

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุตินาฏ ตรีวิบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพันธุ์ รัตนาวะดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์
ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพิทยักษ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา

รองศาสตราจารย์ ดร.สุขปา เนตรประดิษฐ์

รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย
รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

รองศาสตราจารย์ ดร.ธนา อนันต์อาชา

รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ อ่างแก้ว

รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ผ่องรัศมี
รองศาสตราจารย์ ดร.เบญจลักษณ์ เมืองมีศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ขาวเน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียา แก้วอาษา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ ดงบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โกวิท สุวรรณหงษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจนา จันทราสา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารีนารถ รักสุนทร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนมภัทร ไตรระสะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ สวัสดิ์นะที่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ สุธะโพธิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรัญญา พหลเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิพัทธา วรรณภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เผชญิ จันทรสา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภยา ศรีโยม
ดร.นันทิยา ณ หนองคาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทคโนโลยีอีสาน

กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน), ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาวดวงเนตร สารสมบัติ

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุททองนอก เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440 www.fit.ssru.ac.th

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้การวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และรวมถึงงานวิจัยเชิงบูรณาการมุ่งเน้นการพัฒนาที่นำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างเศรษฐกิจฐานราก แก้ปัญหาภาคเกษตร ภาคอุตสาหกรรม เพื่อยกระดับ พัฒนาคุณภาพ สมรรถนะ อย่างมั่นคง มั่งคั่งและยั่งยืน เพื่อนำมาสู่การสร้างนวัตกรรมที่สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ซึ่งในแต่ละบทความได้รวบรวมองค์ความรู้จาก ผู้มีความเชี่ยวชาญในหลากหลายด้าน นักวิจัยและประชาชนทั่วไปสามารถนำความรู้จากวารสารนี้ไปต่อยอดในการสร้างนวัตกรรมใหม่และสามารถนำกระบวนการองค์ความรู้ใหม่จากบทความไปประยุกต์สร้างสรรค์และใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริงในอนาคต

วารสารฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 9 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2564) บทความวิจัยในเล่มนี้มี 7 เรื่องประกอบด้วย การวิเคราะห์การสูญเสียกำลังในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ กังหันแบบเพลตัน เชื้อนห้วยลำพันใหญ่ จังหวัดเขกอง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว, สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสำหรับกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด, การใช้เทคนิคการวัดของไหลด้วยแสงเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ที่มีต่อใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในแนวทแยง, การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และสภาพแวดล้อมการทำงานกลุ่มอาชีพทำมะพร้าวชาว จังหวัดสมุทรสงคราม, การปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวชาวจังหวัดสมุทรสงคราม, การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ เพื่อยกระดับรายได้ชุมชนตำบลคลองโยง อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม

ซึ่งเนื้อหาของบทความทั้งหมดนี้ได้เรียบเรียงจากผลการวิจัยที่เป็นนวัตกรรมใหม่มีความร่วมสมัย และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เหมาะสมสำหรับใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์นักวิชาการและผู้ที่สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับต่อไปคือฉบับที่ 1 ของปีที่ 10 (เดือนมกราคม - มิถุนายน 2565) โดยเปิดรับบทความวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี ด้านวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งวารสารมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์และนักศึกษาสามารถส่งผลงานมาพิจารณาเพื่อตีพิมพ์ วารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณาถ่วงถ่วง (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิที่มีความเชี่ยวชาญตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทามีความหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ และขอขอบคุณสมาชิกวารสารและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนร่วมทำให้วารสารวิชาการฉบับที่ 2 ประจำปี พ.ศ. 2564 สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง
บรรณาธิการ

สารบัญ

บทความวิจัย

หน้า

- การวิเคราะห์การสูญเสียกำลังในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ กังหันแบบเพลตัน
เขื่อนห้วยลำพันใหญ่ จังหวัดเซกอง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
Analysis of the loss in the hydroelectric power plant of the Pelton Turbine
Hydro-Power plant: A Case Study of Huay Lamphan Yai Dam, Sekong
Province, Lao PDR
คต นันทะวง, นิกร เห็นงาม 1-11
- สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้า
เซลล์แสงอาทิตย์
Thermal performance of concrete tile ventilator equipped with PV-
powered fan
วิทยา พวงสมบัติ, จิระศักดิ์ พุกดา, ดิษฐา นนธิวรวงศ์ 12-22
- การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านสำหรับกังหันน้ำ
พลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด
Optimization of Brushless DC Motor for Solar Water Turbine with Maximum
Power Point Tracking Circuit
พรหมพัทธ์ บุญรักษา, อีระพงษ์ บุญรักษา 23-35
- การใช้เทคนิคการวัดของไหลด้วยแสงเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์
ที่มีต่อใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในแนวทแยง
Sing Laser Doppler Velocimetry to Study the Effect of Aerodynamic Factors
for Horizontal Axis Wind Turbine Blade in Spanwise Direction
ดิณณภพ แพงผม, จิระศักดิ์ พุกดา 36-43

สารบัญ (ต่อ)

บทความวิจัย	หน้า
การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และสภาพแวดล้อมการทำงาน กลุ่มอาชีพทำมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม The ergonomic risk assessment and environmental work white coconut case study local communities Samutsongkram province อรุณ ขวัญปาน	44-57
การปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม Process Improvement of White Coconut Meat Production in Samut Songkhram Province ฤดี นิยมรัตน์, สมเกียรติ กอบัวแก้ว, ไสว ศิริทองถาวร	58-66
การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ เพื่อยกระดับรายได้ ชุมชนตำบลคลองโยง อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม The design of Orchid packaging souvenir for Klong Yong Community, Amphoe Putthamonthon, Nakhon Pathom Province to Income Improvement ปริญญ์วัฒน์ แสงอรุณ, เศรษฐกาล โปร่งนุช	67-74

การวิเคราะห์การสูญเสียกำลังในโรงไฟฟ้าพลังน้ำ กังหันแบบเพลตัน เชื้อน ห้วยลำพันใหญ่ จังหวัดเขื่อง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

คต นันทะวง^{1*}, นิกร เห็นงาม¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

E-mail: khot.ng61@ubru.ac.th

Received: October 11, 2021

Revised: December 3, 2021

Accepted: December 20, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการสูญเสียของโรงไฟฟ้าเชื้อนห้วยลำพันใหญ่ เป็นเขื่อนขนาดกลาง ตัวเขื่อนเป็นแบบยกกระตบน้ำ มีความสูงหัวน้ำ 611.86 เมตร ใช้กังหันแบบเพลตัน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด 88 เมกะวัตต์ เชื้อนดังกล่าวมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 2 ชุด การทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ละชุดพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 9.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำให้เกิดกำลังการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ สูงสุด โดยกำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.34 กำลังสูญเสียที่หัวฉีดมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.69 กำลังสูญเสียที่ใบกังหันมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.91 กำลังสูญเสียอื่น ๆ ได้แก่ การสูญเสียการกระจายในถังกังหันน้ำ การสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสูญเสียที่เพลาละหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกังหันน้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 64.11 โดยผลการทดลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีค่าเท่ากัน และการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดพร้อมกัน พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 18.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ทำให้เกิดกำลังการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ สูงสุดในทั้ง 2 ชุดพร้อมกัน กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 19.69 กำลังสูญเสียที่หัวฉีดมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.60 กำลังสูญเสียที่ใบกังหันมีค่าเท่ากับร้อยละ 16.34 และการสูญเสียอื่น ๆ ได้แก่การสูญเสียการกระจายในถังกังหันน้ำ การสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการสูญเสียที่เพลาละหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกังหันน้ำ มีค่าเท่ากับร้อยละ 61.40

คำสำคัญ : เชื้อนห้วยลำพันใหญ่, กังหันเพลตัน, โรงไฟฟ้าขนาดกลาง, กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ, กำลังสูญเสียที่หัวฉีด, กำลังสูญเสียที่ใบกังหัน

Analysis of the loss in the hydroelectric power plant of the Pelton Turbine Hydro-Power plant: A Case Study of Huay Lamphan Yai Dam, Sekong Province, Lao PDR

Khot Nonthavong^{1*}, Nikorn Henngam¹

¹Faculty of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University

E-mail: khot.ng61@ubru.ac.th

Received: October 11, 2021

Revised: December 3, 2021

Accepted: December 20, 2021

Abstract

This article was to study the power loss in the power plant system at Huay Lamphan Yai Dam. The dam was a medium-sized hydroelectric dam with the height level of 611.86 meters using the Pelton turbine and the electric generator with the maximum capacity of 88 megawatts. The dam has a total of two generators sets. For the experiment, the electric generator was started running one by one, there was found that the water flow rate at 9.00 cubic meters per second affected the maximum power loss in various parts. In addition, the experiments for the first and the second electric generator were the same results. There were shown that the power loss at the water pipe system was equal to 16.34%, the power loss at the nozzles was equal to 2.69%, the power loss at the turbine blades was equal to 16.91%, and the power other losses namely include dispersion losses in turbine tanks, Generator loss and shaft loss between generator and turbine were equal to 64.11% , Moreover, for the experiment, both electric generators were started running together. There was found that the water flow rate at 18.00 cubic meters per second affected the maximum power loss in various parts of both generators. There were shown that the power loss at the water pipe system was 19.69% , the power loss at the nozzles was 2.60%, the power loss at the turbine blades was 16.34%, and the power other losses namely include dispersion losses in turbine tanks. Generator loss and shaft loss between generator and turbine were equal to 61.40%.

