวลาการผลิต สามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพขึ้นด้วย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาในระบบการผลิตกล้วยทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยช่วยในการลดต้นทุนการผลิตโดยใช้หลักการ ECRS

3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1. ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย

ขอบเขตด้านกลุ่มเป้าหมาย ได้แก่ จำนวนสมาชิกร่วมพัฒนาการผลิตกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ต.ดงอีจาน อ.โนนสุวรรณ จ.บุรีรัมย์ จำนวน 10 คน

3.2 ขอบเขตด้านเนื้อหาวิจัย ได้แก่

- 1) ปรับปรุงขั้นตอนการผลิตและกระบวนการผลิตกล้วยทอดในขั้นตอนการบรรจุตั้งแต่เริ่มจนจบ การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา
- 2) เทคนิคการศึกษาการทำงาน แผนภูมิกระบวนการผลิต (FPC) และหลักการ ECRS 4 อย่าง ได้แก่ 1. กำจัด (Eliminate) 2. การรวม (Combine) 3. การปรับเปลี่ยน (Re-arrange) การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม และผังโรงงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น และ 4. การทำให้ง่าย (Simplify) มาใช้ปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการผลิตกล้วยทอด

3.3 ขอบเขตด้านเวลา

ขอบเขตด้านเวลา : เดือน เมษายน - ตุลาคม 2563

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ จำนวนสมาชิกร่วมพัฒนาการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ต.ดงอีจาน อ.โนนสุวรรณ จ.บุรีรัมย์ จำนวน 10 คน โดยใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อศึกษาข้อมูลและสัมภาษณ์พนักงานถึงกระบวนการผลิตกล้วยทอด

4.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

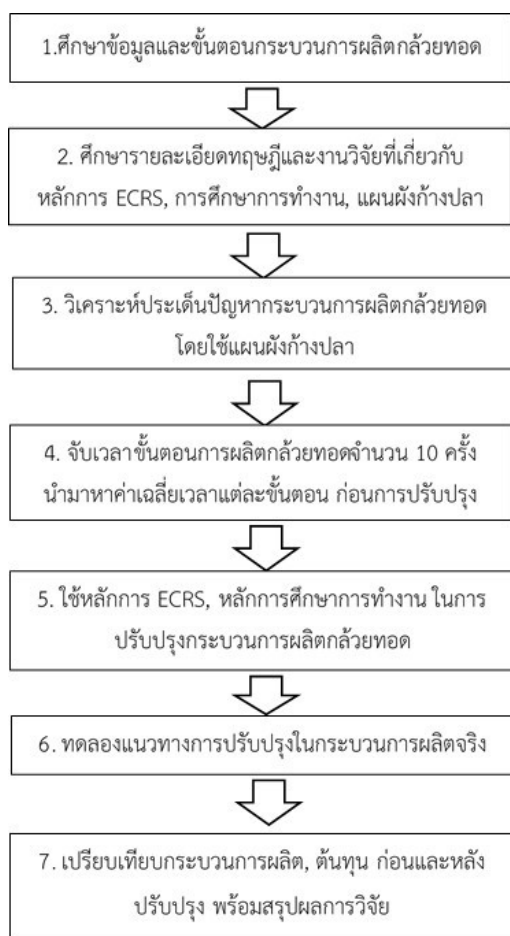
การดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

4.2.1 ศึกษาสภาพของโรงงานในปัจจุบันก่อนทำการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเน้นในเรื่องขั้นตอนกระบวนการผลิตกล้วยทอดแต่ละขั้นตอน โดยการใช้นาฬิกาจับเวลาในแต่ละขั้นตอน จับเวลาซ้ำจำนวนขั้นตอนละ 10 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย จะได้เวลาการทำงานจริงแต่ละขั้นตอน แล้วนำมาวิเคราะห์ผล

4.2.2 ศึกษาระยะเวลาและเวลาในการเคลื่อนย้ายวัสดุ โดยเก็บข้อมูลจำนวนครั้งของไหลของวัสดุที่เคลื่อนที่รูปแบบของการเคลื่อนที่อุปกรณ์การเคลื่อนย้ายวัสดุ แล้วนำมาวิเคราะห์ผล

4.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยข้างต้น โดยเริ่มจากศึกษาข้อมูลและขั้นตอนกระบวนการผลิตกล้วยทอด จากนั้นศึกษารายละเอียดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำข้อมูลมาวิเคราะห์ประเด็นปัญหากระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้แผนผังก้างปลา ทำการจับเวลาขั้นตอนการผลิตกล้วยทอดจำนวน 10 ครั้ง นำมาหาค่าเฉลี่ยเวลาแต่ละขั้นตอน ก่อนการปรับปรุง ใช้หลักการ ECRS, หลักการศึกษาการทำงาน ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอด ทดลองแนวทางการปรับปรุงในกระบวนการผลิตจริง นำไปสู่การเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เวลา และระยะเวลาในการขนส่งก่อนและหลังปรับปรุง และเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงการใช้หลักการ ECRS

4.4 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

4.3.1 แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เพื่อระดมสมองค้นหาสาเหตุหลักของปัญหาในแต่ละขั้นตอนการทำงาน

4.3.2 หลักการศึกษาการทำงาน (Work Study Principles) ได้แก่ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต FPC (Flow Process Chart) แผนผังการไหลการผลิต (Flow Diagram)

4.3.3 หลักการ ECRS (ECRS Principles)

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

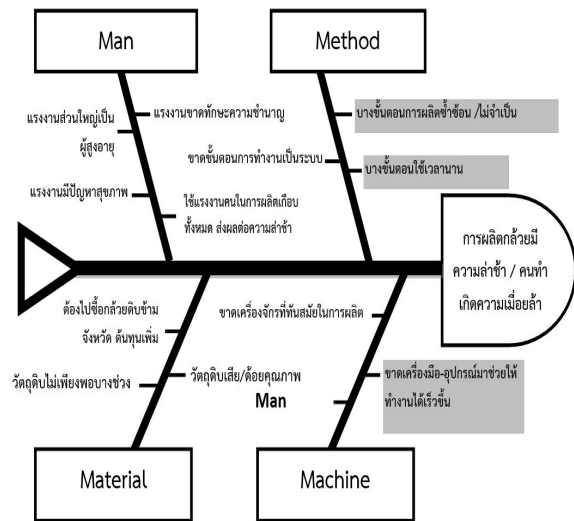
โดยแบ่งการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

4.5.1 ตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพกระบวนการผลิต เวลา และระยะเวลาในการขนส่งก่อนและหลังปรับปรุงจากการใช้หลักการ ECRS

4.5.2 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงการใช้หลักการ ECRS

5. ผลการวิจัย

5.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา



รูปที่ 2 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการผลิตกล้วยทอด มีความล่าช้า/ คนทำงานเกิดความเมื่อยล้า

จากรูปที่ 2 ผลการศึกษาข้อมูลก่อนการปรับปรุง จากสถานการณ์ที่มีกลุ่มลูกค้ามีความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการผลิตกล้วยทอดไม่ทันตามความต้องการ เกิดความล่าช้าในการส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทางคณะผู้วิจัยจึงหาแนวทางในการจัดการกับปัญหาความล่าช้านี้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกล้วยทอดของกลุ่ม โดยใช้แนวทางการปรับปรุงการทำงาน ใช้หลักการ ECRS รวมทั้งหลักการศึกษางาน จากทฤษฎีและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และมีการระดมสมองหาสาเหตุและปัญหาสำคัญที่ทำให้การผลิตกล้วยทอดมีความล่าช้า ซึ่ง สามารถเขียนแผนผังแสดงสาเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา พบว่าสาเหตุของปัญหาลำดับที่ 1 ด้านวิธีการ (Method) ปัญหาลำดับที่ 2 ด้านเครื่องมือ-อุปกรณ์ (Machine) ปัญหาลำดับที่ 3 ด้านคน (Machine) และปัญหาลำดับที่ 4 ด้านวัตถุดิบ (Material) จากปัญหาทั้ง 4 ลำดับ คณะผู้วิจัยจึงได้พิจารณาและเลือกปัญหาลำดับที่ 1 และ 2 มาแก้ปัญหาเนื่องจากส่งผลต่อกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยตรงและสามารถแก้ไขปรับปรุงได้และช่วยลดต้นทุนการผลิต ซึ่งนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้หลักการ ECRS ต่อไป

5.2 แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้หลักการ ECRS

คณะผู้วิจัยได้ใช้หลักการ ECRS มาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาและปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้หลักการ ECRS มีองค์ประกอบ 4 ตัว [2] ดังต่อไปนี้

1. กำจัด (Eliminate : E) คือ การขจัดหรือกำจัดสิ่งที่ไม่จำเป็นออกจากกระบวนการทำงานเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
 2. การรวม (Combine : C) คือ การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลาหรือแรงงาน
 3. การปรับเปลี่ยน (Re-arrange : R) การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม และผังโรงงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น
 4. การทำให้ง่าย (Simplify : S) หมายถึง ปรับปรุงวิธีการทำงาน หรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานได้ง่ายขึ้น
- ซึ่งจากแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้หลักการ ECRS ทั้ง 4 ตัว นำไปสู่การหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตกล้วยทอด ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้หลักการ ECRS (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต							
ชื่อโครงการ: การศึกษาระยะสุดท้าย		วันที่ทำการศึกษา : 23/10/2565					
คน/ชื่อ/เครื่องจักร	OPERATION	□	12	ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง	
พยานสมมติ หน่วย : 1	INSPECTION	○	2				
วิธีการทำงาน : ปัจจุบัน	DELAY	◇	2				
สถานที่: วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีสุพรรณบุรี	TRANSPORT	⇒	2				
	STORAGE	▽	1				
คนงาน : 1 คน	ระยะทาง(เมตร)		12				
	เวลา (นาที)		774.50				
ขั้นตอนการทำงาน	จำนวน (คน)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์			หมายเหตุ
1. ใช้คูปองเปิดกล้วยดิบ / 1 ลูก	1	-	1	□	□	□	
2. แยกกล้วยดิบเป็นน้ำปูนขาวเพื่อไม่ให้กล้วยดำ	1	-	0.50	□	□	□	
3. รอมลแช่กล้วยดิบในน้ำปูนขาว	1	-	20	□	□	□	
4. ตักกล้วยขึ้นจากน้ำปูนขาว	1	-	0.50	□	□	□	
5. นำเอากล้วยมาบรรจุถุงสุญญากาศ	1	-	0.50	□	□	□	
6. นำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิกล้วยแข็งให้กล้วยสุก 12-20 ชม.	1	-	720	□	□	□	
7. ยกกล้วยมายังจุดวางเตาสำหรับทอด	1	5	1	□	□	□	R
8. เตรียมกระดาษซับน้ำมันและตั้งอุณหภูมิเตาไฟ	1	-	10	□	□	□	
9. ผ่านกล้วยดิบเป็นชิ้นบาง ๆ ลงทอดในน้ำมัน	1	-	1	□	□	□	S
10. ตรวจสอบทอดกล้วยในน้ำมันจนออกเป็นสีเหลือง	1	-	8	□	□	□	
11. ตักกล้วยทอดออกมาให้สะเด็ดน้ำมัน	1	-	1	□	□	□	
12. ยกกล้วยทอดขึ้นวาง	1	-	5	□	□	□	
13. ยกกล้วยทอดเส้นไปยังจุดแช่กล้วย	1	7	2	□	□	□	R
14. บรรจุกล้วยทอดใส่ถุง	1	-	1	□	□	□	
15. ส่งพนักงานมารับของบนพาน	1	-	0.50	□	□	□	C
16. ตรวจสอบน้ำหนักกล้วยทอด	1	-	0.50	□	□	□	
17. ปิดถุงกล้วยทอด	1	-	1	□	□	□	
18. สอดตีกะละสีคุดบรรจุกล้วยทอด	1	-	0.50	□	□	□	
19. เก็บกล้วยทอดในถัง	1	-	0.50	□	□	□	