Keywords : Huay Lamphan Yai Dam, Pelton Turbine, Medium-sized Hydro-power Plant, Power is losing at the water pipe system, Power is losing at the nozzle, Power is losing at the turbine blade

บทนำ

สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (สปป.ลาว) มีประชากรร้อยละ 80.00 ของประเทศอาศัยอยู่ในพื้นที่ชนบท จากพื้นที่รวมของประเทศเป็นพื้นที่ป่าร้อยละ 75.00 ที่ตั้งอยู่ในเขตเส้นศูนย์สูตร ซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมทำให้เกิดฝน และแม่น้ำไหลลงมาจากสันเขา ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้พลังงานน้ำที่มีศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำประมาณ 26,500 เมกะวัตต์ของประเทศ [1] ในปัจจุบันลาวมีเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำประกอบด้วย 1) เขื่อนที่ดำเนินการผลิตแล้ว 43 แห่ง 2) เขื่อนที่อยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้าง 54 แห่ง 3) เขื่อนที่อยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างกำหนดแล้วเสร็จภายในปี ค.ศ. 2025 จำนวน 45 แห่ง 4) เขื่อนที่อยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างกำหนดแล้วเสร็จภายในปี ค.ศ. 2030 จำนวน 66 แห่ง 5) เขื่อนที่อยู่ระหว่างการศึกษาคือความเป็นไปได้จำนวน 212 แห่ง โดยรวมลาวมีเขื่อนไฟฟ้าทั่วประเทศประมาณ 200 แห่ง ในจำนวนดังกล่าวเกือบครึ่งหนึ่งของเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำทั่วประเทศตั้งอยู่ในแขวงภาคใต้ของลาว ปัจจุบันไฟฟ้าเป็นสินค้าส่งออกและเป็นธุรกิจหลักที่สร้างรายได้สำคัญต่อประเทศจนได้ชื่อว่า “เป็นแหล่งพลังงานแห่ง อาเซียน” (Battery of ASEAN) [2]

การไฟฟ้าพลังน้ำของ สปป.ลาว เป็นหนึ่งในแหล่งรายได้ที่สำคัญที่นำเงินตราเข้าประเทศเนื่องจากภูมิประเทศเหมาะกับการทำเขื่อนไฟฟ้าพลังน้ำ เพื่อเป็นสินค้าส่งขายให้ต่างประเทศ และทั้งเก็บไว้เพื่อสนองความต้องการภายในบางส่วน [3] โรงไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ไฟฟ้าพลังน้ำเป็นที่สนใจของหลายประเทศเนื่องจากการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมเพื่อการพึ่งพาตนเองทางไฟฟ้า สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวเป็นประเทศที่มีฝนตกชุกมาก อุดมสมบูรณ์ไปด้วยแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สามารถพัฒนาโรงไฟฟ้าขนาดเล็กและโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ได้จำนวนมาก [1] ยกตัวอย่างเช่นเขื่อนห้วยลำพันใหญ่เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดกลางที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับหลายแขวงใน สปป.ลาว และกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งยังถูกส่งขายให้กับประเทศไทย เขื่อนห้วยลำพันใหญ่เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำที่อาศัยน้ำจากแหล่งธรรมชาติที่ถูกเก็บกักให้มีระดับน้ำที่สันเขื่อนทำให้มีแรงดันเพื่อใช้หมุนกังหันเพลตัน (Pelton) แล้วไปขับเคลื่อนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่บริเวณท้ายเขื่อนซึ่งต่ำกว่าบริเวณสันเขื่อน ทำให้เขื่อนห้วยลำพันใหญ่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ เขื่อนห้วยลำพันใหญ่ [4]



รูปที่ 1 เขื่อนห้วยลำพันใหญ่ [4]

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการหาค่าสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ในระบบของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำของเขื่อนห้วยลำนันใหญ่ ดังรูปที่ 1 โดยตัวเขื่อนห้วยลำนันใหญ่เป็นแบบยกระดับน้ำ มีขนาดของความสูงหัวน้ำ 611.86 เมตร กังหันเพลตันมีความเร็วรอบเท่ากับ 428.60 รอบต่อนาที และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีขนาดแรงดันเท่ากับ 11.00 กิโลโวลต์ และมีเครื่องกำเนิด 2 ชุด แต่ละชุดใช้อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 9.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังถ้าเดินเครื่องทั้ง 2 ชุดพร้อมใช้อัตราการไหลของน้ำสูงสุด 18.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งแรงดันน้ำดังกล่าวแรงดันสูงสุดของหัวฉีดน้ำในเขื่อน [4] และในช่วงปีที่ผ่านมาทีมงานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์หาค่าสูญเสียเช่น S. Vankham [1] ได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ และกำลังสูญเสียของโรงไฟฟ้าเขื่อนน้ำดง เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กในจังหวัดหลวงพระบางขนาดกำลังติดตั้ง 1000 กิโลวัตต์ โดยตัวเขื่อนเป็นแบบยกระดับน้ำ และใช้กังหันน้ำแบบเพลตันเป็นสำหรับการผลิตไฟฟ้า พบว่าเขื่อนน้ำดงมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเมื่อหัวฉีดถูกเปิดเท่ากับร้อยละ 60.00 ในส่วนของ W. Bing, N. Ioan, M. Tad, M. Yi [5] ได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำในแคนาดา โดยพิจารณาความสามารถในการผลิตไฟฟ้าความสามารถในการทำกำไร ตลอดจนผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และรวมถึงความรับผิดชอบต่อสังคมโดย และได้นำเสนอปัจจัย (ท่อส่งน้ำ หัวฉีด กังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำให้ดีขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสูญเสียในระบบ เช่น

1. กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ
2. กำลังสูญเสียที่หัวฉีด

3. กำลังสูญเสียที่ใบกังหันน้ำ

4. กำลังสูญเสียอื่น ๆ ได้แก่ การสูญเสียการกระจายในถังกังหันน้ำ การสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการสูญเสียที่เพลาระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกังหันน้ำ

ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับการศึกษา

ได้ทราบกำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ กำลังสูญเสียที่หัวฉีด กำลังสูญเสียที่กังหันน้ำโดยเฉพาะกังหันแบบแรงกระแทกหรือแรงพลัก และกำลังสูญเสียอื่น ๆ ของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษ

ระเบียบวิธีการวิจัย

1. กำลังสูญเสียทั้งหมดในระบบโรงไฟฟ้า

กำลังสูญเสียทั้งหมดในระบบโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ P_T (เมกะวัตต์) ของเขื่อนห้วยลำนันใหญ่แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) P_{pipe} คือกำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ (เมกะวัตต์)

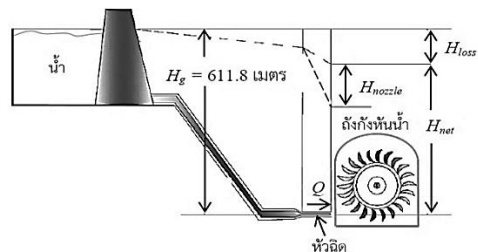
2) P_{nozzle} คือกำลังสูญเสียที่หัวฉีด (เมกะวัตต์)

3) P_{runner} คือกำลังสูญเสียที่ใบกังหันน้ำ (เมกะวัตต์)

4) P_{other} คือกำลังสูญเสียอื่น ๆ (เมกะวัตต์)

ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ [1]

$$P_T = P_{pipe} + P_{nozzle} + P_{runner} + P_{other} \quad (1)$$



รูปที่ 2 เส้นความสูงของเขื่อนห้วยลำนันใหญ่

จากรูปที่ 2 พบว่าความสูงหัวน้ำ H_g หาได้จากความแตกต่างของระดับน้ำสูงที่สุดในอ่างเก็บน้ำ

เทียบกับระดับความสูงของหัวฉีดน้ำ โดยค่า H_g ของเขื่อนห้วยลำนพินใหญ่มีค่าเท่ากับ 611.86 เมตร H_{loss} คือการสูญเสียเฮดอันเนื่องมาจากระบบท่อส่งน้ำซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลง โดยการลดลงของระดับน้ำในอ่างเกิดจากการปล่อยน้ำไหลผ่านหัวฉีดโดยอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านหัวฉีด Q (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) H_{net} คือความสูงของระดับน้ำสุทธิที่เหลือเมื่อเทียบกับระดับหัวฉีด

กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_{out} (เมกะวัตต์) เป็นค่าที่ได้จากการวัดกำลังการผลิตไฟฟ้า ส่วนกำลังของน้ำที่ให้แก่กังหัน P_{in} (เมกะวัตต์) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) [6] ดังนี้

$$P_{in} = \rho g Q H_g \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือความหนาแน่นของน้ำมีค่าเท่า 1000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง) ดังนั้นกำลังสูญเสียทั้งหมดในระบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำ P_T หาได้จากผลต่างระหว่าง P_{in} และ P_{out} ดังแสดงในสมการที่ (3) [4]

$$P_T = P_{in} - P_{out} \quad (3)$$

1.1 กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ

การหาค่ากำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ P_{pipe} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) [1] ดังนี้

$$P_{pipe} = \rho g Q H_{loss} \quad (4)$$

โดยที่ H_{loss} มีค่าดังสมการที่ (5)

$$H_{loss} = H_g - H_{net} \quad (5)$$

แทนสมการที่ (5) ลงในสมการที่ (4) จะได้ว่า

$$P_{pipe} = \rho g Q (H_g - H_{net}) \quad (6)$$

เมื่อ H_{net} มีค่าดังสมการที่ (7)

$$H_{net} = \frac{P}{\rho g} + \frac{V_{pipe}^2}{2g} \quad (7)$$

โดยที่ p คือความดันของท่อส่งน้ำที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวฉีด (บาร์) และ V_{pipe} คือความเร็วของน้ำที่ผ่านท่อที่ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน ดังแสดงในรูปที่ 2 (เมตรต่อวินาที) [1]

1.2 กำลังสูญเสียที่หัวฉีด

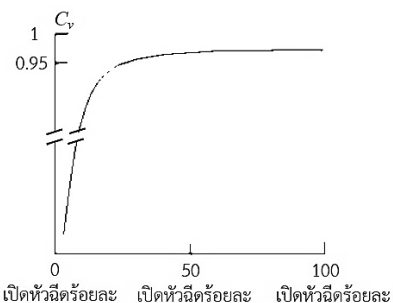
การหาค่ากำลังสูญเสียที่หัวฉีด P_{nozzle} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9) ดังนี้[1]

$$P_{nozzle} = \rho g Q H_{nozzle} \quad (8)$$

H_{nozzle} ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของความเร็วน้ำที่ออกจากหัวฉีด C_v สามารถหาค่าได้ดังแสดงในสมการที่ (9)

$$H_{nozzle} = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \left(\frac{V_{nozzle}^2}{2g} \right) \quad (9)$$

ค่าของ C_v เปลี่ยนแปลงตามความกว้างของหัวฉีดที่ถูกเปิด โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.97 ถึง 0.98 เมื่อเปิดหัวฉีดเต็มที่ [1] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงค่า C_v ตามขนาดความกว้างของหัวฉีด [1]

แทนสมการที่ (9) ลงในสมการที่ (8) จะได้ว่า

$$V_{nozzle} = \sqrt{2gH_{net}} \quad (11)$$

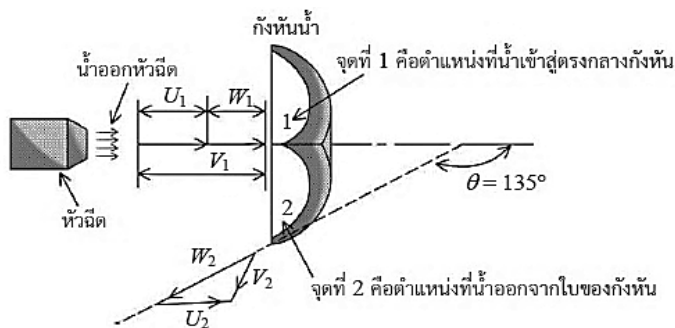
$$P_{nozzle} = \rho g Q \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \left(\frac{V_{nozzle}^2}{2g} \right) \quad (10)$$

แทนสมการที่ (11) ลงในสมการที่ (10) จะได้ว่า

$$P_{nozzle} = \rho g Q \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) H_{net} \quad (12)$$

เมื่อ V_{nozzle} คือความเร็วของน้ำที่ออกจากหัวฉีด และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

1.3 กำลังสูญเสียของกังหันน้ำ



รูปที่ 4 ทิศทางและความเร็วของน้ำขณะเข้าและออกกังหันน้ำ ของเขื่อนห้วยลำพันใหญ่ [7]

รูปที่ 4 แสดงทิศทางและความเร็วของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยที่ V_1 คือ ความเร็วน้ำที่ออกจากหัวฉีด U_1 คือ ความเร็วสัมผัสของใบของกังหัน W_1 คือ ความเร็วสัมพัทธ์ของน้ำเทียบกับใบของกังหัน เมื่อความเร็วน้ำที่ออกจากหัวฉีด V_1 มีทิศทางเข้าสู่ตรงกลางกังหันในจุดที่ 1 มีการเปลี่ยนแปลงทิศทางของน้ำออกสู่ปลายของกังหันน้ำในจุดที่ 2 โดย θ คือ มุมที่น้ำไหลออกจากใบของกังหัน มีการวัดค่ามุม θ ได้จากวัดตรงกลางของกังหันคือจุดที่ 1 และปลายของกังหันน้ำคือจุดที่ 2 กำลังสูญเสียจากกังหันน้ำ P_{runner} สามารถคำนวณค่าได้จากสมการที่ (13) [1]

$$P_{runner} = \rho Q (V_1 - U_1) (1 - k \cos \theta) U_1 \quad (13)$$

k คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของกังหันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งค่า $k \leq 1$ ในทางทฤษฎีแล้ว

เมื่อกังหันหมุนด้วยความเร็ว U_1 ซึ่งมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วน้ำที่ออกจากหัวฉีด V_1

$$U_1 = \frac{V_1}{2} \quad (14)$$

โดยที่ V_1 คือ ความเร็วของน้ำที่ออกจากหัวฉีดไหลเข้าใกล้กังหันน้ำ ดังสมการที่ (15)

$$V_1 = C_v \sqrt{2gH_{net}} \quad (15)$$

เมื่อแทนสมการที่ (14) และสมการที่ (15) ลงในสมการที่ (13) ผลลัพธ์ จะได้ว่า

$$P_{runner} = \frac{\rho Q g C_v^2 H_{net} (1 - k \cos \theta)}{2} \quad (16)$$

แทนค่า $\theta = 180^\circ$ ค่า $k = 1$ ลงในสมการที่ 16 จะทำให้กำลังที่ได้จากกังหันน้ำที่มีค่ามากที่สุด

$$P_{180^\circ} = \rho Q g C_v^2 H_{net} \quad (17)$$

ส่วนมุมของใบกังหันที่ถูกใช้ในเขื่อนห้วยลำนันใหญ่ มีค่าเท่ากับ 135° และการใช้งานจริงค่า $k = 1$ แทนค่าดังกล่าวลงในสมการที่ (16) จะได้ว่า

$$P_{135^\circ} = 0.853 \rho Q g C_v^2 H_{net} \quad (18)$$

กำลังสูญเสียของกังหันน้ำ P_{runner} หาได้จากผลต่างของ P_{180° และ P_{135° ดังสมการที่ (19)

$$P_{runner} = P_{180^\circ} - P_{135^\circ} \quad (19)$$

เมื่อแทนสมการที่ (17) ลงในสมการที่ (18) ผลลัพธ์จะได้ว่า

$$P_{runner} = 0.14 \rho Q g C_v^2 H_{net} \quad (20)$$

1.4 กำลังสูญเสียอื่น ๆ

ทำการจัดรูปจากสมการที่ (1) ใหม่ ทำให้ทราบว่าการสูญเสียอื่น ๆ P_{other} มีค่าดังสมการที่ (21)

$$P_{other} = P_T - (P_{pipe} + P_{nozzle} + P_{runner}) \quad (21)$$

เมื่อแทนสมการที่ (6) สมการที่ (12) และสมการที่ (20) ลงในสมการที่ (21) แล้วจัดรูปผลลัพธ์จะได้ว่า

$$P_{other} = \rho g Q H_{net} \left(2 - \left(\frac{1}{C_v^2} \right) + 0.14 C_v^2 \right) + P_T - \rho g Q H_g \quad (22)$$

แทนสมการที่ (2) ลงในสมการด้านบนจะได้ว่า

$$P_{other} = \rho g Q H_{net} \left(2 - \left(\frac{1}{C_v^2} \right) + 0.14 C_v^2 \right) + P_T - P_{in} \quad (23)$$

พิจารณาสมการที่ (3) รวมกับสมการที่ (24) จะได้ว่า

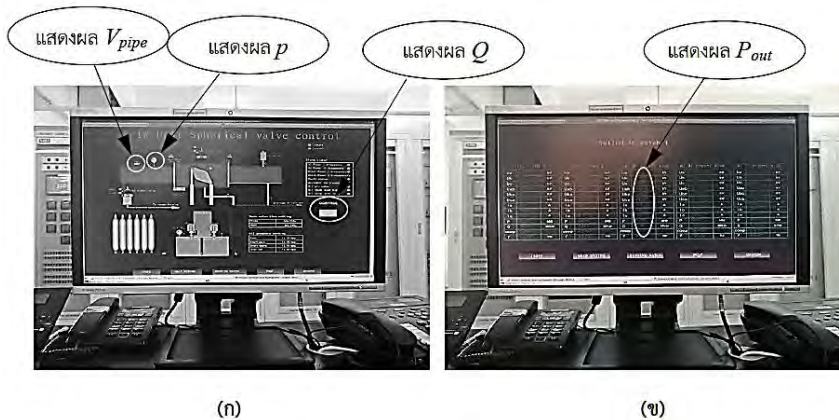
$$P_{other} = \rho g Q H_{net} \left(2 - \left(\frac{1}{C_v^2} \right) + 0.14 C_v^2 \right) - P_{out} \quad (24)$$

ซึ่งจะทำให้สามารถคำนวณหาค่าการสูญเสียอื่น ๆ ได้

2. การดำเนินการทดลอง

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำของเขื่อนห้วยลำนันใหญ่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 2 ชุด จึงได้ออกแบบการทดลองดังนี้ ในการทดลองครั้งที่ 1 ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 ได้ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ Q เริ่มจาก 1.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจนถึง 9.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในการทดลองครั้งที่ 2 ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 2 ได้ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ Q เริ่มจาก 1.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจนถึง 9.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนการทดลองครั้งที่ 3 ทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดพร้อม ทำการปรับอัตราการไหลของน้ำ Q เริ่มจากขนาด 2.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจนถึง 18.00 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

การทดลองทั้ง 3 การทดลองสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำ Q ด้วยเครื่องควบคุม และยังสามารถวัดค่าได้คือความดันของท่อส่งน้ำที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวฉีด p ความเร็วของน้ำที่ผ่านท่อที่ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน V_{pipe} ดังรูปที่ 5(ก) และค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า P_{out} ดังรูปที่ 5(ข)



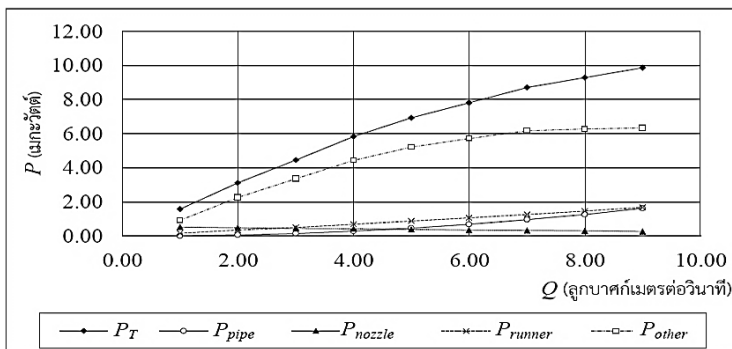
รูปที่ 5 เครื่องวัดแบบดิจิตอล (ก) เครื่องควบคุมอัตราการไหลของน้ำ (ข) เครื่องควบคุมกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [4]

รูปที่ 5 คือเครื่องควบคุมและเครื่องวัดแบบดิจิตอลที่มีอยู่ในโรงไฟฟ้า สามารถวัดค่าต่าง ๆ ในระบบ เช่น กำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ความดันของท่อส่งน้ำ อัตราการไหลน้ำในท่อส่ง ความเร็วของน้ำที่ผ่านท่อ และอื่น ๆ

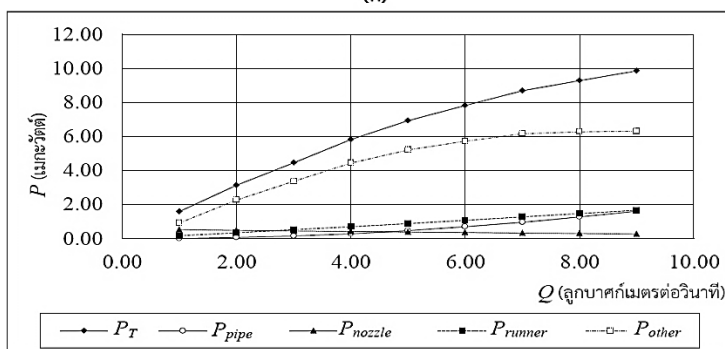
ผลการวิจัย

ในการทดลองในแต่ละการทดลองเริ่มจากการปรับอัตราการไหลของน้ำ Q และวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้ ความดันของท่อส่งน้ำที่ตำแหน่งทางเข้าของหัวฉีด p ความเร็วของน้ำที่ผ่านท่อที่ตำแหน่งที่ทำการวัดความดัน V_{pipe} และค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่อง

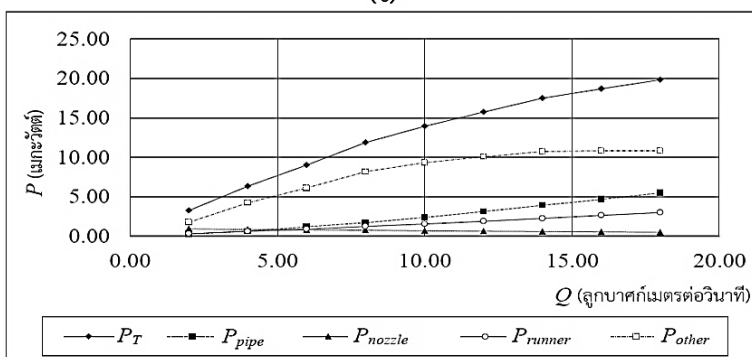
กำเนิดไฟฟ้า P_{out} แล้วนำค่าดังกล่าวไปคำนวณหา กำลังของน้ำที่กักกัน P_{in} ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (2) กำลังสูญเสียในระบบ P_T ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3) กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ P_{pipe} ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (6) กำลังสูญเสียที่หัวฉีด P_{nozzle} ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (12) กำลังสูญเสียที่กักกัน P_{runner} ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (20) กำลังสูญเสียอื่น ๆ P_{other} ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (24) ต่อจากนั้นนำค่าได้จากการคำนวณดังกล่าวไปเขียนกราฟ จะได้ดังรูปที่ 6