ตารางที่ 2 แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้เทคนิค ECRS

ขั้นตอนการผลิต	หลักการ ECRS	เหตุผลในการปรับปรุง/ข้อเสนอแนะ	เวลาในการทำงาน	
			ก่อน	หลัง
ขั้นตอนที่ 7. ยกกล้วยมาขึงจวดวางเตาสำหรับทอด	R การปรับเปลี่ยน (Re-arrange)	ย้ายจุดที่นำกล้วยดิบแล้มาวางข้างจวดวางเตา ทำให้อัดระยะเวลารอและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย	5 เมตร/ 1 นาที	-
ขั้นตอนที่ 9. ผ่านกล้วยดิบเป็นชั้นบาง ๆ ลงทอดในน้ำมัน	S การทำให้ง่าย (Simplify)	ใช้อุปกรณ์ผ่านกล้วยดิบแบบใหม่ ผ่านกล้วย 1 ลูก ได้ 5 ชั้น เดิมผ่านได้ 1-2 ชั้น ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้	1 นาที	0.50 นาที
ขั้นตอนที่ 13. ยกกล้วยทอดเดินไปยังจุดแพ็คเกจกล้วย	R การปรับเปลี่ยน (Re-arrange)	ย้ายจุดแพ็คเกจกล้วยทอดวางข้างจวดวางกล้วยทอดรอให้เย็นทำให้ลดระยะเวลาทางและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย	7 เมตร/ 2 นาที	-
ขั้นตอนที่ 14. บรรจุกล้วยทอดใส่ถุง	C การรวม (combine)	รวมทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้อัดเวลาในการทำงานลง	2 นาที	1 นาที

ผลจากตารางที่ 2 เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยใช้เทคนิค ECRS นำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการผลิตกล้วยทอด ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตกล้วยทอด FPC Diagram (หลังปรับปรุง)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต					
ชื่อกิจกรรม: การผลิตกล้วยทอด	วันที่ทำการศึกษา : 20/12/2563				
คน/วัสดุ/เครื่องจักร	การทำงาน	ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลด	
หมายเลขแผนภูมิ แผนที่ : 2	OPERATION ○	12	11	1	
วิธีการทำงาน : ปรับปรุง	INSPECTION □	2	1	1	
สถานที่: โรงงานศึกษาระบบปรับปรุงกล้วยทอดบนถนนบูรพา	DELAY ◇	2	2	0	
คนงาน : 1 คน	TRANSPORT ⇄	2	-	2	
	STORAGE ▽	1	1	0	
	ระยะทาง(เมตร)	12	-	12	
	เวลา (นาที)	774.50	770.50	4.00	
ขั้นตอนการทำงาน	จำนวน (คน)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์	หมายเหตุ
1.ใช้มีดปอกเปลือกกล้วยดิบต่อ 1 ลูก	1	-	2.50	○	
2.แช่กล้วยดิบในน้ำปูนขาวเพื่อไม่ให้กล้วยดำ	1	-	0.50	○	
3.รอเวลาแช่กล้วยในน้ำปูนขาว	1	-	20	○	
4.ตักกล้วยขึ้นจากน้ำปูนขาว	1	-	0.50	○	
5.นำเอากล้วยมาบรรจุลงในถุงเพื่อเก็บ	1	-	1	○	
6.นำไปต้มเพื่อปรับปรุงอุณหภูมิกล้วยเร่งให้กล้วยสุก 12-20 ชม.	1	-	1,440	○	
7.เตรียมกระดาษซับน้ำมันและตั้งอุณหภูมิเตาแก๊สให้เดือด	1	-	10	○	
8.ผ่านกล้วยดิบเป็นชั้นบาง ๆ ลงทอดในน้ำมัน	1	-	1	○	
9.ตรวจสอบทอดกล้วยดิบในน้ำมันจนออกเป็นสีเหลือง	1	-	20	○	
10.ตักกล้วยทอดออกมาให้เย็นเส็ดน้ำมัน	1	-	2	○	
11.รอกกล้วยทอดเย็นลง	1	-	30	○	
12.บรรจุกล้วยทอดใส่ถุงและขึ้นน้ำหนักพร้อมตรวจสอบน้ำหนักกล้วยทอด	1	-	1	○	
13.ซื้อถุงกล้วยทอด	1	-	1	○	
14.ลดระดับแก๊สที่ติดตั้งบรรจุกล้วยทอด	1	-	0.50	○	
15.เก็บถุงกล้วยทอดในลัง	1	-	0.50	○	
รวม			770.50	11 1 2 - 1	

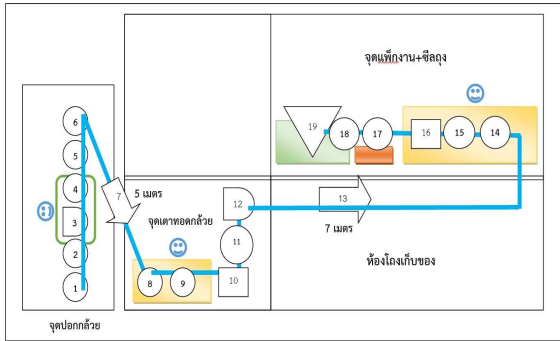
ผลจากตารางที่ 3 เป็นกระบวนการปรับปรุงการผลิตกล้วยทอดหลังปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตกล้วยทอดโดยใช้หลักการ ECRS สรุปได้ดังนี้

1. ในส่วนขั้นตอนการผลิตกล้วยทอด จากเดิมมีทั้งหมด 19 ขั้นตอน หลังปรับปรุงขั้นตอนลดลงเหลือ 15 ขั้นตอน ลดลงไป 4 ขั้นตอน ลดลงคิดเป็นร้อยละ 21.05 เนื่องจากใช้หลักการ การรวมงาน (Combine : C) ได้แก่ ขั้นตอนที่ 14 บรรจุกล้วยทอดใส่ถุง ขั้นตอนที่ 15 ชั่งน้ำหนักกล้วยทอดบนตาชั่ง และ ขั้นตอนที่ 16 ตรวจสอบน้ำหนักกล้วยทอดทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้ลดเวลาการทำงานลง
2. ในส่วนเวลาการผลิตกล้วยทอด จากเดิมใช้เวลาทั้งสิ้น 774.50 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลาลดลง 770.50 นาที ลดลง 4 นาที โดยใช้หลักการ การรวมงาน (Combine : C) ได้แก่ ขั้นตอนที่ 14 บรรจุกล้วยทอดใส่ถุง ขั้นตอนที่ 15 ชั่งน้ำหนักกล้วยทอดบนตาชั่ง และ ขั้นตอนที่ 16 ตรวจสอบน้ำหนักกล้วยทอดทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้ลดเวลาในการทำงานลง และใช้หลักการ การทำให้ง่าย (Simplify : S) ใช้อุปกรณ์ผ่านกล้วยดิบที่ออกแบบใหม่ ผ่านกล้วย 1 ลูก ได้ 5 ชั้น เดิมผ่านได้ 2 ชั้น ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้ ดังรูปที่ 3



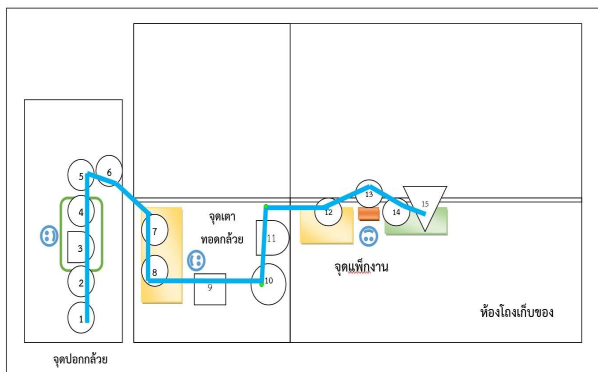
รูปที่ 3 อุปกรณ์ผ่านกล้วยดิบที่ออกแบบใหม่

3. ในส่วนของระยะทางก่อนการปรับปรุง พบว่าจากเดิมใช้ระยะทางรวม 12 เมตร คือ จากขั้นตอนที่ 6 ไป ขั้นตอนี่ 8 ใช้ระยะทาง 5 เมตร และ จากขั้นตอนที่ 12 ไป ขั้นตอนี่ 14 ใช้ระยะทาง 7 เมตร แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังการไหลการผลิตกล้วยทอด (ก่อนปรับปรุง)

และในส่วนของระยะทางหลังปรับปรุงขั้นตอน พบว่าสามารถลดระยะทางลงได้ 12 เมตร คิดเป็นร้อยละ 100 ปรับปรุงโดยใช้หลักการ การปรับเปลี่ยน (Re-arrange : R) ในขั้นตอนที่ 7 ย้ายจุดที่นำกล้วยบ่มแล้วมาวางข้างจุดวางเตา ทำให้ลดระยะเวลาทางและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย และขั้นตอนที่ 13 ย้ายจุดแพ็กกล้วยมาวางข้างจุดวางกล้วยทอดรอให้เย็นทำให้ลดระยะเวลาทางและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย ดังแสดงรายละเอียดเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังการไหลการผลิตกล้วยทอด (หลังปรับปรุง)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตกล้วยทอดก่อนและหลังปรับปรุง

กิจกรรม	ปัจจุบัน	ปรับปรุงเหลือ	ลดลง	คิดเป็น %
OPERATION	12	11	1	8.33
INSPECTION	2	1	1	50
DELAY	2	2	0	-
TRANSPORT	2	0	2	100
STORAGE	1	1	0	-
ระยะทาง (ม.)	12	0	12	100
เวลา (นาที)	774.50	770.50	4.00	

จากตารางที่ 4 สรุปโดยรวมพบว่า หลังปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการการผลิตกล้วยทอด คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาการปฏิบัติงานและใช้หลักการ ECRS มาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา และปรับปรุงการทำงานของกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [3] และจากการคำนวณต้นทุนการผลิตก่อนปรับปรุง เท่ากับ (วัตถุดิบ+ค่าแรง+ค่าใช้จ่ายในการผลิต) / จำนวนหน่วยที่ผลิตได้ พบว่า ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย คำนวณได้จาก (855+900+955) เท่ากับ 2,710 / 10 กิโลกรัม (10 กิโลกรัม เท่ากับ 1 ถุงใหญ่) ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย เท่ากับ 271 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ เดิมใช้คนทำงาน 3 คน ค่าแรงวันละ 300 บาทต่อวันต่อคน ค่าแรงรวม 900 บาทต่อวัน

และเมื่อคำนวณต้นทุนการผลิต [4] หลังปรับปรุง ได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \frac{\text{ต้นทุนวัตถุดิบ+ค่าแรงงาน+ค่าใช้จ่ายในการผลิต}}{\text{จำนวนหน่วยที่ผลิตได้}}$$

จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดสามารถลดคนได้ 1 คน เหลือคนทำงาน 2 คน ค่าแรงรวม 600 บาทต่อวัน เมื่อต้นทุนการผลิตต่อหน่วย เท่ากับ (855+600+955) เท่ากับ 2,410 / 10 กิโลกรัม (10 กิโลกรัม เท่ากับ 1 ถุงใหญ่) เท่ากับ 241 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ ดังนั้น ต้นทุนการผลิตกล้วยทอดหลังปรับปรุง ลดลง 30 บาท คิดเป็นร้อยละ 11.07

สามารถแสดงผลตารางเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงการใช้หลักการ ECRS ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงการใช้หลักการ ECRS

ประเภทต้นทุน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลงเหลือ	คิดเป็น %
ต้นทุนวัตถุดิบ	855	855	0	-
ค่าแรงงาน	900	600	300	33.33
จำนวนคนทำงาน	3	2	1	33.33
ค่าใช้จ่ายในการผลิต	955	955	0	-
จำนวนหน่วยที่ผลิตได้ (กก.)	10	10	0	-
รวมต้นทุนทั้งหมด (บาท/ถุง)	271	241	30	11.07

6. อภิปรายผล

ผลจากการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ในการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตกล้วยทอดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์โดยใช้แผนผังก้างปลาพบว่า ผลการศึกษาข้อมูลก่อนการปรับปรุง จากสถานการณ์ที่มีกลุ่มลูกค้ามีความต้องการที่เพิ่มขึ้น ทำให้กลุ่มผลิตกล้วยทอดไม่ทันตามความต้องการ เกิดความล่าช้าในการส่งสินค้าให้กับลูกค้า จากทฤษฎีและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และการระดมสมองเพื่อพิจารณาถึงสาเหตุและปัญหาสำคัญที่ทำให้การผลิตกล้วยทอดมีความล่าช้า/คนทำงานเกิดความเมื่อยล้า พบว่าสาเหตุของปัญหาลำดับที่ 1 ด้านวิธีการ (Method) ได้แก่ บางขั้นตอนการผลิตซ้ำซ้อน/ไม่จำเป็น, บางขั้นตอนใช้เวลานาน ส่วนสาเหตุของปัญหาลำดับที่ 2 ด้านเครื่องมือ-อุปกรณ์ (Machine) ได้แก่ ขาดเครื่องมือ-อุปกรณ์มาช่วยให้ทำงานได้เร็วขึ้น, ขาดเครื่องจักรที่ทันสมัยในการผลิต ปัญหาลำดับที่ 3 ด้านคน (Man) ได้แก่ ใช้แรงงานคนในการผลิตกล้วยทอดเกือบทั้งหมดทำให้เกิด

ความล่าช้า, แรงงานเป็นวัยสูงอายุ, แรงงานมีปัญหาสุขภาพ และปัญหาลำดับที่ 4 ด้านวัตถุดิบ (Material) ได้แก่ บางช่วงวัตถุดิบไม่เพียงพอบางช่วงวัตถุดิบล้นตลาด, ซ็อกกล้วยดิบมาจากจังหวัดนครราชสีมาทำให้ต้นทุนเพิ่ม จากปัญหาทั้ง 4 ลำดับ คณะผู้วิจัยจึงได้พิจารณาและเลือกปัญหาลำดับที่ 1 และ 2 มาแก้ปัญหาเนื่องจากส่งผลต่อกระบวนการผลิตกล้วยทอดโดยตรงและสามารถแก้ไขปรับปรุงได้และช่วยลดต้นทุนการผลิตลงได้

ผลจากการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 พบว่าหลังปรับปรุงกระบวนการผลิตกล้วยทอดของผู้ประกอบการโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดต้นทุนการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลคงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และสามารถลดต้นทุนการผลิตอย่างน้อยร้อยละ 10 โดยคำนวณต้นทุนการผลิตกล้วยทอดก่อนปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตกล้วยทอด สรุปได้ว่า ต้นทุนการผลิตกล้วยทอดก่อนปรับปรุง เท่ากับ 271 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ หลังปรับปรุงต้นทุนการผลิตเท่ากับ 241 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ มีต้นทุนลดลง 30 บาทต่อถุง คิดเป็นร้อยละ 11.07 ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนได้โดยใช้หลักการ ECRS ได้แก่ หลักการ การรวมงาน (C) สอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตการกัดเลนส์ขึ้นรูปค่าสายตา โดยหลักการ ECRS ถูกนำมาใช้ในการลดความสูญเสียเปล่าในการผลิต และการตั้งคำถาม 5W1H ถูกนำมาใช้เพื่อกำจัดกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่ากับการผลิตเลนส์หลังจากวางแผนการและ กำหนดขั้นตอนการทำงานมาตรฐาน ขึ้นใหม่ ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 93.6 รอบเวลาการผลิตจากเดิม 68.22 วินาทีลดลงเหลือ 55.66 วินาทีคิดเป็นร้อยละ 18.4 จำนวนงานในสายการผลิตจากเดิม 306 งานลดลงเหลือ 143 งานคิดเป็นร้อยละ 53.7 เวลาการผลิตรวมทุกขั้นตอนการผลิตจากเดิม 427.88 วินาทีลดลงเหลือ 364.5 วินาที คิดเป็นร้อยละ 14.8 เวลานาเฉลี่ยลดลงจากเดิม 6.17 ชั่วโมงเหลือ 4.59 ชั่วโมง ขั้นตอนการทำงานลดลงจากเดิม 9 ขั้นตอนเหลือ 7 ขั้นตอน จำนวนพนักงานจากเดิม 12 คนลดลงเหลือ 10 คน [5] และ สอดคล้องกับงานวิจัยการศึกษากระบวนการผลิตน้ำดื่มและหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ โดยการลดการสูญเสียเปล่าใน กระบวนการผลิตของน้ำดื่มธารทิพย์ให้มี

ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การวิเคราะห์งานตามขั้นตอนของแนวคิด แบบสิ้นการประยุกต์ใช้ หลักการ 5W1H และหลักการ ECRS เพื่อแสดงภาพรวมของกระบวนการผลิตน้ำดื่มประเภทถังน้ำดื่ม 20 ลิตร ซึ่งพบว่าขั้นตอนของการผลิตก่อนการปรับปรุงจาก 17 ขั้นตอนการทำงานหลังการปรับปรุงมีขั้นตอนการทำงาน 15 ขั้นตอน ลดลง 2 ขั้นตอนการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 11.76 ระยะทางในการเคลื่อนที่ลดลงจาก 51 เมตร เหลือ 20 เมตร ลดลง 31 เมตร คิดเป็นร้อยละ 60.79 เวลาที่ใช้ในการผลิตก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 263.24 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 169.16 วินาที ลดลง 94.08 วินาที คิดเป็นร้อยละ 35.71 [6] เช่นเดียวกับหลักการวิจัยการใช้หลักการศึกษางานมาช่วยแก้ปัญหาให้กับโรงงานการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการปรับปรุงงาน กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มใบไม้เขียว ได้แก่ การจับเวลา การใช้แผนผังก้างปลา การใช้แผนภูมิการไหล และเทคนิค ECRC [7] และสอดคล้องกับงานวิจัยการใช้หลักการศึกษางานเพื่อการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่า และเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา ได้แก่ ลดความสูญเปล่าจากความเคลื่อนไหว ลดความเฉื่อยล่า รวมถึงลดระยะทางในการเคลื่อนที่ของพนักงาน [8]

ไป 4 ขั้นตอน ทำให้ขั้นตอนการผลิตลดลงคิดเป็นร้อยละ 21.05 ปรับปรุงโดยใช้เทคนิค การรวมงาน (C) ทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้ลดเวลาในการทำงานลง และ การทำให้ง่าย (S) ใช้อุปกรณ์ผ่านกล้วยดิบบนใหม่ผ่านกล้วย 1 ลูก ได้ 5 ชั้น เดิมผ่านได้ 2 ชั้น ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้

2. ในส่วนเวลาการผลิตกล้วยทอด จากเดิมมีทั้งสิ้น 774.50 นาที หลังปรับปรุงใช้เวลาลดลง 770.50 นาที ลดลง 4 นาที คิดเป็นร้อยละ 1 ปรับปรุงโดยใช้เทคนิค การรวมงาน (C) ทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถทำต่อเนื่องกันได้ทำให้ลดเวลาในการทำงานลง และ การทำให้ง่าย (S) ใช้อุปกรณ์ผ่านกล้วยดิบบนใหม่ ผ่านกล้วย 1 ลูก ได้ 5 ชั้น เดิมผ่านได้ 2 ชั้น ทำให้ช่วยลดเวลาในการทำงานลงได้

3. ในส่วนของระยะทาง จากเดิมใช้ระยะทาง 12 เมตร หลังปรับปรุงขั้นตอนพบว่าไม่มีการใช้ระยะทางคิดเป็นร้อยละ 100 ปรับปรุงโดยใช้เทคนิค การปรับเปลี่ยน (R) ขั้นตอน ที่ 7 ย้ายจุดที่นำกล้วยบ่มแล้วมาวางข้างจุดวางเตา ทำให้ลด

สำหรับแนวทางในการพัฒนาศักยภาพสำหรับผู้ประกอบการของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ สามารถใช้หลักการ ECRC เพื่อลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากหลักการนี้สามารถแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิต ได้แก่ ช่วยลดระยะทางในการขนถ่ายสินค้า การสร้างอุปกรณ์ช่วยลดเวลา ช่วยลดขั้นตอนในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ ทางคณะผู้วิจัยได้พัฒนาศักยภาพสำหรับผู้ประกอบการโดยการถ่ายทอดองค์ความรู้ทางด้านการคิดคำนวณต้นทุนสินค้า การเพิ่มช่องทางการตลาดในรูปแบบออนไลน์ การแปรรูปผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับกลุ่ม รวมถึงการร่วมกันออกแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยทอดให้สวยงาม สะอาด สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับทางชุมชนได้เป็นอย่างดี

7. บทสรุป

7.1 สรุปผล

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตกล้วยทอดก่อนและหลังปรับปรุงสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. ในส่วนขั้นตอนการผลิตกล้วยทอด จากเดิมมีทั้งหมด 19 ขั้นตอน หลังปรับปรุงมีขั้นตอนลดลง 15 ขั้นตอน ลดลง

ระยะเวลาทางและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย และขั้นตอนที่ 13 ย้ายจุดแพ็กกล้วยมาวางข้างจุดวางกล้วยทอดรอให้เย็นทำให้ลดระยะเวลาทางและลดเวลาในการเดินและเคลื่อนย้าย ดังนั้น หลังการดำเนินโครงการนี้สามารถช่วยสามารถการพัฒนาศักยภาพผู้ประกอบการ โดยใช้หลักการ ECRC เพื่อลดต้นทุนการผลิต ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ เพื่อยกระดับผลิตภัณฑ์ชุมชนให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น และสามารถลดต้นทุนการผลิตของระดับอย่างน้อยร้อยละ 10 นั่นคือ ค่าต้นทุนการผลิตกล้วยทอด(10 กิโลกรัม = 1 ถุงใหญ่) ก่อนปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตกล้วยทอด สรุปได้ว่า ต้นทุนการผลิตกล้วยทอดก่อนปรับปรุง อยู่ที่ 271 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ หลังปรับปรุง ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 241 บาทต่อ 1 ถุงใหญ่ มีต้นทุนลดลง 30 บาทต่อถุง ลดลงคิดเป็นร้อยละ 11.07

7.2 ข้อเสนอแนะ

7.2.1 ควรมีการคิดต้นทุนเชิงลึกของกลุ่ม เพื่อให้ได้ค่าต้นทุนที่แท้จริงของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์

7.2.2 ควรมีขยายผลให้กับกลุ่มในพื้นที่อื่นเพื่อให้คนในชุมชนเกิดการพัฒนา และควรเชื่อมภาคีเครือข่ายหน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนในพื้นที่ มีความร่วมมือกันเพื่อการพัฒนาชุมชนท้องถิ่น ช่วยสร้างอาชีพและรายได้ให้กับคนในชุมชน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเจ้าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปกล้วยบ้านดอนสมบูรณ์ ตำบลดงอีจาน อำเภอโนนสุวรรณ จังหวัดบุรีรัมย์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและสถานที่ในการวิจัย ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ที่อำนวยความสะดวกเครื่องมืออุปกรณ์ในการวิจัย

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] The Office of Small and Medium Enterprises Promotion (OSMEP). (2021). *Executive Summary White Paper on MSMEs 2021*. Bangkok.
- [2] A. Muangneon, (2019). “An application of Lean technique (ECLS+IT) to efficient Book Return Process for Library and Information Center, NIDA,” Library and Information Center, NIDA, 2019 (in Thai).
- [3] N. Kriengkarakot, *Industrial Work Study*. Ubon Ratchathani: Ubon Ratchathani University. Publishing, (3rd ed.), 2013 (in Thai).
- [4] N. Tongmongkon, & et. al., “The Efficiency Improving of Banana Product Process Case Study: Banana Drying Group in Chachoengsao Province,” *Academic Journal of the Faculty of Industrial Technology : I-TECH*, Vol. 16 no.2, pp. 108-116. Jul.-Dec. 2021 (in Thai).