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6 กำลังการสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนห้วยลำพันใหญ่ เมื่อ (ก) เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 (ข) เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 2 และ (ค) เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดพร้อมกัน

จากรูปที่ 6 (ก) รูปที่ 6 (ข) และ รูปที่ 6 (ค) แสดงการเปรียบเทียบค่ากำลังสูญเสียส่วนต่าง ๆ ตามอัตราการไหลของน้ำ Q ของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 การเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 2 และการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดพร้อมกัน

ตามลำดับ ซึ่งพบว่ากำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ P_{pipe} มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ Q เนื่องจากเมื่อเปิดหัวฉีดมากขึ้น ทำให้ความเร็วของน้ำในท่อส่งน้ำมีการไหลเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความต้านทานการไหลมีค่าสูงขึ้น กำลังสูญเสียที่หัวฉีด

P_{nozzle} จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำ Q เมื่อเปิดหัวฉีดเพิ่มขึ้น ส่งผลหาความต้านทานการไหลของน้ำลดลงและส่งผลต่อการสูญเสียในส่วนนี้ลดลงเช่นเดียวกัน กำลังสูญเสียที่กังหัน P_{runner} จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นอัตราการไหลของน้ำ Q เนื่องจากทิศทางและความเร็วของน้ำที่เข้าไปกังหันไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามอัตราการไหลของน้ำ Q กำลังสูญเสียอื่น ๆ P_{other} เป็นการสูญเสียการกระจายในถังกังหันน้ำ การสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ Q เพราะกระจายคือน้ำอยู่ในถังกังหันน้ำเพิ่มขึ้น การกระทบกันระหว่าง กังหันกับน้ำกระจายอยู่เพิ่มขึ้นและภาระการทำงานเพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษากำลังสูญเสียในระบบของโรงไฟฟ้าเขื่อนห้วยลำนันใหญ่ จังหวัดเขมร พบว่ากำลังสูญเสียอื่น ๆ P_{other} กำลังสูญเสียที่ระบบท่อส่งน้ำ P_{pipe} กำลังสูญเสียที่ใบกังหัน P_{runner} มีค่ามากกว่ากำลังสูญเสียที่หัวฉีด P_{nozzle} ซึ่งกำลังสูญเสียที่หัวฉีด P_{nozzle} จะมีค่าลดลง ตามการเปิดหัวฉีดที่มากขึ้นและการสูญเสียภายนอกจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเปิดหัวฉีดที่มากขึ้นและคิดเป็นสัดส่วนกำลังสูญเสีย ทั้งหมดจะได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีค่าเท่ากัน

กำลังสูญเสียต่าง ๆ	คิดเป็นร้อยละ
P_{other}	64.11
P_{pipe}	16.34
P_{runner}	16.91
P_{nozzle}	2.69

ตารางที่ 2 การทดลองเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชุดพร้อม

กำลังสูญเสียต่าง ๆ	คิดเป็นร้อยละ
P_{other}	64.40
P_{pipe}	16.69
P_{runner}	16.34
P_{nozzle}	2.60

ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำลังสูญเสียในระบบของโรงไฟฟ้าเขื่อนห้วยลำนันใหญ่เพียง เมื่อพิจารณาจากสามกรณีที่ (19) พบว่ากำลังสูญเสียที่ใบกังหัน P_{runner} จะมีค่าลดลงเมื่อ θ มีค่ามากขึ้นจนถึง θ มีค่าเท่ากับ 180° ที่ตำแหน่งนี้จะทำให้ค่ากำลังสูญเสียที่ใบกังหัน P_{runner} มีเท่ากับศูนย์ และเมื่อเพิ่มค่า θ ให้มากขึ้นไปอีก ก็จะทำให้ค่าของกำลังสูญเสียที่ใบกังหัน P_{runner} มีสูงขึ้นไปด้วย

References

- [1] S. Vankham, "Study Of Efficiencies And Losses In The Operation Of Nam Dong Hydro Power Plant And Nam Ko Hydro Power Plant," Of Engineering In Mechanical Engineering GRADUATE School Khon Kaen University, pp. 1-94, 2008.
- [2] S. Khamfaeng, P. Jittakorn and S. Sopapol, " Potential Development of Hydropower Dams in the Southern Region of Laos that Affects the Quality of Life of People in the Area Sustainably," *Burapha Journal of Political Economy*, Vol. 7 No. 1, pp.5, 2019.

- [3] A. Khemphone, “*Laos And International AID: The Role Of The World Bank On Namtheun 2 Hydro Electric Dam Project,*” of Arts Program in International Relations Department of International Relations Faculty of Political Science Chulalongkorn University Academic, pp. 2, 2007.
- [4] N. Khot & H. Nikorn, “An Assessment of Electricity Generation Efficiency of the Pelton Turbine Hydro-Powerplant: A Case Study of Huay Lamphan Yai Dam, Sekong Province, Lao PDR,” in *12th Symposium of Graduate Studies, Graduate School Ubon Ratchathani Rajabhat University, Thai*, 15 March 2020, pp. 834-835.
- [5] W. Bing, N. Ioan, M. Tad, M. Yi., “Efficiency assessment of hydroelectric power plants in Canada: A multi criteria decision making approach” *Energy Economics*, vol.46, pp. 102-121, September. 2014.
- [6] Arne Kjølle, “*HYDROPOWER IN NORWAY,*” Norwegian University of Science and Technology Trondheim, CHAPTER 2, pp. 2.1, 2001.
- [7] Mishaal A Abdulkareem, “*Hydro□Water Power Plant,*” CHAPTER (7), pp. 685, 2017.

สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้ง พัดลมไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์

วิทยา พวงสมบัติ^{1*}, จิระศักดิ์ พุกดำ², ดิษฐา นนธิ์รวงศ์¹

^{1*}สุดกำแพง ถนนพหลโยธิน ต.โกสัมพี อ.โกสัมพีนคร จ.กำแพงเพชร 62000

²สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมและการออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนสุรินทร์

*Email: w.puangsombut@hotmail.com

Received: Oct 26, 2021

Revised: Nov 20, 2021

Accepted: Dec 20, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ท่อทางเดินอากาศเซลล์แสงอาทิตย์และพัดลม โดยที่พัดลมได้รับพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์และไม่มีแบตเตอรี่ บ้านทดสอบจำนวน 2 หลัง แต่ละหลังมีปริมาตร 8 m³ บ้านทดสอบหลังหนึ่งมุงคอนกรีตปกติร่วมกับคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งอยู่ทางทิศใต้ของหลังคา ในขณะที่บ้านอ้างอิงมุงหลังคาด้วยกระเบื้องคอนกรีตปกติเท่านั้น

สมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในรูปความร้อนผ่านฝ้าเพดาน อุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคา อุณหภูมิห้องและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างจำนวนการเปลี่ยนอากาศภายในห้องทดสอบได้ในช่วง 6-7 ACH ทำให้อุณหภูมิห้องทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม นอกจากนี้บ้านทดสอบมีค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานต่ำกว่าบ้านทดสอบอ้างอิงโดยมีค่าเปอร์เซ็นต์การลดความร้อนสูงกว่า 40%

คำสำคัญ : กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ, พัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์, สมรรถนะเชิงความร้อน, จำนวนการเปลี่ยนอากาศ, ความร้อนรับ

Thermal performance of concrete tile ventilator equipped with PV-powered fan

Withaya Puangsombut^{1,*}, Jirasak Pukdum², Dittha Nonthiworawong¹

^{1,*}Sood-Kamphaeng, Phaholyothin Rd, Kosamphi, Kosamphi Nakhon, KamphaengPhet Thailand 62000

²Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design,
Rajamangalar University of Technology Rattanakosin

Email : w.puangsombut@hotmail.com^{*}

Received: Oct 26, 2021

Revised: Nov 20, 2021

Accepted: Dec 20, 2021

Abstract

This paper presents the thermal performance of a concrete tile ventilator equipped with PV-powered fan (CTVPVf). The CTVPVf is composed of a concrete tile ventilator, steel pipe, PV panel and DC fan. A DC fan is driven directly by a photovoltaic (PV) panel i.e. no battery is used. Two test houses of 8 m³ volume were utilized in experiments. First test house thatched the common flat concrete tile together with a CTVPVf located at the south-facing roof whereas a reference test house thatched common flat concrete tile only. The thermal performance of CTVPVf is expressed in terms of heat gain, temperature and the number of air change. Experimental results show that a CTVPVf can produce the number of air change up to 6-7 ACH, and provide indoor temperature nearly closed to ambient temperature. Moreover, the test house has a lower ceiling heat gain than a reference test house with the percentage heat gain reduction achieved higher than 40%.

Keywords : Concrete tile ventilator, PV-powered fan, Thermal performance, Number of air change, Heat gain

บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นและมีค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี [1-2] ซึ่งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารหรือที่อยู่อาศัย โดยส่วนประกอบของสิ่งปลูกสร้างที่ได้รับผลกระทบจากรังสีอาทิตย์มากที่สุด ได้แก่ หลังคา ซึ่งเป็นส่วนที่รับและสะสมความร้อนตลอดทั้งวัน ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาการลดความร้อนสะสมภายในบ้านพักอาศัยด้วยการระบายอากาศได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกและง่ายต่อการออกแบบและสามารถใช้งานได้กับที่อยู่อาศัยที่สร้างขึ้นใหม่หรือที่อยู่อาศัยเดิม ซึ่งการระบายอากาศแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ (Natural ventilation) และการระบายอากาศโดยวิธีบังคับการไหลของอากาศ (Force ventilation) ในปี 2545 Hirunlabh et al. [3] เสนอการระบายอากาศภายในห้องใต้หลังคาโดยใช้พัดลมระบายอากาศที่รับพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและลดความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าหลังคา โดยติดตั้งพัดลมระบายอากาศที่ชายคาบ้านและเปรียบเทียบผลการทดลองกับบ้านทดสอบที่ไม่ได้ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าบ้านทดสอบที่ติดตั้งพัดลมระบายอากาศสามารถลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานและอุณหภูมิห้องได้สูงสุดที่ 5 W/m^2 และ 4°C ตามลำดับ ต่อมาได้ทำการศึกษาฝ้าเพดานแบบรูพรุน (Perforated ceiling) [4-5] ที่ติดตั้งกับบ้านพักอาศัยจริงเพื่อดูความสามารถในการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและรวมถึงความชื้นสะสมภายในตัวบ้านพักอาศัยจริง จากการศึกษาพบว่า การติดตั้งฝ้าเพดานแบบรูพรุนที่ชายคาบ้านสามารถสร้างอัตราการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาได้

เป็นอย่างดีและเมื่อติดตั้งฝ้าชายคาที่ห้องน้ำชั้นสองของบ้านพักอาศัยร่วมด้วยจะสามารถลดความชื้นสะสมภายในพื้นที่พักอาศัยรวมถึงความชื้นสะสมภายในห้องน้ำได้เป็นอย่างดี