- [5] S. Klinmon, “Production Efficiency Improvement in Lens Surface Grinding Process,” M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Engineering, Burapha University, 2016 (in Thai).
- [6] W. Impho, and K. Poonikom, “Increasing efficiency in the production process of drinking water using lean technical: Case study of drinking water Thanhip production,” *SNRU Journal of Science and Technology*, Vol. 9 no.3, pp. 653-660. Sep.-Dec. 2017 (in Thai).
- [7] K. Poonikom, “Efficiency Improvement in Manufacturing Process by Improvement Technique Case Study: Drinking Water Bai-Pai-Keaw.” In *Proceeding of Industrial Engineering Network Conference, Chiangmai Thailand*, July. 12-15, 2017, pp.150-155 (in Thai).
- [8] K. Wajanawichakon, & et. al., “Efficiency Improvement of the Pottery Production Process to Reduce Waste and Increase the Production Quality: Case Study of HUAYWANGNONG Pottery Group, Ubonratchathani” *UBU Engineering Journal*, Vol. 9 no.2, pp. 38-46. Jul.-Dec. 2016 (in Thai)

การวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการจัดการรถรางไฟฟ้าสำหรับให้บริการ
ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร (วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์)

A comparative of Feasibility Analysis of Electric Shuttle Bus Providing
for Silpakorn University (Sanam Chandra Palace Campus)

ภัทรชนน เศรษฐฤทธิ¹, สาโรช พูลเทพ^{1*}, และ คณิต เขียววิชัย²

Patchanon Sekhararidhi¹, Saroj pullteap^{1*} and Kanit kheovichai²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

² ภาควิชาพื้นฐานทางการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

²Department of Education Foundations, Faculty of Education, Silpakorn University

*E-mail: saroj@su.ac.th

Received: January 31, 2022; Revised: May 09, 2022; Accepted: May 12, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการรถรางไฟฟ้า (EV shuttle bus) ขนาด 14 ที่นั่ง สำหรับให้บริการภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากบริษัทที่จัดจำหน่ายรถรางไฟฟ้าภายในประเทศทั้งหมด 5 บริษัท ได้แก่บริษัท A, B, C, D และ E ตามลำดับ เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินพื้นฐาน (Fundamental of economic tools) ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: BCR), ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted payback period: DPB) และค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ (Life-cycle cost: LCC) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าบริษัท B จำกัด มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดยมีค่า NPV, IRR, BCR, DPB และ LCC ผลลัพธ์เท่ากับ 265,844.42 บาท, 53.843%, 1.15 เท่า, 2.5 ปี และ 1,821,963.09 บาท ขณะที่การวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่อเพิ่มค่าโดยสารเท่ากับ 3 บาท ส่งผลให้บริษัท C จำกัด มีค่า NPV ที่มากขึ้น ทำให้โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : รถรางไฟฟ้า, เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงิน, ความเป็นไปได้ในการลงทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

Abstract

In this paper, the feasibility study of providing the 14 seats of EV shuttle bus for serving at Silpakorn University (Sanam Chandra Palace Campus) has been analyzed. The survey data from 5 national distributor companies which include A, B, C, D and E Co.Ltd. have been used as the input parameters. In addition, the fundamental of economic parameters: present value (NPV), internal rate of return (IRR), benefit-cost ratio (BCR), discounted payback period (DPB) and also life-cycle cost (LCC) have been utilized for data analysis. However, the calculation results indicated that the B Co.Ltd. is the most worthwhile investment with NPV,

IRR, BCR, DPB and LCC values of 265,844.42 baht, 53.843%, 1.15 times, 2.5 years, 1,821,963.09 baht, respectively. In terms of sensitivity analysis, when the fare increased to 3 baht, the C Co.Ltd has a higher NPV value, therefore making the project more worthwhile for investment.

Keywords : Electric shuttle bus, Economic tools, Investment feasibility, Net present value.

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ มีแนวโน้มที่บุคลากรและนักศึกษาจะเพิ่มมากขึ้นทุกปี เพื่อตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ทางวิทยาเขตฯ จึงมีนโยบายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน การใช้พลังงานทดแทน และการรักษาสิ่งแวดล้อมในมหาวิทยาลัย ทั้งนี้เพื่อก้าวเข้าสู่การจัดอันดับมหาวิทยาลัยสีเขียว (UI GreenMatrix University Ranking) อย่างไรก็ตามตั้งแต่ พ.ศ. 2557 จนถึงปัจจุบันในมหาวิทยาลัยศิลปากรมีรถรางไฟฟ้า (EV shuttle bus) ให้บริการแก่นักศึกษาและบุคลากรทั้งสิ้นจำนวน 4 คัน ขณะที่ปัจจุบันเหลือรถรางไฟฟ้าที่สามารถให้บริการได้เพียงแค่ 2 คัน ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการเมื่อเทียบกับจำนวนนักศึกษาในปัจจุบัน ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยจึงมีแนวคิดที่จะศึกษาต้นทุนรวมของการเช่า (Rental) หรือการซื้อ (Purchase) รถรางไฟฟ้าจากบริษัทผู้จัดจำหน่าย รวมถึงบริการเสริมอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความเหมาะสมและคุ้มค่าสูงสุดต่อการใช้งาน ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร นอกจากนั้นจากการรวบรวมข้อมูลพบว่า Wang *et al.* ได้ศึกษาการแนะนำระบบขนส่งด้วยรถโดยสารไฟฟ้ารูปแบบใหม่ที่ใช้เทคโนโลยีการถ่ายโอนพลังงานแบบไร้สาย เรียกว่ารถชาร์จยานพาหนะด้วยพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย (Online Electric Vehicles: OLEV) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเกี่ยวกับประโยชน์ของระบบ ETB ที่ใช้ OLEV จากมุมมองการขนส่งทางด้านพลังงาน [1] ต่อมา Kong *et al.* ได้ศึกษาถึงความต้องการพัฒนารถโดยสารสาธารณะ และวิธีการขนส่งแบบใหม่ที่เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน จึงได้มีการวิเคราะห์พฤติกรรม การเดินทางของผู้อยู่อาศัย และมีการคาดการณ์ความต้องการในการเดินทางอย่างแม่นยำ โดยพบว่าวิธีการวิเคราะห์แบบใหม่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการอื่น ๆ ในการวางแผนเส้นทางแบบไดนามิก [2] และ N. Dawcharoen *et al.* ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการพัฒนาแขนกลพ่นน้ำ

สำหรับฟาร์มกล้วยไม้ ซึ่งใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงิน โดยพบว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนและเครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินสามารถใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงินได้เป็นอย่างดี [3]

ดังนั้นบทความนี้จึงมีการรวบรวมข้อมูลจากบริษัทเอกชนภายในประเทศที่จัดจำหน่ายรถรางไฟฟ้าทั้งหมด 5 บริษัท เพื่อนำมาวิเคราะห์ศึกษาความคุ้มค่าในการจัดการรถรางไฟฟ้า รวมไปถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินพื้นฐาน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: BCR), ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted payback period: DPB) และค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ (Life-cycle cost: LCC) เพื่อหาความคุ้มค่าของการซื้อรถรางไฟฟ้าใช้ภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร โดยคาดหวังว่าเครื่องมือดังกล่าวจะสามารถช่วยในการตัดสินใจในการลงทุนในโครงการต่อไป

2. เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงิน

(Fundamental of economic tools)

เครื่องมือที่ใช้ประเมินหรือวัดความเป็นไปได้และความคุ้มค่าในการลงทุนของโครงการ โดยในบทความนี้ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net present value: NPV), อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal rate of return: IRR), อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit-cost ratio: BCR), ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (Discounted payback period: DPB) และค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ (Life-cycle cost: LCC) ตามลำดับ [4,-5, 8 - 13]

2.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโครงการแสดงถึงผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะคงเหลือเมื่อโครงการได้ดำเนินการเสร็จสิ้นตามระยะเวลาที่กำหนด [6-7] สามารถคำนวณจาก (1)

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (1)$$

โดย B_t คือ ผลตอบแทนหรือกระแสเงินสดรับเข้า

C_t คือ ต้นทุนหรือกระแสเงินสดจ่ายออก

r คือ อัตราคิดลด

t คือ งวดปีที่พิจารณา

N คือ ระยะเวลาดำเนินโครงการ

2.2 อัตราผลตอบแทนภายใน

อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) คืออัตราผลตอบแทนแท้จริงของโครงการเท่ากับอัตราคิดลด (Discount rate) หมายถึงอัตราผลตอบแทนที่โครงการจะตอบแทนให้แก่ผู้ลงทุน [6] สามารถคำนวณจาก (2)

$$\sum_{t=0}^N \frac{(B_t - C_t)}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2)$$

2.3 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (BCR) คือ อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันสุทธิของตลอดทั้งโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก [8, 13 - 16] สามารถคำนวณจาก (3)

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^N (B_t / (1+r)^t)}{\sum_{t=0}^N (C_t / (1+r)^t)} \quad (3)$$

2.4 ระยะเวลาคืนทุนคิดลด

ระยะเวลาคืนทุนคิดลด (DPB) คือเครื่องมือวิเคราะห์ระยะเวลาที่โครงการลงทุนจำเป็นต้องดำเนินการเพื่อให้ถึงจุดคุ้มทุน (Break-even point) ซึ่งกระแสเงินสดมีค่าเท่ากับ 0 [6-7] สามารถคำนวณจาก (4)

$$DPB = T + \frac{|CCF_T|}{NCF_{(T+1)}} \quad (4)$$

โดย T คือ ปีที่กระแสเงินสดมีค่าเท่ากับ 0

CCF_T คือ กระแสเงินสดในปีที่ T

$NCF_{(T+1)}$ คือ กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ $T+1$

2.5 ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ

ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ (LCC) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งทางตรงและทางอ้อมรวมถึงค่าใช้จ่ายอื่น ๆ โดยใช้ในการประเมินความเหมาะสมของโครงการ [4 - 6] สามารถคำนวณจาก (5)

$$LLC = CI + CO + CM - S \quad (5)$$

โดย LLC คือ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ

CI คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

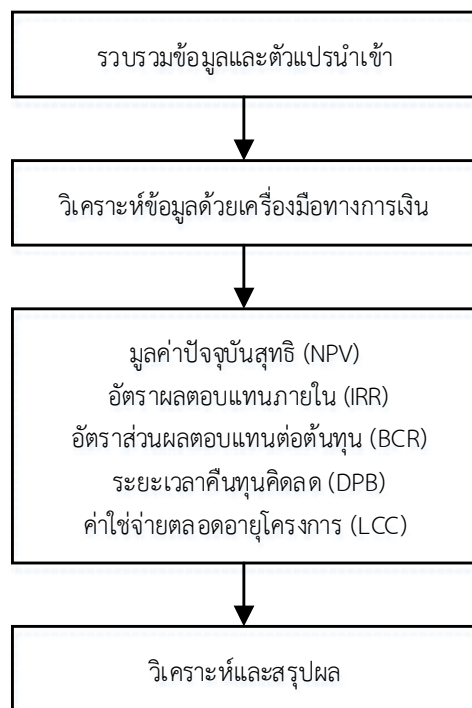
CO คือ ค่าใช้จ่ายในการใช้งานต่อปี

CM คือ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง

S คือ มูลค่าคงเหลือเมื่อสิ้นอายุ

3. วิธีการดำเนินงาน (Experimental setup)

เมื่อทราบถึงทฤษฎีและสมการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงการ ในส่วนของวิธีการดำเนินการจะเป็นการรวบรวมข้อมูลจากบริษัทที่จัดจำหน่ายรางไฟฟ้า และกำหนดขอบเขตและเงื่อนไขในการคำนวณ โดยเมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางการเงิน เพื่อให้ได้มาซึ่งผลการวิเคราะห์ทางการเงินและความอ่อนไหวของโครงการสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ผลตอบแทนโครงการ (Project return)

ผลตอบแทนโครงการจากการเรียกเก็บเงินใช้บริการรถรางไฟฟ้าของนักศึกษาและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร มีการเก็บข้อมูลโดยกำหนดให้ค่าโดยสารมีราคาเท่ากับ 2 บาทต่อคน โดยกำหนดให้รถรางไฟฟ้าให้บริการวันจันทร์ - เสาร์ โดยวันธรรมดาให้บริการในเวลา 07:30 – 18:30 น. ขณะที่วันเสาร์จะให้บริการในเวลา 08:00 – 16:00 น. ตามลำดับ ซึ่งพบว่าผลตอบแทน (Payoff) ในวันจันทร์ - ศุกร์มีค่าเท่ากับ 454,256 บาท ขณะที่ในวันเสาร์มีค่าเท่ากับ 44,352 บาท ตามลำดับ ดังนั้นใน 1 ปี หรือ 214 วัน จะมีผลตอบแทนจากค่าบริการเท่ากับ 498,608 บาทต่อปี และกำหนดให้อัตราคิดลดมีค่าเท่ากับ 6.22% ต่อปี (อ้างอิงจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ยืมมาตรฐานทั่วไป) รวมไปถึงการกำหนดอายุโครงการเท่ากับ 5 ปี

3.2 ต้นทุนแรกเริ่ม (Initial cost)

คือต้นทุนในการซื้อรถรางไฟฟ้าของแต่ละบริษัท โดยในบทความนี้ได้มีการรวบรวมข้อมูลต้นทุนจากบริษัทผู้จัดจำหน่ายมาทั้งสิ้น 5 บริษัท ได้แก่ A, B, C, D และ E

สามารถแสดงได้ในตารางที่ 1 ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลของตัวแทนจำหน่าย

ตารางที่ 1 ต้นทุนแรกเริ่มของบริษัทผู้จัดจำหน่ายรถรางไฟฟ้า

บริษัท	ต้นทุนแรกเริ่ม (บาท/คัน)
A	548,900.00
B	437,630.00
C	642,000.00
D	518,950.00
E	556,400.00

3.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operation cost)

ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสามารถแบ่งได้เป็นต้นทุนค่าแรงงานเป็นค่าแรงของพนักงานขับรถรางไฟฟ้า ทำสัญญาว่าจ้างเหมาจ่ายแก่พนักงานปีละ 120,000 บาทต่อคน และต้นทุนค่าไฟซึ่งอ้างอิงจากตารางใช้พลังงานไฟฟ้าของรถรางไฟฟ้า โดยคิดที่อัตราค่าไฟ 4 บาทต่อหน่วย ซึ่งรวมแล้วเป็นจำนวน 27,096.12 บาทต่อปี

3.4 ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance cost)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ค่าบำรุงรักษาโดยประมาณการจากการสอบถามบริษัทผู้จัดจำหน่าย ค่าแรงพนักงานซ่อมบำรุง คิดค่าแรงตามสัญญาของแต่ละบริษัท และค่าเดินทาง ซึ่งคิดตามระยะทางจริงจากมหาวิทยาลัยศิลปากรถึงสถานที่ซ่อมบำรุงตามแต่ละบริษัทกำหนด

3.5 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

เป็นการวิเคราะห์ด้วยการหาอัตราผลตอบแทนจากการลงทุนภายใต้ความไม่แน่นอนและพิจารณาในเรื่องของความเสี่ยง ซึ่งส่งผลให้โครงการลงทุนมีความเป็นไปได้จริงมากที่สุด โดย ในบทความนี้จะใช้วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลง โดยการกำหนดให้อัตราค่าโดยสารเท่ากับ 1 - 5 บาท เพื่อศึกษาความอ่อนไหวของตัวแปรนำเข้า

4. ผลการทดลอง และอภิปรายผล

(Experimental results and discussion)

ต่อมาได้มีการกล่าวถึงผลการทดลองและอภิปรายผลจะสามารถแบ่งการอภิปรายสรุปผลได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ผลการคำนวณตัวแปรต่าง ๆ ด้วยเครื่องมือทางการเงินพื้นฐาน และผลวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณด้วยเครื่องมือทางการเงินพื้นฐานของบริษัทผู้จัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า

บริษัท	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)	อัตราผลตอบแทนภายใน	อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน	ระยะเวลาคืนทุนคิดลด	ค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ (บาท)
A	159,231.79	26.948%	1.08	3 ปี 4 เดือน	1,928,575.72
B	265,844.42	53.843%	1.15	2 ปี 6 เดือน	1,821,963.09
C	-71,043.29	-1.323%	0.97	5 ปี 6 เดือน	2,158,850.81
D	124,584.03	25.141%	1.06	3 ปี 5 เดือน	1,963,223.49
E	46,195.74	12.632%	1.02	4 ปี 2 เดือน	2,041,611.78

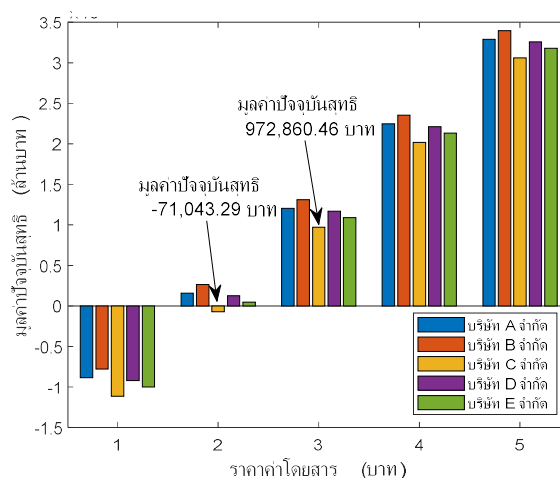
นอกจากนี้จากการวิเคราะห์โครงการของบริษัทผู้จัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า พบว่าบริษัท B จำกัด มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด พิจารณาจากเครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 265,844.42 บาท, 53.84% และ 1.15 ตามลำดับ ในขณะที่ระยะเวลาคืนทุนคิดลด และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 2 ปี 6 เดือน และ 1,821,963.09 บาท ตามลำดับ ในทางตรงกันข้ามบริษัท C จำกัด มีความน่าลงทุนที่น้อยที่สุด อันเนื่องมาจากมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ -71,043.29 บาท

4.1 ผลการคำนวณด้วยเครื่องมือทางการเงินพื้นฐาน

จากผลการวิเคราะห์บริษัทผู้จัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ A, B, C, D และ E จำกัด ซึ่งใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางการเงินพื้นฐาน สามารถแสดงผลวิเคราะห์จากตัวแปรพื้นฐานได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และพบว่ามีเพียงแค่บริษัท C จำกัด ที่ขาดทุนในระยะเวลาโครงการที่ 5 ปี

4.2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เมื่ออัตราเรียกเก็บเงินค่าโดยสารมีการเปลี่ยนแปลง กำหนดให้ค่าโดยสารเท่ากับ 1 - 5 บาท และตัวแปรอื่น ๆ คงที่ โดยสังเกตได้ว่าจากทั้ง 5 บริษัท พบว่าบริษัท C จำกัด เป็นบริษัทที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับบริษัทอื่น ๆ โดยผลการเปลี่ยนแปลงสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

จากรูปที่ 2 เมื่อมีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการพบว่าเมื่อเพิ่มค่าโดยสารจากเดิม 2 บาท เป็น 3 บาท พบว่าจากเดิม บริษัท C จำกัด มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -71,043.29 บาท ส่งผลให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 972,860.46 บาท จึงทำให้โครงการของบริษัท C จำกัด กลับมามีความน่าลงทุนอีกครั้ง และเมื่อมีการเพิ่มค่าโดยสารขึ้นอีกจนถึง 5 บาท ส่งผลให้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเพิ่ม

มากขึ้น เมื่อกลับมาพิจารณาที่บริษัท B จำกัด ที่มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด แต่เนื่องจากไม่มีความคาดหวังทางด้านกำไรในการลงทุนโครงการของบริษัท B จำกัด จึงมีการกำหนดราคาค่าโดยสารที่ 2 บาท เท่านั้น

5. สรุปผลการทดลอง (Conclusion)

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนด้วยเครื่องมือทางการเงินพื้นฐานในการจัดการรถรางไฟฟ้าเพื่อให้บริการภายในมหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ โดยได้จัดหาบริษัทผู้จัดจำหน่ายรถรางไฟฟ้าภายในประเทศมาทั้งสิ้น 5 บริษัท ที่มีข้อมูลที่ชัดเจน มีการรับประกัน รวมไปถึงบริการหลังการขาย พบว่าการจัดจำหน่ายรถรางไฟฟ้านั้นมีทั้งแบบซื้อ และขาย ซึ่งในบทความนี้จะพิจารณาเพียงแค่ว่าในกรณีซื้อเพียงอย่างเดียว โดยกำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์โครงการให้มีระยะเวลาดำเนินโครงการที่ 5 ปี และมีอัตราการคิดลดเท่ากับ 6.22% ต่อมาจึงมีการรวบรวมข้อมูลได้แก่ผลตอบแทนของโครงการ ต้นทุนแรกเริ่ม ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และค่าซ่อมบำรุง ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ว่าบริษัท B จำกัด มีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน ระยะเวลาคืนทุนคิดลด และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานมีค่าเท่ากับ 265,844.42 บาท 53.843%, 1.15, 2 ปี 6 เดือน และ 1,821,963.09 บาท ตามลำดับ และในส่วนของ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยกำหนดอัตราค่าบริการเท่ากับ 3 บาท เมื่อเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางการเงินพื้นฐาน ซึ่งมีค่าบริการมีค่าเท่ากับ 2 บาท จะสังเกตได้ว่าบริษัท C จำกัด เมื่อค่าบริการเท่ากับ 2 บาท จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ -71,043.29 บาท แต่เมื่อเพิ่มค่าบริการเป็น 3 บาท จะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 972,860.46 บาท ซึ่งส่งผลให้โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากยิ่งขึ้น และทำให้ตระหนักถึงความอ่อนไหวของค่าโดยสาร ซึ่งสามารถทำให้ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ทางการเงินเปลี่ยนไปและกลับมามีความคุ้มค่าในการลงทุนอีกครั้ง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Wang, "The development and usage of NPV and IRR and their comparison," Proceedings of the 2021 3rd International Conference on Economic Management and Cultural Industry, 2021 ,pp. 2044 – 2048.
- [2] X. Kong, M. Li, T. Tang, K. Tian, L. Moreira-Matias and F. Xia, "Shared Subway Shuttle Bus Route Planning Based on Transport Data Analytics," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, vol. 15, no. 4, pp. 1507-1520, Oct. 2018.
- [3] N. Dawcharoen, N. Pinij, S. Pullteap, "Feasibility Analysis of an Automatic Mechanical Spray Arm Development for Orchid Farm," International Journal of Applied Computer Technology and Information Systems, vol. 8, no. 1, 2018.
- [4] S. Pullteap, P. Samartkit, , K. Kheovichai, H. C. Seat, "A software development for investment analysis LED lightning production project using fuzzy logic technique," Science Engineering and Health Studies, pp. 83 – 100, 2020.
- [5] S. Pullteap, and P. Samartkit, "A design of decision making- assisted software using fuzzy logic technique: a case study of solar cell investment project," Electrical Engineering, pp. 213 – 223, 2019.
- [6] Y. J. Jang, E. S. Suh and J. W. Kim, "System Architecture and Mathematical Models of Electric Transit Bus System Utilizing Wireless Power Transfer Technology," IEEE Systems Journal, vol. 10, no. 2, pp. 495-506, June 2016.
- [7] S. Behringer, "The development of the Net Present Value (NPV) rule – Religious