อีกทั้งเมื่อมีการลดความร้อนและความชื้นสะสมภายในบ้านพักอาศัยยังช่วยให้ภาระโหลดของเครื่องปรับอากาศที่เกิดจากภาระโหลดภายในบ้านมีอัตราส่วนลดลงด้วย

การศึกษาการระบายอากาศเพื่อลดความร้อนสะสมภายในอาคารได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องกระทั่งในปี 2557 ได้ออกแบบกระเบื้องคอนกรีตสองชั้นสำหรับมุงหลังคาเพื่อลดความร้อนก่อนถ่ายเทเข้าสู่ห้องใต้หลังคา [6] และได้ทำการออกแบบกระเบื้องคอนกรีตสำหรับระบายอากาศที่พัฒนามาจากกระเบื้องคอนกรีตธรรมดา [7] จากการออกแบบและนำไปมุงหลังคาเพื่อทดสอบเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่มุงกระเบื้องหลังคา คอนกรีตแบบปกติ จากการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศทั้งสองแบบสามารถลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ตัวบ้านและสร้างอัตราการระบายอากาศรวมถึงสร้างอัตราการเปลี่ยนอากาศโดยการระบายอากาศแบบธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นได้มีการศึกษาออกแบบเพื่อพัฒนาหลังคารับรังสีอาทิตย์แบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งแบบที่มีการระบายอากาศแบบธรรมชาติ [8] และแบบที่มีการระบายอากาศแบบบังคับ [9] ซึ่งการพัฒนาหลังคารับรังสีอาทิตย์แบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์นั้นช่วยลดความร้อนถ่ายเทผ่านหลังคารวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพรวมของหลังคารับรังสีอาทิตย์แบบติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้น

การศึกษาการระบายอากาศร่วมกับการนำแสงธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ภายในอาคารเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจด้วยเช่นเดียวกัน

การออกแบบท่อนำแสงที่สามารถระบายอากาศได้ [10] เพื่อนำมาลดความร้อนสะสมภายในอาคารอีกทั้งนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ประโยชน์ภายในอาคารได้โดยตรงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น จากการออกแบบและทดสอบกับบ้านทดสอบเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบแบบปกติแสดงให้เห็นว่าท่อนำแสงที่สามารถระบายอากาศและช่วยลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบได้สูงสุด 4.2°C และลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้ในช่วง $1-5 \text{ W/m}^2$ อีกทั้งสร้างอัตราการระบายอากาศในช่วง $1.8-5.4 \text{ m}^3/\text{hr}$ ในขณะที่ท่อนำแสงที่สามารถระบายอากาศได้ให้ค่าความส่องสว่างภายในได้ในช่วง $230-320 \text{ Lux}$

หน้าต่างและผนังกระจกก็เป็นส่วนประกอบของกรอบอาคารอีกส่วนหนึ่งที่มีความร้อนถ่ายเทผ่านรวมถึงรังสีอาทิตย์ที่ผ่านวัสดุโปร่งแสงเข้ามาโดยตรง ดังนั้นการประยุกต์ใช้หลักการระบายอากาศจึงเป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษากันอย่างต่อเนื่อง Khedari et al. [11] ได้ศึกษาผนังทอมบ์ดัดแปลงที่มีการติดตั้งบล็อกแก้วเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารโดยทดสอบเปรียบเทียบกับผนังทอมบ์ธรรมดาซึ่งผนังทอมบ์ดัดแปลงแบบติดตั้งบล็อกแก้วให้ค่าแสงสว่างภายในบ้านทดสอบในช่วง $350-550 \text{ Lux}$ และสร้างอัตราการระบายอากาศได้ในช่วง $60-80 \text{ m}^3/\text{hr}$ ต่อมาการศึกษาการระบายอากาศผ่านหน้าต่างกระจกสองชั้น [12] เพื่อลดความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกและลดความชื้นสะสมภายในที่พักอาศัยโดยออกแบบและติดตั้งกับห้องทดสอบเปรียบเทียบกับห้องทดสอบที่ติดตั้งหน้าต่างกระจกธรรมดา จากการทดสอบสามารถลดอุณหภูมิห้องเฉลี่ยได้ 1.9°C และสามารถลดการถ่ายเทความร้อนผ่านหน้าต่างกระจกได้สูงสุด 10.24 W/m^2

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์

แสงอาทิตย์สำหรับมุงร่วมกับกระเบื้องคอนกรีตปกติและทดสอบเปรียบเทียบกับบ้านทดสอบที่มุงหลังคาคอนกรีตแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปตัวแปรอุณหภูมิ ค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดาน อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและทฤษฎี

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปที่ 1 ได้พัฒนามาจากกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศตามเอกสารอ้างอิง [7] โดยกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ท่อทางเดินอากาศ พัดลมไฟฟ้าต่อตรงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 1 กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2 รูปแบบการไหลของอากาศและการมุงกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 2 แสดงกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และการทำงานเพื่อระบายอากาศและลดความร้อนสะสมภายในบ้านทดสอบ เมื่อพัดลมระบายอากาศทำงานอากาศจากภายนอกไหลผ่านช่องเปิดที่ประตูผ่านห้องทดสอบก่อนไหลผ่านช่องเปิดที่ฝ้าเพดานเข้าสู่ห้องใต้หลังคาและไหลเข้าสู่ท่ออากาศและไหลออกสู่ภายนอกผ่านกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ โดยลักษณะการไหลของอากาศในลักษณะนี้เรียกว่าการไหลแบบตัดขวาง (Cross flow) ซึ่งการไหลในลักษณะนี้อากาศที่ไหลผ่านเข้าที่ประตูจะช่วยในการระบายความร้อนสะสมภายในบ้านทดสอบที่เกิดจากการแผ่รังสีความร้อนจากผนังด้านในทำให้อุณหภูมิภายในห้องและอุณหภูมิห้องใต้หลังคาลดลงอีกทั้งยังลดการถ่ายเทความร้อนผ่านฝ้าเพดานด้วย โดยทั่วไปอัตราการระบายอากาศจะประกอบด้วย 3 ส่วน ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Q_{vent} = \sqrt{Q_b^2 + Q_w^2 + Q_m^2} \quad (1)$$

เมื่อ

Q_{vent} คือ อัตราการระบายอากาศ (m^3/s)

Q_b คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัว (m^3/s)

Q_w คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม (m^3/s)

Q_m คือ อัตราการระบายอากาศเนื่องจากอุปกรณ์ทางกล (m^3/s)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากแรงลอยตัวคำนวณได้จาก

$$Q_b = A_o \sqrt{\frac{2gHT\left(\frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_o}\right)}{\left(1 - \frac{A_o^2}{A_i^2}\right)}} \quad (2)$$

เมื่อ

A_i คือ คือ พื้นที่ทางเข้าของอากาศที่ประตู (m^2)

A_o คือ พื้นที่ทางออกของอากาศที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ (m^2)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)

H คือ ความสูงระหว่างทางเข้าและทางออกของอากาศ (m)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ (K)

T_i คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่ทางเข้าประตู (K)

T_o คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ทางออก (K)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากลม คำนวณได้จาก

$$Q_w = A_i V_w \quad (3)$$

เมื่อ

V_w คือ ความเร็วลมที่ทางเข้า (m/s)

อัตราการระบายอากาศเนื่องจากอุปกรณ์
ทางกล คำนวณได้จาก

$$Q_m = A_o V_o \quad (4)$$

เมื่อ

V_o คือ ความเร็วลมที่ทางออกของกระเบื้อง
คอนกรีตระบายอากาศ (m/s)
จำนวนการเปลี่ยนอากาศ คำนวณได้จาก

$$ACH = \frac{3600 \cdot Q_{vent}}{V} \quad (5)$$

เมื่อ

ACH คือ จำนวนการเปลี่ยนอากาศ (เท่า/
ชั่วโมง)

V คือ ปริมาตรห้องทดสอบ (m^3)

เปอร์เซ็นต์การลดการถ่ายเทความร้อนผ่าน
ฝ้าเพดาน คำนวณจาก

$$\%HG_{red.} = \left(\frac{HG_{ref} - HG_{CTVPVF}}{HG_{ref}} \right) \quad (6)$$

เมื่อ

$\%HG_{red.}$ คือ เปอร์เซ็นต์การลดการ ถ่ายเท
ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน (%)

HG_{ref} คือ ความร้อนผ่านฝ้าเพดานบ้านที่
ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตปกติ
(W/m^2)

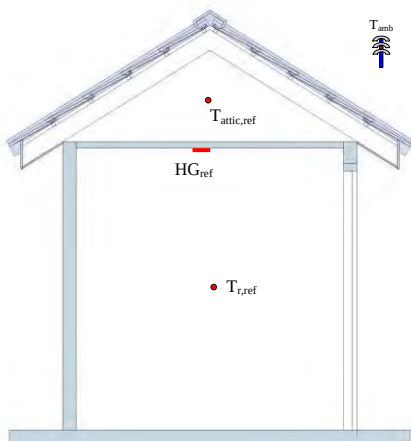
HG_{CTVPVF} คือ ความร้อนผ่านฝ้าเพดานบ้าน
ที่ติดตั้งกระเบื้องคอนกรีตระบาย
อากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์
แสงอาทิตย์ (W/m^2)

ระเบียบวิธีวิจัย

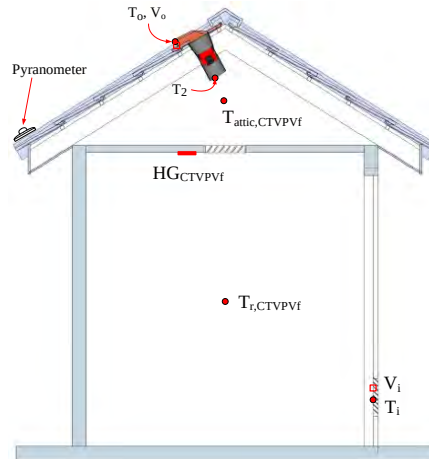
งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของ
กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลม
ไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมุ่งกระเบื้องคอนกรีต
ระบายอากาศฯ ร่วมกับกระเบื้องคอนกรีตปกติกับ
บ้านทดสอบจำนวน 1 หลัง และบ้านทดสอบอ้างอิง
มุ่งกระเบื้องคอนกรีตปกติเท่านั้น โดยทำการตรวจวัด
อุณหภูมิ ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน อัตราการระบาย
อากาศและค่ารังสีอาทิตย์ เพื่อประเมินสมรรถนะ
เชิงความร้อนของกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ
ที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ บ้านทดสอบ
แต่ละหลังมีปริมาตร $8 m^3$ โดยหลังคาบ้านทดสอบ
ทำมุม 30° เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด $5.5 Wp$ ต่อตรง
กับพัดลมไฟฟ้าขนาด $1.68 W$

อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดและบันทึกข้อมูลการ
ทดลองประกอบด้วย อุปกรณ์วัดความร้อนผ่านฝ้า
เพดาน (EKO: FM-180) อุปกรณ์วัดความเร็วลม
ของอากาศ (KIMO: model.VT 100) สายเทอร์
โมคัปเปิ้ล ชนิด K (ช่วงการวัด: $0-1250^\circ C$) ต่อตรง
เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Hioki: Model 8422-
52) อุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ (Kipp & Zonen:
Model CMP11) และบันทึกข้อมูลทุก ๆ 10 นาที
(06:00-18:00 น.)

รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งวัดต่าง ๆ ที่ได้จากการ
ทดสอบ รูปที่ 3 (a) บ้านทดสอบอ้างอิงประกอบด้วย
ห้องใต้หลังคา ($T_{attic, ref}$) อุณหภูมิห้อง ($T_{r, ref}$)
อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{amb}) ความร้อนผ่านฝ้า
เพดาน(HG_{ref}) รูปที่ 3 (b) บ้านทดสอบที่มุ่งกระเบื้อง
คอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์
แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยอุณหภูมิอากาศที่ทางออก
(T_o) ความเร็วลมของอากาศที่ทางออก (V_o) อุณหภูมิ
ห้องใต้หลังคา ($T_{attic, CTVPVF}$) อุณหภูมิห้อง ($T_{r, CTVPVF}$)
ความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดาน (HG_{CTVPVF}) และค่า
รังสีอาทิตย์ (I_t) อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า (T_i)
ความเร็วลมของอากาศที่ทางเข้า (V_i)



(a) ภาพแสดงตำแหน่งวัดบ้านอ้างอิง



(b) ภาพแสดงตำแหน่งวัดบ้านทดสอบที่มุ่งหลังคากระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

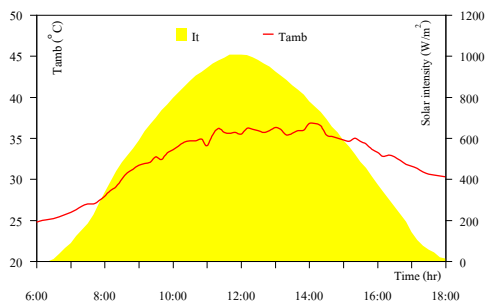
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์

ผลการวิจัย

การทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ดำเนินการในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยและได้เลือกวันทดสอบที่มีผลการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อนำเสนอในบทความนี้

1. สภาพอากาศแวดล้อม

ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัดโดยอุปกรณ์วัดค่ารังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่บนหลังคาบ้านทดสอบไม่มีผลกระทบจากเงาที่เกิดการเคลื่อนที่ของเมฆ ค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูงสุดอยู่ที่ 1010 W/m^2 ที่เวลา 12:00 น. และ 36°C ที่เวลา 13:00 น. ตามลำดับ



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

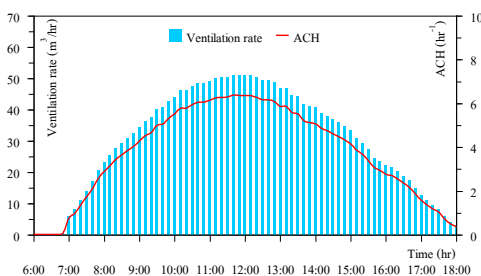
2. อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

เมื่อพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับกระเบื้องระบายอากาศเริ่มทำงานที่เวลา 07:00 น. ค่ารังสีอาทิตย์ประมาณ 70 W/m^2 อากาศไหลผ่านช่องเปิดที่ประตูเข้าสู่ภายในห้องทำให้ความร้อนสะสมภายในห้องถูกถ่ายเทออกไปพร้อมกับอากาศก่อนที่จะไหลผ่านช่องเปิดที่ฝ้าเพดานเพื่อระบายความร้อนสะสมภายในห้องได้หลังคาอีกครั้งก่อนออกสู่สิ่งแวดล้อมที่ทางออกของกระเบื้อง

คอนกรีตระบายอากาศ ในรูปที่ 5 แสดงอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศของบ้านทดสอบที่มุ่งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และสามารถอธิบายได้ใน 3 ช่วงเวลา ดังนี้

ช่วงเวลาที่ 1 เริ่มการทดสอบ (06:00-06:50 น.) จะเห็นได้ว่ายังไม่มีค่าอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ ระยะเวลา 07:00 น. พัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เริ่มทำงานทำให้เกิดอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศขึ้น

ช่วงเวลาที่ 2 (07:00-12:00 น.) อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เกิดจากค่ารังสีอาทิตย์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้การผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ป้อนให้กับพัดลมได้อย่างต่อเนื่อง และช่วงเวลานี้ อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศมีค่าสูงสุดที่ $52 \text{ m}^3/\text{hr}$ และ 6.5 เท่าของปริมาตรห้อง/hr ตามลำดับ



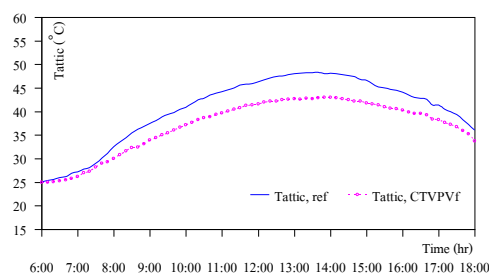
รูปที่ 5 อัตราการเปลี่ยนอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศ

ช่วงเวลาที่ 3 (12:00-18:00 น.) อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องทั้งนี้เกิดจากค่ารังสีอาทิตย์ที่มีค่าลดลงซึ่งส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกัน ระยะเวลา 17:30 น. พัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์หยุดทำงาน แต่จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลานี้ยังคงเกิด

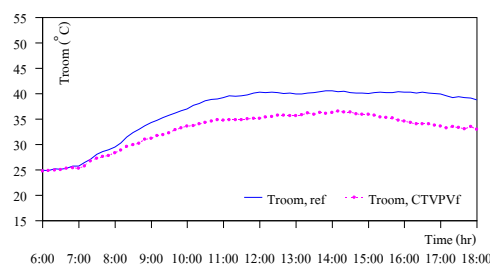
อัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศทั้งนี้เกิดจากผลของการระบายอากาศแบบธรรมชาติผ่านกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

3. อุณหภูมิห้องใต้หลังคาและอุณหภูมิห้อง

ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ ในช่วงเวลา 06:00-06:50 น. (พัดลมยังไม่ทำงาน) อุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบทั้งสองหลังมีค่าใกล้เคียงกันทั้งนี้เกิดจากการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมในช่วงเวลากลางคืน และที่เวลา 07:00 น. อุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาของบ้านทดสอบทั้ง 2 หลังมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และจะเห็นได้ว่าบ้านทดสอบที่มุ่งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิอากาศในห้องใต้หลังคาลดกว่าบ้านทดสอบอ้างอิง $1-5^\circ\text{C}$



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศห้องใต้หลังคา



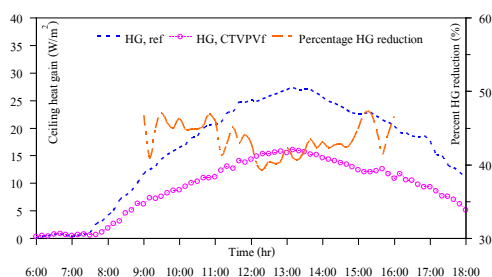
รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้อง

ในขณะที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 6) ของบ้านทดสอบที่มุ่งกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าบ้าน

ทดสอบอ้างอิงในช่วง $0.5-6^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการลดการสะสมความร้อนภายในห้องทดสอบและในห้องใต้หลังคา

4. ความร้อนผ่านฝ้าเพดาน

ในการทดสอบนี้ค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานถูกวัดที่ฝ้าเพดาน (ด้านห้องทดสอบ รูปที่ 3) ในรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านทดสอบที่มุ่งหลังคากระเบื้องระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับบ้านทดสอบอ้างอิง จะเห็นได้ว่าในช่วง 06:00-07:30 น. ค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานมีค่าน้อยมาก หลังจาก 07:30 น. ค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานของบ้านทดสอบที่มุ่งหลังคากระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำกว่าบ้านทดสอบอ้างอิงในช่วง $2-11\text{ W/m}^2$ และยังได้แสดงให้เห็นถึงเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานในรูปที่ 8 ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 8 ความร้อนถ่ายเทผ่านฝ้าเพดาน

จากการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดาน โดยนำเสนอในช่วงเวลา 09:00-16:00 น. จะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์การลดลงของค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานมีค่ามากกว่า 40% ตลอดช่วงเวลาที่มีการระบายอากาศผ่านกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ

สรุปและอภิปรายผล

กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศได้เป็นอย่างดีทั้งนี้เนื่องจากพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานโดยตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์และทำงานตามคำสั่งสวิตช์ที่สร้างขึ้น ในขณะที่การไหลของอากาศเป็นการไหลแบบตัดขวาง (Cross flow) โดยอากาศจากภายนอกไหลเข้าห้องทดสอบผ่านช่องเปิดที่ประตูและแลกเปลี่ยนความร้อนก่อนไหลผ่านช่องเปิดที่ฝ้าเพดานเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายในห้องใต้หลังคา ก่อนที่อากาศจะไหลออกสู่สิ่งแวดล้อมที่กระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศ ซึ่งการไหลแบบตัดขวางนี้ทำให้สามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและห้องทดสอบได้เป็นอย่างดี [3]

จากผลการทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศผ่านห้องทดสอบได้เป็นอย่างดี ซึ่งทำให้สามารถลดความร้อนสะสมภายในห้องใต้หลังคาและห้องทดสอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถลดความร้อนผ่านฝ้าเพดานได้สูงถึง 11 W/m^2 และเปอร์เซ็นต์การลดค่าความร้อนผ่านฝ้าเพดานมากกว่า 40%

ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาระเบียงคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับบ้านทดสอบขนาดเล็กในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารุ่นต่อไปดังนี้

1. ทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมเพื่อสร้างอัตราการระบายอากาศและจำนวนการเปลี่ยนอากาศแบบคงที่เพื่อหา

ความเหมาะสมของอัตราการเปลี่ยนอากาศและ
จำนวนการเปลี่ยนอากาศ

2. ทดสอบกระเบื้องคอนกรีตระบายอากาศที่
ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กับบ้านพัก
อาศัยจริง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ “สุดกำแพง” ที่ให้ความ
อนุเคราะห์ในการออกแบบกระเบื้องคอนกรีต
ระบายอากาศที่ติดตั้งพัดลมไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
และให้ทุนสนับสนุนสำหรับงานวิจัยนี้ อีกทั้งให้
คำแนะนำเชิงวิชาการสำหรับงานวิจัย

References

- [1] S. Janjai, I. Masiri, S. Pattarapanitchai, and J. Laksanaboonsong, “Mapping global solar radiation from long-term satellite data in the tropic using an improved model,” *International Journal of Photoenergy*, Vol. 2013, ID: 210159, 2013.
- [2] J. Khedari, A. Sangprajak and J. Hirunlabh, “Thailand climatic zones,” *Renewable Energy*, Vol. 25, no. 2, pp. 267-280, February 2002.
- [3] J. Hirunlabh, W. Puangsombut, J. Waewsak and J. Khedari, “PV attic ventilation: a simple tool for reducing cooling load and providing comfort,” *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 23, no 3, pp. 159-168, Jul. 2002.
- [4] N. Nankongnab, W. Puangsombut, S. Insiripong, J. Hirunlabh and U-C. Shin, “Field investigation on hygrothermal performance of full-vent perforated soffit and ceiling,” *Solar Energy*, Vol. 80, no. 80, pp. 936-948, August 2006.
- [5] W. Puangsombut, J. Hirunlabh, J. Khedari and U-C. Shin, “Field investigation on moisture reduction by perforated ceiling,” *Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA 2003)*, International Conference, Bangkok, 2003, pp. (GA213-219).
- [6] O. Amornleetrakul, W. Puang-sombut and J. Hirunlabh, “Field investigation of the small house with the ventilate roof tiles,” *Advance Materials Research*, Vols. 931-932, pp. 1233-1237, 2014.
- [7] K. Juengpimonyanon, W. Puangsombut and T. Ananacha, “Field investigation on thermal performance of the tile ventilator,” *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 619, pp. 73-77, 2014.
- [8] S. Phiraphat, R. Prommas and W. Puangsombut, “Experimental study of natural convection in PV roof solar collector,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 89, pp. 31-38, December 2017.
- [9] S. Phiraphat, R. Prommas, T. Tondee and W. Puangsombut, “Thermal performance of PV roof solar collector,” *Sustainable Energy and Green Architecture (SEGA 2016)*, International Conference, Bangkok, 2016.

- [10] D. Nonthiworawong, “*Design of a light-vent pipe (LVP) to reduce building cooling load*”, Ph.D. Thesis (Sustainable Energy and Environment Technology and Management), Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom, TH, 2017.
- [11] J. Khedari, C. Pongsatirat, W. Puangsombut and J. Hirunlabh, “Experimental performance of a partially-glazed Modified Trombe Wall,” *International Journal of Ambient Energy*, Vol. 26, no. 1, pp. 27-36, 2005.
- [12] W. Puangsombut, D. Nonthi-worawong and T. Lohapan-somboon, “Effect of moisture reduction on thermal comfort by solar chimney window with small ventilation fan,” *The Journal of Industrial Technolo-gy*, Vol. 8, no. 1, pp. 22-30, January-June 2020.

การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน สำหรับกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด พรหมพัทธ์ บุญรักษา¹, ธีระพงษ์ บุญรักษา²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email: promphak.dawan@gmail.com¹, terapong.boon@rmutr.ac.th²

Received: May 5, 2021

Revised: Jul 15, 2021

Accepted: Aug 24, 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านสำหรับกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ขนาด 36 V กำลัง 260 W ผ่านชุดติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยผลการทดลอง สรุปได้ว่า ในสภาวะปกติของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่ไม่ได้ใช้วงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ผลิตรกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 49.5 W แต่เมื่อได้มีการติดตั้งวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า ได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 137.7 W จะเห็นได้ว่าเมื่อมีวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้กำลังไฟฟ้าเพิ่มมากกว่าถึง 88.2 W หรือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2.78 เท่า ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรที่ถูกพัฒนาทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างกัน ไม่ว่าจะเมฆของเมฆหรือไม่ก็ตาม ยังคงสามารถทำงานได้ดี

คำสำคัญ : มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน, ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์, การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

Optimization of Brushless DC Motor for Solar Water Turbine with Maximum Power Point Tracking Circuit

Promphak Boonraksa¹, Terapong Boonraksa²

¹School of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

²School of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Email: promphak.dawan@gmail.com¹, terapong.boon@rmutr.ac.th²

Received: May 5, 2021

Revised: Jul 15, 2021

Accepted: Aug 24, 2021

Abstract

This article explores the optimization of brushless DC motors for solar-powered water turbines. By application, an inverter circuit is a device used to track the maximum power of a solar cell. The experiment was performed on a single solar panel of 36 V with a power of 260 W through the solar power tracking and connected to a brushless DC motor. The results of the experiment concluded that in normal conditions of the water turbine, the solar cell power without the maximum power tracking circuit produced an average of 49.5 W, but when the maximum power tracking circuit was installed, the average power was 137.7 W. It can be seen that when installing the maximum power tracking circuit, the power output is 88.2 W or 2.78 times more efficient. This is achieved by tracking the maximum power using the developed circuit to achieve higher efficiency. The maximum power can also be tracked over the period during which the solar cells are able to generate electricity at different solar intensities, with or without cloud shadows, can still work well.

Keywords : BLDC motor, Solar efficiency, MPPT

บทนำ

ในปัจจุบัน น้ำถือว่ามีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ เมื่อมีการใช้น้ำในรูปแบบต่าง ๆ จึงส่งผลให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งน้ำเสีย คือ น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติ ก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ อีกส่วนหนึ่ง คือ น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) คือ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ [1]

ระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการคิดค้นขึ้นอย่างแพร่หลาย แต่ประสิทธิภาพของระบบยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากปัญหาหลักคือการเลือกใช้อุปกรณ์กระแสตรงเป็นแหล่งต้นกำลัง ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงมีประสิทธิภาพที่ต่ำ 40-60 % [2-4]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่หรือปรับค่าได้ หรือเพื่อให้ได้ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าคงที่หรือปรับค่าได้ [5] และถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน [6-7]

คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียโดยการใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่

เหมาะสมหลายอย่าง เช่น ประสิทธิภาพสูงถึง 80-95 % อายุการใช้งานยาวนาน การสูญเสียในมอเตอร์มีค่าน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง ใช้พลังงานน้อยกว่าแต่ได้กำลังที่มากกว่า ดังนั้น การเปลี่ยนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีก 10-20 % [8] และออกแบบอินเวอร์เตอร์ให้มีฟังก์ชันการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดจากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมด้วยเพื่อให้ระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูง คำนวณต่อการลงทุนและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก [9-10]

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

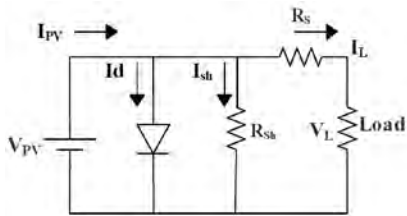
1. ออกแบบและสร้างต้นแบบกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อนำเทคนิคการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดแบบ V-Constant จากเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในการดึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ BLDC ที่มีประสิทธิภาพสูง บำรุงรักษาง่าย และมีอายุการใช้งานยาวนาน

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรม

1. ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หากที่พลังงานที่สะสมในโฟตอนมีค่ามากกว่าช่องว่างแถบพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อิเล็กตรอนจะเกิดการเคลื่อนที่และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าสู่วงจรภายนอก รูปที่ 1 แสดงวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [11] วงจรสมมูลซึ่งแสดงรายละเอียดภายในเซลล์แสงอาทิตย์ โดย R_s คือ

ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ R_{Sh} คือ ความต้านทานขนาน



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

สามารถหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังสมการที่ (1)

$$I_{pv} = I_L - I_d[\exp(\frac{V_{pv}}{V_T}) - 1] \quad (1)$$

และสามารถแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังสมการที่ (2)

$$V_{pv} = V_T \ln[\frac{I_L - I_{pv}}{I_d} + 1] \quad (2)$$

ตัวแปรต่าง ๆ ในสมการสำหรับคำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีความหมายดังนี้ [12]

I_{pv} คือ กระแสที่ได้เมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับแสง (แอมป์)

I_d คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับ (แอมป์)

I_L คือ กระแสเอาต์พุต (แอมป์)

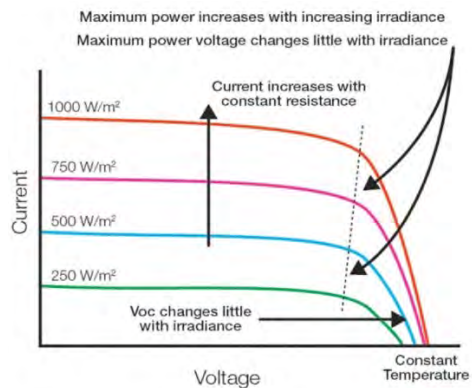
V_{pv} คือ แรงดันที่ได้เมื่อแผง PV ได้รับแสง (โวลต์)

V_T คือ แรงดันที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่ากับ $(nK_B T)/q$

K_B คือ ค่าคงที่ของโบลท์มาน

สามารถจำลองคุณสมบัติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ได้โดยมีระดับแสงแดดและอุณหภูมิของ

แผงเซลล์ที่แตกต่างกันเพื่อสร้างเส้นโค้งลักษณะ I-V และ P-V ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 คุณลักษณะกระแสและแรงดันของระบบ PV ที่ความเข้มแสงในระดับต่าง ๆ [12]

ในส่วนของโหลด (Load) ที่ใช้กับแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ อาจเป็นโหลดแบบไดนามิกหรือแบบคงที่ก็ได้ โหลดแบบไดนามิกนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปในทุกช่วงการทำงาน ในขณะที่โหลดแบบคงที่มีลักษณะคงที่ตลอดช่วงการทำงาน และโหลดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นโหลดตัวต้านทานซึ่งมีลักษณะคงที่และเป็นเชิงเส้นตลอดช่วงการทำงาน หากเส้นโหลดตัดกับเส้นโค้งของกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงว่าโหลดกับแหล่งกำเนิดพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมกัน 100% แต่ด้วยตัวแปรบางอย่างการควบคุมได้ เช่นปริมาณความเข้มแสง (Solar Irradiant) หรืออุณหภูมิแผงเซลล์ (Temperature Module) การใช้งานโหลดที่ไม่เหมาะสมกับกับแหล่งจ่ายพลังงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จะออกแบบให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดในทุกสภาวะการทำงาน [12]

2. มอเตอร์ไฟฟ้า

การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจาก

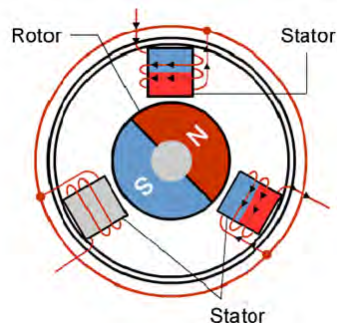
กระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์ชนิดลาก เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัฒลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า บ่ม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจจะพบในนาฬิกาไฟฟ้า [13] มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสูบจัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่น ๆ

อุปกรณ์เช่นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าและลำโพงที่แปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นการเคลื่อนไหว แต่ไม่ได้สร้างพลังงานกลที่ใช้งานได้ จะเรียกว่า Actuator และ Transducer ตามลำดับ คำว่ามอเตอร์ไฟฟ้านั้น ต้องใช้สร้างแรงเชิงเส้น (Linear force) หรือแรงบิด (Torque) หรือเรียกอีกอย่างว่า หมุน (Rotary) เท่านั้น [5], [14]