- prohibitions and its evolution,” Review of Economics & Finance, vol. 6, pp. 74 – 87, 2016.*
- [8] A. Ahuja, *Managerial Economics (Analysis of Managerial Decision Making) (9th edition)*. S Chand Limited, 2017.
- [9] R. Irons, *The Fundamental Principle of Finance*, Taylor & Francis, 2019.
- [10] H. L. Ahuja, *Business Economics*, S Chand & Company Limited, 2017.
- [11] R. Parrino, T. Bates, S. L. Gillan, D. S. Kidwell, *Fundamentals of Corporate Finance*, Wiley, 2017.
- [12] M. Setiyo, E. M. Widodo, M. I. Rosyidi, Z. B. Pambuko, N. Tamaldin, “*Feasibility study on small cars as an alternative to conventional fleets due to low occupancy: case study in Indonesia*,” *Heliyon*, vol. 6, no. 1, p. 03318, 2020.
- [13] R. D. Brown III, *Business Case Analysis with R*, Apress, 2018.
- [14] A. Corelli, *Analytical Corporate Finance*, Springer International Publishing, 2018.
- [15] R. O. D. L. Poza, *Fundamentals of Financial Management*, ESIC Editorial, 2017.
- [16] D. S. Fairhurst, *Using Excel for Business and Financial Modelling*, Wiley, 2019.

การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลม โดยใส่แผ่นปีกบางครึ่งวงรี

Study of thermal performance of circular tube heat exchanger with semioval-shaped wingleet tape inserts

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹, สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์² และ สมพล สกุลหลง^{3*}

Panuwat Hoonpong¹, Supattarachai Suwannapan² and Sompol Skullong^{3*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

³กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

¹ Department of Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan,
Khonkaen Campus

³Energy System Research Group, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha,
Kasetsart University Sriracha Campus

*Email: sompol.s@ku.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

Received: April 11, 2022; Revised: May 16, 2022; Accepted: May 20, 2022

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาทดลองเกี่ยวกับคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมที่มีการสอดใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีโดยมีการให้ความร้อนที่ผิวท่อแบบสภาวะพลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ อากาศที่ไหลภายในท่อจะเป็นการไหลแบบปั่นป่วนโดยแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ (Re) ในช่วงระหว่าง 4000 ถึง 25,000 ซึ่งการทดลองมีการปรับเปลี่ยนแผ่นปีกครึ่งวงรี โดยจะมีมุมปะทะ ($\alpha = 20, 30, 45, 60$ และ 90 องศา) มีความสูงปีกเท่ากับ ($b = 20$ มิลลิเมตร), ความกว้างของปีกเท่ากับ ($W = 20$ มิลลิเมตร) และมีระยะพิงต์เท่ากับ ($P = 50$ มิลลิเมตร) ผลจากการทดลองพบว่า ท่อที่มีการใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีเอียงที่ค่า $\alpha = 90$ องศา จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันที่มากกว่าท่อผนังเรียบโดยจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด เท่ากับ 4.3 เท่า และค่าการสูญเสียความดันสูงสุด เท่ากับ 40 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบในขณะที่ท่อที่ใส่แผ่นปีกครึ่งวงรีที่ค่า $\alpha = 60$ องศา จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.48

คำสำคัญ : แผ่นปีกครึ่งวงรี, การถ่ายเทความร้อน, การสูญเสียความดัน, สมรรถนะเชิงความร้อน

Abstract

This article presents an experimental study of heat transfer and pressure loss characteristics in a uniform heat-fluxed tube heat exchanger with semioval-shaped wingleet tape inserts. The air flowing inside the tube is a turbulent flow that is presented by Reynolds numbers (Re) ranging from 4000 to 25,000. In the experiment, the semioval-shaped wingleet tape with various attack angles ($\alpha = 20, 30, 45, 60$ and 90

degrees) with a single winglet height ($b = 20$ millimeter), winglet width ($W = 20$ millimeter) and winglet pitch ($P = 50$ millimeter). The experimental result shows that the tube with a semioval-shaped winglet tape at $\alpha = 90$ degree provides a considerable increase in heat transfer and pressure loss in comparison with the smooth tube. The highest heat transfer of 4.3 times and pressure loss of 40 times over the smooth, while a tube with $\alpha = 60$ yields the maximum thermal performance is 1.48

Keywords: semioval-shape winglet tape, heat transfer, pressure loss, thermal performance

1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนของของไหลภายในท่อ มักใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท ได้แก่ กระบวนการทางวิศวกรรมเคมี การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ระบบปรับอากาศและระบบทำความเย็น โรงไฟฟ้าและหม้อน้ำสำหรับรถยนต์ โดยทั่วไปการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถแบ่งออกเป็นสองวิธีวิธีการแบบแอคทีฟ (Active Method) เป็นวิธีที่ต้องการใส่พลังงานจากภายนอกเข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน และวิธีการแบบพาสซีฟ (Passive Method) เป็นวิธีที่ไม่ต้องใส่พลังงานจากภายนอกแต่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนได้โดยการปรับปรุงอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การปรับปรุงพื้นผิวของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน การสอดใส่อุปกรณ์ต่างๆ เข้าไปในท่อ เช่น ใบปิดเกลียว [1-2], ขดลวด [3-4], ท่อรอยบุ๋มหรือร่อง [5-6], ปีกและครีบ [7-8], อย่างไรก็ตามการใส่ครีบหรือปีกเป็นหนึ่งในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากความจำเป็นในการค้นหาวิธีการลดขนาดและลดต้นทุนของระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้รับการตรวจสอบอย่างกว้างขวางทั้งในเชิงทดลองและเชิงตัวเลข

สมิทธี เอี่ยมสะอาด และคณะ [1] กล่าวว่าพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อคู่ที่ติดตั้งใบปิดเกลียวที่เว้นระยะห่างอย่างสม่ำเสมอในอัตราส่วนต่างๆ

วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง และคณะ [9] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อกลมที่มีการวางครีบบนผิว โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานในสภาวะพลั๊กซ์

ความร้อนที่ผิวคงที่ มีค่าสัดส่วนความสูงครีบท่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (e/D) เท่ากับ 0.125 มิลลิเมตร ความหนา (t) เท่ากับ 6 มิลลิเมตร ครีบที่ติดตั้งมีมุม 45 องศาและมีสัดส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 3500 ถึง 25,000 ได้ทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (f) โดยการศึกษาพบว่าการติดตั้งครีบจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ

นรินทร์ กุลนภาดล และคณะ [10] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้สภาวะพลั๊กซ์ความร้อนที่ผิวของท่อ ซึ่งมีการใส่แผ่นกั้นการไหลรูปวงแหวนหกเหลี่ยมโดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานด้วยความเร็วการไหลในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 4500 ถึง 20,000 วงแหวนหกเหลี่ยมถูกติดตั้งในลักษณะวางเอียงทำมุม (α) เท่ากับ 45° ถูกใส่ภายในท่อทดสอบด้วยอัตราการขวางการไหล (RB) ของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 และมีอัตราส่วนระยะพิตต์ (RP) ของแผ่นกั้นที่ระยะแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ผลการศึกษาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) และการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหล (f) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ของแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและที่อัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าลดลงวงแหวนหกเหลี่ยมด้านในสามารถทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ $RB = 0.1$ และ $RP = 1.0$ จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุด

ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์ และคณะ [11] ได้นำเสนอการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแผ่นปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าต่อพฤติกรรม

การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีสถานะฟลักซ์ความร้อนคงที่ การทดสอบทำการปรับเปลี่ยนมุมปะทะปีก 4 ค่า ($\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ and 90°) โดยมีสัดส่วนความสูงปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (BR=0.3) และสัดส่วนระยะพิตต์ปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR=2) คงที่ จุดประสงค์ของการติดตั้งแผ่นปีกเพื่อช่วยสร้างการไหลหมุนควงตามแนวแกนของท่อ ซึ่งส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนที่นำไปสู่การเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน การทดลองดำเนินการโดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบในช่วงการไหลปั่นป่วนที่ค่า เลขเรย์โนลด์ 4200 ถึง 25,900 การทดลองมีการเปรียบเทียบระหว่างท่อที่มีการติดตั้งแผ่นปีกและท่อเปล่าผิวเรียบ ผลการทดลองพบว่า การติดตั้งแผ่นปีกสามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 3.68 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบ ขณะที่ตัวประกอบเสียดทานมีค่าสูงถึง 27.49 เท่า แผ่นปีกที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์และความเสียดทานในเทอมของตัวประกอบเสียดทานสูงสุด แต่แผ่นปีกที่ $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.5 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำสุด

สมพล สกุลหลง และคณะ [12] ทำการศึกษาเชิงทดลองและวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลขของการติดตั้งแผ่นปีกภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพบว่าผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน การติดตั้งแผ่นปีกที่มีมุมปะทะ 30° และสัดส่วนระยะพิตต์ปีกต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (PR) เท่ากับ 1 ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.49 และมีค่าสูงกว่าอุปกรณ์สร้างการไหลปั่นป่วนชนิดใบพัดและลวดดัดอย่างมาก

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนควงตามแนวแกนชนิดปีกสามารถช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนได้เป็นอย่างดีทั้งนี้เพื่อนำผลงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอนาคต แต่อย่างไรก็ตามยังมียงานวิจัยอยู่อย่างจำกัดและมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์สร้างการไหลปั่นป่วน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดท่อกลม โดยทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครั้งวงรีที่มี

มุมปะทะปีก 5 ค่า ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อเท่ากับ ($D = 5$ เซนติเมตร) ความยาวท่อทดสอบเท่ากับ ($L = 1$ เมตร) ความสูงปีก ($b = 20$ มิลลิเมตร) ความกว้างปีก ($W = 20$ มิลลิเมตร) และระยะพิตต์ปีก ($P=1$) ตามลำดับ

2. ทฤษฎีใช้ในการวิเคราะห์

การศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมโดยทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครั้งวงรีที่มีมุมปะทะปีก 5 ค่า ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°) ซึ่งมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

สมการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)

การสมดุลพลังงานกรณีฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat-flux)

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_b) \quad (1)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2 \quad (2)$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re)

$$Re = \frac{\rho \bar{V} D}{\mu} \quad (3)$$

ค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu_D)

$$Nu_D = \frac{h \cdot D}{k} \quad (4)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f)

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho \bar{V}^2} \quad (5)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF)

$$TEF = (Nu/Nu_o)/(f/f_o)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

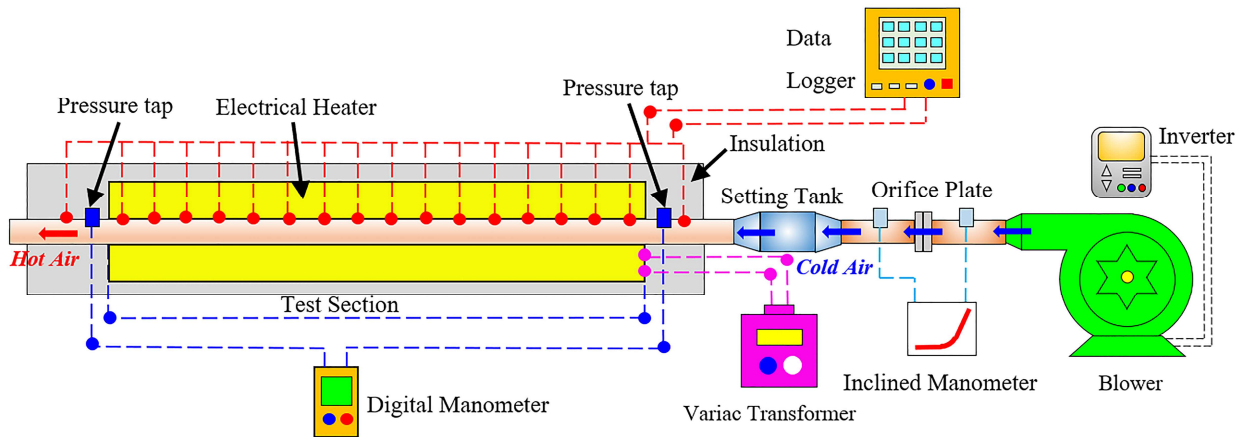
โดยที่

\dot{Q}	= อัตราการถ่ายเทความร้อน, Watt
h	= ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/m^2.k$
Q	= อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s
\dot{m}	= อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, kg/s
\bar{V}	= ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ, m/s
W	= ความกว้างของปีก, m
b	= ความสูงของปีก, m
L	= ความยาวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, m
A_s	= พื้นที่ผิวท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, m^2
D	= เส้นผ่านศูนย์กลางท่อแลกเปลี่ยนความร้อน, m
P	= ระยะพิตต์
T_b	= อุณหภูมิเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศด้านเข้า-ออก, $^{\circ}C$
T_i	= อุณหภูมิอากาศด้านทางเข้า, $^{\circ}C$
T_o	= อุณหภูมิอากาศด้านทางออก, $^{\circ}C$
T_s	= อุณหภูมิผิวเฉลี่ยด้านผนังร้อน, $^{\circ}C$
Re	= เลขเรย์โนลด์
Nu	= เลขนัสเซลท์
f	= ตัวประกอบเสียดทาน
Nu/Nu_o	= สัดส่วนเลขนัสเซลท์
f/f_o	= สัดส่วนตัวประกอบเสียดทาน
TEF	= สมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
α	= องศาที่ปีกทำมุมปะทะกับอากาศ
ρ	= ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
C_p	= ความจุความร้อนจำเพาะอากาศ, $kJ/kg.K$
k	= สัมประสิทธิ์การนำความร้อน, $W/m.K$
μ	= ความหนืดสัมบูรณ์ของอากาศ, $kg/m.s$
Pr	= เลขพรันด์เทิล

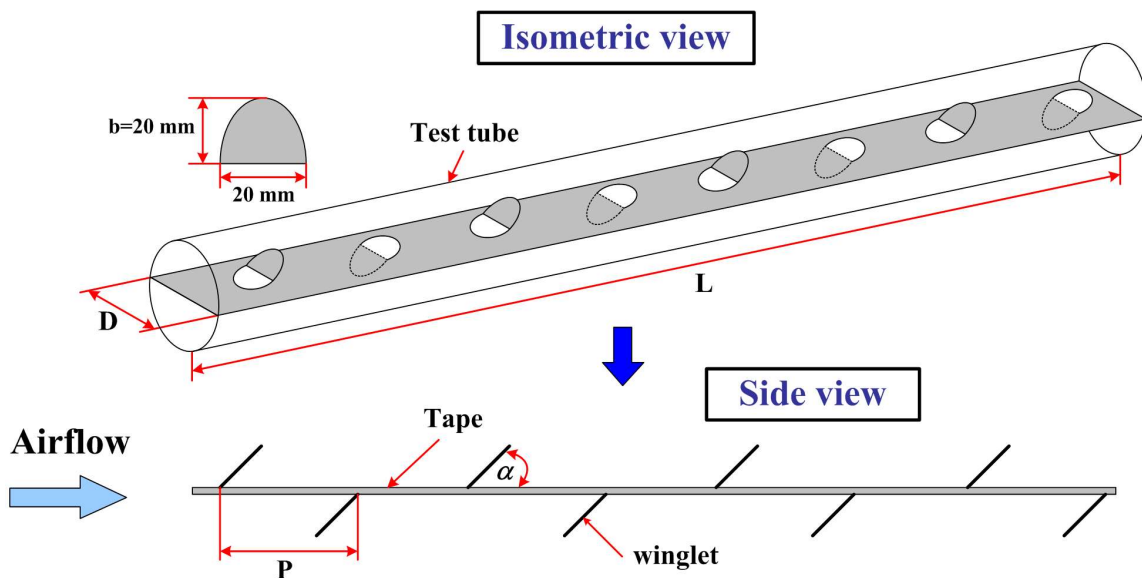
3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วยรูปที่ 1 โดยท่อกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ ($D = 5$ เซนติเมตร) ความยาวท่อทดสอบเท่ากับ ($L = 1$ เมตร) ความสูงปีก ($b = 20$

มิลลิเมตร) ความกว้างปีก ($W = 20$ มิลลิเมตร) และระยะพิตต์ปีก ($P=1$) ทำการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มีมุมปะทะปีก 5 ค่า ($\alpha = 20^{\circ}, 30^{\circ}, 45^{\circ}, 60^{\circ}$ และ 90°) ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบโดยมีอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ, ออร์ฟิสมิเตอร์ (Orifice Meter) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, มานอมิเตอร์ (Manometer) ใช้วัดความแตกต่างของความดันเพื่อใช้ในการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ (Inclined manometer), (Settling tank) มีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด, ช่องขนานของท่อจะปรับสภาพการไหลเพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็นการไหลแบบเต็มรูปแบบ (Fully Develop) และไหลเข้าส่วนทดสอบ, ท่อกลมในส่วนทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วยแผ่นทำความร้อนไฟฟ้า (Electrical Heater) ขนาด 3000 วัตต์ ติดตั้งที่บนของท่อกลมและมีเครื่องควบคุมความร้อนแผ่นทำความร้อนไฟฟ้าแบบปรับค่าโวลต์เตจ (เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับแผ่นทำความร้อนไฟฟ้า) ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่นทำความร้อนไฟฟ้าให้ได้ตามที่กำหนด, เครื่องควบคุมผล (Data Logger) เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลทั้งหมด 16 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกเชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K รวมทั้งหมด 18 ตัว เครื่องวัดความดันตกคร่อม Testo 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, โดยคอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้จาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม ซึ่งส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากฮีตเตอร์ไหลออกสู่ระบบภายนอก



รูปที่ 1 อุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนทดสอบและการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี

4. ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบท่อเปล่า

การทดลองในกรณีการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาถึงผลการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดันและสมรรถนะ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมที่ไม่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ซึ่งแสดงในเทอมของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และของ Petukhov ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน

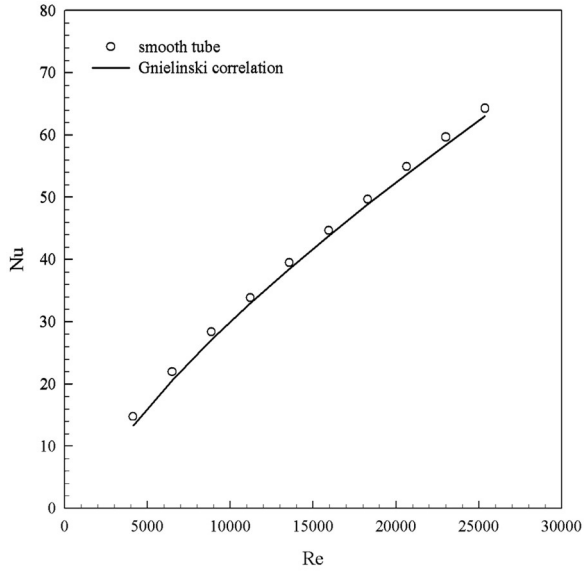
สหสัมพันธ์ของ Gnielinski สำหรับการให้ความร้อน

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-10)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (7)$$

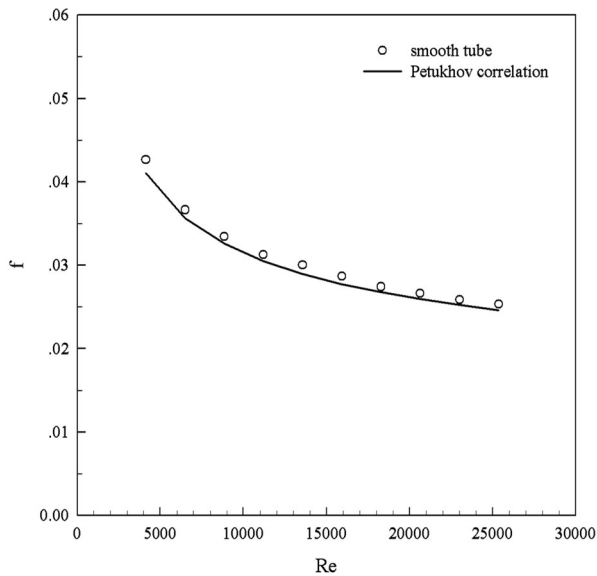
สหสัมพันธ์ของ Petukhov สำหรับค่าตัวประกอบเสียดทาน

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (8)$$

จากรูปที่ 3 และ 4 ทำการเปรียบเทียบเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้ทดลองกับสหสัมพันธ์ของสมการที่ (7) และ (8) โดยพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 8\%$ ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซิลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน



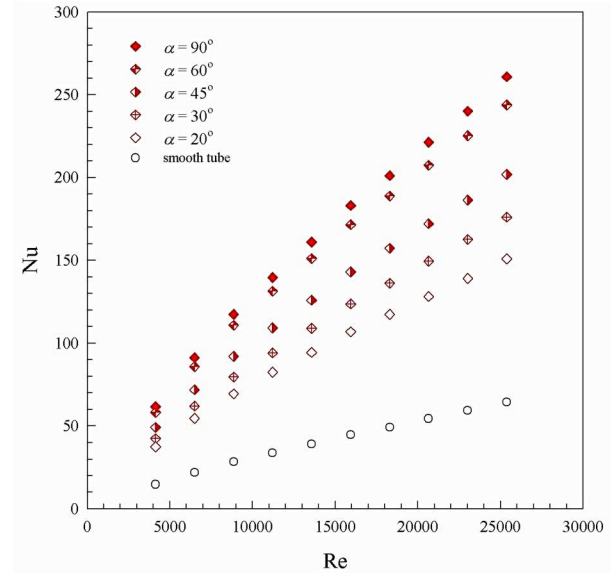
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซิลท์กับเลขเรย์โนลด์ กรณีสู่ผนังเรียบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์กรณีสู่ผนังเรียบ

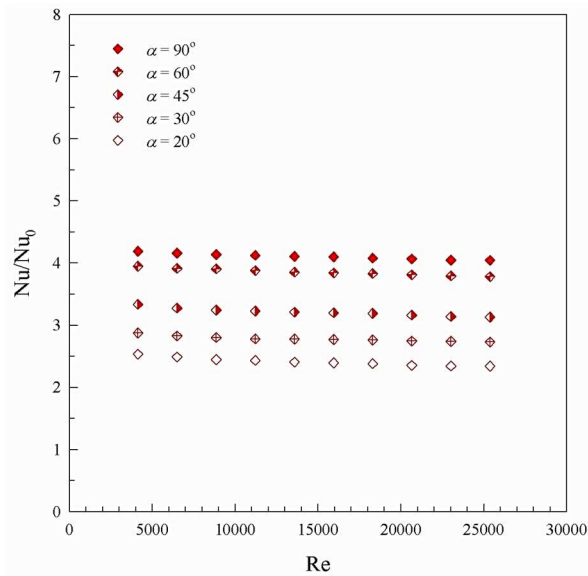
4.2 ผลการทดลองของท่อกลมที่ติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรี ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°) ที่ระยะพิตต์เท่ากับ 1 โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซิลท์

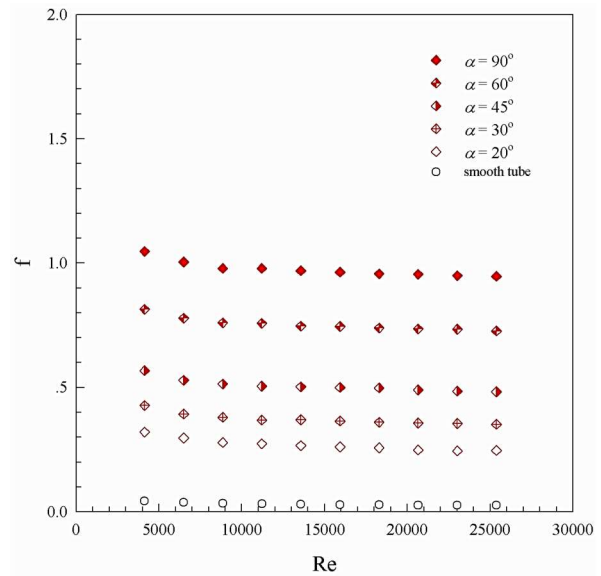
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซิลท์ที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะ ($\alpha = 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90°) พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะช่วยทำให้เพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นโดยมุมปะทะ ($\alpha = 90^\circ$) จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและจะลดลงที่มุมปะทะ $60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ และ 20° ตามลำดับ



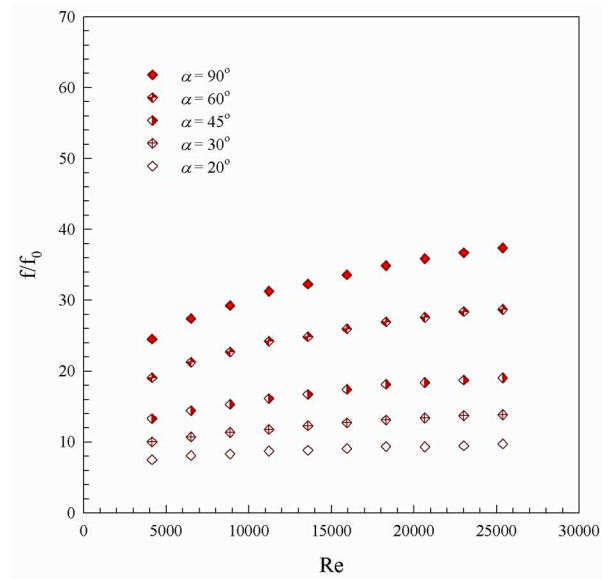
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วน
เลขนัสเซลท์

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะ 90° , 60° , 45° , 30° และ 20° เทียบกับท่อผนังเรียบพบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีจะส่งผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ดีขึ้น เนื่องจากแผ่นปีกจะไปขวางการไหลของอากาศทำให้เกิดการไหลแยกตัวและการไหลย้อนกลับไปกระแทกบริเวณผิวร้อนที่ผนังท่อแลกเปลี่ยนความร้อน โดยพบว่าแผ่นปีกมุมปะทะ 90° จะเกิดการกระจายตัวอากาศมากที่สุดซึ่งส่งผลให้มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบเท่ากับ 4.3 เท่าและจะลดลงที่มุมปะทะ 60° , 45° , 30° และ 20° เท่ากับ 4 เท่า, 3.4 เท่า, 2.8 เท่า และ 2.5 เท่า ตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทานที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุมปะทะ ($\alpha = 20^\circ$, 30° , 45° , 60° และ 90°) พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลกระทบต่อค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้น โดยการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะ ($\alpha = 90^\circ$) ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดและจะลดลงที่มุมปะทะ 60° , 45° , 30° และ 20° ตามลำดับ



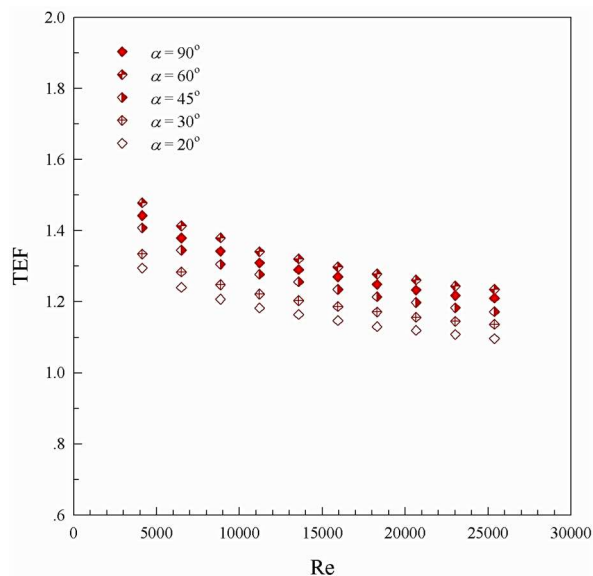
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบ
เสียดทาน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนตัว
ประกอบเสียดทาน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับท่อผนังเรียบ พบว่าเมื่อติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มุมปะทะต่างๆ จะส่งผลทำให้เกิดสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น เนื่องจากแผ่นปีกจะไปขวางการไหลโดยที่ค่ามุมปะทะ 90° จะเกิดจุดของไหลหยุดนิ่งมากที่สุดส่งผลทำให้เกิดแรงต้านสูงที่สุดและมี

ค่าสูงสุดเมื่อเทียบกับกรณีท่อผนังเรียบเท่ากับ 39.7 เท่าและจะลดลงที่มุมปะทะ 60° , 45° , 30° และ 20° เท่ากับ 27.6 เท่า, 16.3 เท่า, 11.6 เท่า และ 8.3 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มสมรรถนะความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ซึ่งเป็นข้อมูลที่คิดกำลังขับ (Pumping power) เดียวกันตามสมการ (6) โดยพบว่าสมรรถนะความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบแต่ละกรณีที่มีมุมปะทะต่างๆ พบว่าที่มุมปะทะ 60° จะให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 1.48 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดได้ว่าการใช้แผ่นปีกบางครึ่งวงรีให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนที่ดีขึ้น

5. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลการทดลองสรุปได้ว่าท่อกลมที่มีการติดตั้งแผ่นปีกบางครึ่งวงรีที่มีมุมปะทะ 90° จะให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดอันเนื่องมาจากการใส่แผ่นกั้นจะทำให้การไหลของอากาศเกิดการไหลแยกตัวและไหลย้อนกลับไปกระแทกบริเวณผิวท่อทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นแต่ในขณะเดียวกันจะส่งผลทำให้เกิดความเสียดทานในรูปของตัวประกอบเสียดทานสูง

เช่นเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานที่สมดุลพลังงานโดยมีการเปรียบเทียบที่กำลังขับปั๊มเดียวกันกับกรณีท่อผนังเรียบจะทำให้ที่มุมปะทะ 60° ดีที่สุดซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 1.48 โดยการศึกษาผลดังกล่าวสามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาอุปกรณ์แลกเปลี่ยนร้อนให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Eiamsa-ard, C. Thianpong and P. Promvonge, "Experimental investigation of heat transfer and flow friction in a circular tube fitted with regularly spaced twisted tape elements," Int. Commun. Heat Mass Transfer, Vol 33, pp. 1225–1233, Dec. 2006.
- [2] S.W. Chang, T.L. Yang and J.S. Liou, "Heat transfer and pressure drop in tube with brokentwisted tape insert," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 32, pp. 489–501, Nov. 2007.
- [3] P. Promvonge, "Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires," Energy Convers. Manage, vol. 49, pp. 980–987, May. 2008.
- [4] S. Gunes, V. Ozceyhan and O. Buyukalaca, "Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 34, pp. 684–691, Sep. 2010.
- [5] Y. Wang, Y.L. He, Y.G. Lei and J. Zhang, "Heat transfer and hydrodynamics analysis of an oval dimpled tube," Exp. Thermal Fluid Sci, Vol 34, pp. 1273–1281, Nov. 2010.
- [6] K. Bilen, M. Cetin, H. Gul and T. Balta, "The investigation of groove geometry effect on heat transfer for internally grooved tubes," Appl. Therm. Eng. Vol 29, pp. 753–761, Mar. 2009.

- [7] S. Skullong and P. Promvong, “Experimental investigation on turbulent convection insolar air heater channel fitted with delta winglet vortex generator,” *Chin. J. Chem.Eng*, vol 22, pp. 1–10, Jan. 2014.
- [8] P. Promvong, S. Skullong, S. Kwankaomeng and C. Thiangpong, “Heat transfer insquareduct fitted diagonally with angle-finned tape—Part 1: Experimental study,” *Int.Commun. Heat Mass Transfer*, vol 39, pp. 617–624, May. 2012.
- [9] W. Chingtuaythong, T. Naebnean, K. khumphunyim and P. Promvong, “Heat Transfer Enhancement in Round Tube Fitted with Triangular V-Ribs,” *Conference On Energy Network of Thailand 7th*, 3 – 5 May 2011, PP. 237 – 242 (in Thai).
- [10] N. Koolnapadol, P. Promvong, S. Chokphoemphun and W. Chingtuaythong, “Heat Transfer Enhancement in Heat Exchanger Tube in Hexagon Ring Insert,” in *Proceeding of 33rd ME-NETT 2019*, Udonthani Thailand, July. 2 – 5, 2019, pp. 214 – 223 (in Thai).
- [11] P. Hoonpong, S. Suwannapan, T. Chompookham, P. Promvong and S. Skullong, “Thermal characteristics in round tube fitted with rectangular-winglet tape,” in *Proceeding of 31rd ME-NETT 2017*, nakhonnayok Thailand, July. 4 – 7, 2017, pp. 1178 – 1186 (in Thai).
- [12] S. Skullong, P. Promvong, N. Jayranaiwachira and C. Thianpong, “Experimental and numerical heat transfer investigation in a tubular heat exchanger with delta-wing tape inserts,” *Chemical Engineering and Processing*, vol. 109, pp. 164–177, Nov. 2016.