2.1 มอเตอร์ DC แบบไร้แปรงถ่าน Brushless DC electric motor (BLDC)

บางส่วนของปัญหาของมอเตอร์กระแสตรง ที่ใช้แปรงจะถูกตัดทิ้งไปในมอเตอร์แบบ BLDC ซึ่งแทนที่สวิตช์หมุน หรือตัวสลับเปลี่ยนแบบกลไก ไปเป็นแบบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกที่จะ Synchronise กับตำแหน่งของโรเตอร์ มอเตอร์แบบ BLDC มักจะมีประสิทธิภาพประมาณ 85-90% และสูงได้ถึง 96.5%

ในขณะที่มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้แปรงถ่าน มักจะมีประสิทธิภาพเพียง 75-80% เท่านั้น [15] ส่วนประกอบหลัก ๆ ของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทำงานของมอเตอร์ BLDC [15]

3. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คือวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องผกผัน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่มีค่าแรงดันคงที่หรือปรับค่าได้ หรือเพื่อให้ได้ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุตที่มีค่าคงที่หรือปรับค่าได้ โดยใช้หลักการปรับค่าแรงดันไฟตรงด้านอินพุต หรือใช้หลักการควบคุมเทคนิคการสวิตช์ภายในตัวอินเวอร์เตอร์ เช่น ใช้เทคนิคแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) เป็นต้น [5] โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์แสดงดังรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาการเชื่อมโยงด้านอินพุตของอินเวอร์เตอร์ จึงแบ่งออกได้ 3 รูปแบบคือ

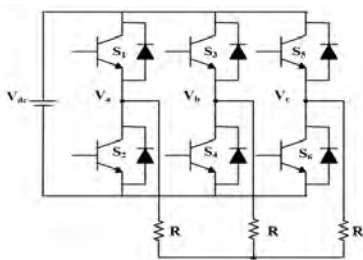
1) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนด้วยแรงดัน คือ Voltage – Fed Inverter : VFI หรือ Voltage Source Inverter: VSI

2) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนด้วยกระแส คือ Current – Fed Inverter : CFI หรือ Current Source Inverter : CSI

3) อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ คือ Variable DC Linked Inverter

3.1 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบขับเคลื่อน

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ประกอบไปด้วยสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 6 ตัว คือ สวิทช์ S_1 และ S_4 ต่ออยู่กับเอาต์พุตเฟสที่ 1 (L_1) สวิทช์ S_3 และ S_6 ต่อกับเอาต์พุตของเฟสที่ 2 (L_2) และสวิทช์ S_5 และ S_2 ต่อกับเอาต์พุตเฟสที่ 3 (L_3) โหลดทางไฟฟ้าชนิด 3 เฟสจะต่อด้านเอาต์พุตที่ขั้ว L_1 , L_2 และ L_3 ดังแสดงในภาพที่ 4



รูปที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ต่อโหลดแบบสตาร์

การใช้ประโยชน์ของสวิทช์ในอินเวอร์เตอร์สามเฟส จะคล้ายกับในอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว สมมติว่า

$$SUR = \frac{(VA)_{3-phase}}{qV_T V_T} = \frac{\sqrt{3}V_{LL1} I_{o,max}}{6V_T I_T} \quad (6)$$

$$SUR = \frac{\sqrt{3}V_{LL1} I_{o,max}}{6V_{o,max} \sqrt{2} I_{o,max}} = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{V_{LL1}}{V_{d,max}} \quad (7)$$

สำหรับการสวิทช์ซึ่งแบบพีดับเบิ้ลยูเอ็มที่ทำงานในย่านมอดูเลชั่นเชิงเส้น

$$MSUR = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{V_{LL1}}{V_{d,max}} = \frac{1}{2\sqrt{6}} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{8} \cdot m_a = 0.125 m_a \quad \clubsuit(9)$$

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดของอินเวอร์เตอร์สามเฟส ของการสวิทช์แบบพีดับเบิ้ลยูเอ็ม จะเท่ากับ 0.125 ที่ $1 a = m$ แต่จะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดแบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่ง

กระแสเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่มีกระแส $I_{o,max}$ ที่โหลดสูงสุด ซึ่งสวิทช์แต่ละตัวจะมีพิกัดสูงสุดดังนี้

$$V_T = V_{d,max} \quad (3)$$

$$I_T = \sqrt{2} I_{o,max} \quad (4)$$

โดยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏด้านออกของอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ความถี่หลักมูลเท่ากับ

$$(VA)_{3-phase} = \sqrt{3} V_{LL1} I_{o,max} \quad (5)$$

ในอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะมีสวิทช์กับโอโอดอย่างน้อย 6 ตัว อัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์หาได้จากค่ารากของกำลังเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ได้ต่อพิกัดของสวิทช์ซึ่งอยู่ในรูปผลคูณแรงดันไฟฟ้ายอดและกระแสไฟฟ้ายอด

จะคล้ายกับในค่าอัตราการใช้ประโยชน์ของสวิทช์สูงสุดของอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว [5, 16]

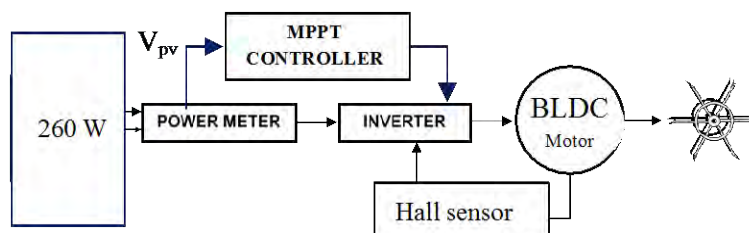
4. วิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A Fixed Percentage of the Opencircuit Voltage)

วิธีนี้จะตั้งอยู่บนพื้นฐานที่ว่าแรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันขณะเปิดวงจรโดยกำหนดให้แรงดันที่จุดจ่ายกำลังสูงสุดมีค่าประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันขณะเปิดวงจรแต่เนื่องจากแรงดันขณะเปิดวงจรไม่คงที่ในแต่ละเวลาดังนั้นการทำงานของวิธีนี้จะทำงานเป็นคาบเวลาโดยตัดโหลดออกเพื่อวัดขนาดแรงดันขณะ

เปิดวงจรเพื่อนำไปหาแรงดันที่จุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด [17]

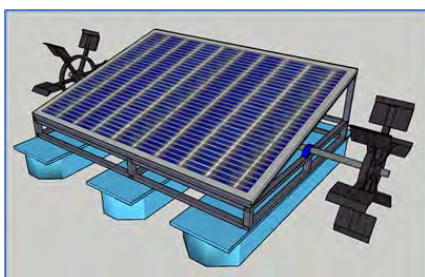
ระเบียบวิธีวิจัย

1. การออกแบบระบบกักเก็บน้ำพลังแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบกักเก็บน้ำพลังแสงอาทิตย์ การออกแบบระบบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบภาพรวมของชุดกักเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์

เริ่มตั้งแต่ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดมอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ โครงติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพลา ใบพัด และ ท่อนลอย รูปที่ 6 แสดงชุดกักเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม SketchUp



รูปที่ 6 ชุดกักเก็บน้ำพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม SketchUp

ขั้นตอนการทำงานของระบบกักเก็บน้ำพลังแสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยแบ่งรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจะประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด ผลึกเดี่ยว โดยมีขนาดพิกัดกำลังสูงสุด 260 W จำนวน 1

แผง แรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 36 V และ กระแสสูงสุดไม่เกิน 8 A มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน 36 V 500 W และวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับมอเตอร์นี้

2. การออกแบบชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน

การออกแบบสร้างชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน จะเป็นการนำวงจรต่างๆ มาประกอบ รวมเข้าด้วยกัน จะประกอบไปด้วยวงจรต่าง ๆ เช่น วงจรกำลัง วงจรไฟเลี้ยง วงจรควบคุมการทำงาน วงจรตรวจจับสัญญาณ วงจรเก็บผลและแสดงผล เป็นต้น [5] แต่ละวงจรจะมีหน้าที่และการทำงานที่แตกต่างกัน เมื่อนำวงจรแต่ละวงจรมาประกอบเข้าด้วยกัน จะทำให้ชุดควบคุมนี้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถใช้ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้นเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้สำหรับการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่จะส่งกำลังไปที่ใบพัดเพื่อใช้ในการตักน้ำให้เกิดการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ BLDC

3. ขั้นตอนการทำงานการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์

ในขั้นตอนการทำงานการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์มี 6 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง กำหนดค่าต่าง ๆ ของ Controller

RB0 รับค่า V_{sensor}

RB1 รับค่า Forward/Reward

RD1 รับค่าจาก Hall sensor เพื่อคำนวณ

สัญญาณ RPM

RB3 รับค่า Hall sensor A

RB4 รับค่า Hall sensor B

RB5 รับค่า Hall sensor C

RB7 รับค่า Voltage Sensor

ขั้นตอนที่สอง เมื่อ RB1 รับสัญญาณ Start จะ

ทำให้ RB0 ทำการรับค่า V_{ref} และ RB7 รับค่า

V_{sensor} แล้วทำการเปรียบเทียบ V_{ref} กับ V_{sensor}

ขั้นตอนที่สาม

ถ้า V_{ref} เท่ากับ V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเท่าเดิม และทำการสั่งให้ตัววงจรทำงาน

ถ้า V_{ref} มากกว่า V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเป็นลบ และสั่งให้ตัววงจรทำงานในโหมดบัก

ถ้า V_{ref} น้อยกว่า V_{sensor} เปอร์เซ็นต์ ดิวตี้ไซเคิลจะเป็นบวก และทำการสั่งให้ตัววงจรทำงานในโหมดบูท

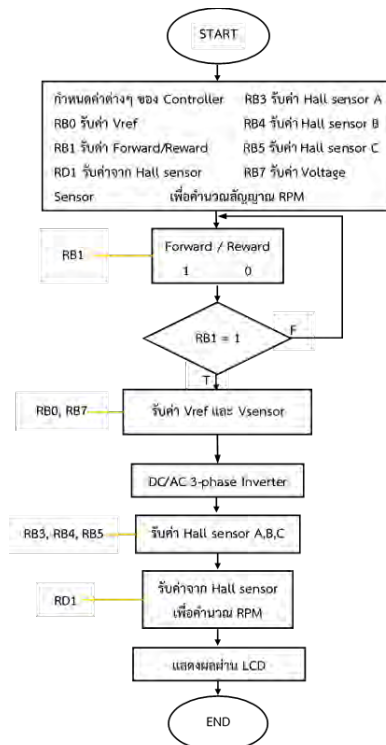
ขั้นตอนที่สี่ วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสทำงาน และ RD1 รับค่าจาก Hall sensor เพื่อคำนวณค่า RPM

ขั้นตอนที่ห้า แสดงค่า V_{in} , V_{ref} , %Duty Cycle และ RPM ผ่านจอแสดงผล LCD

ขั้นตอนที่หก

จบการทำงาน

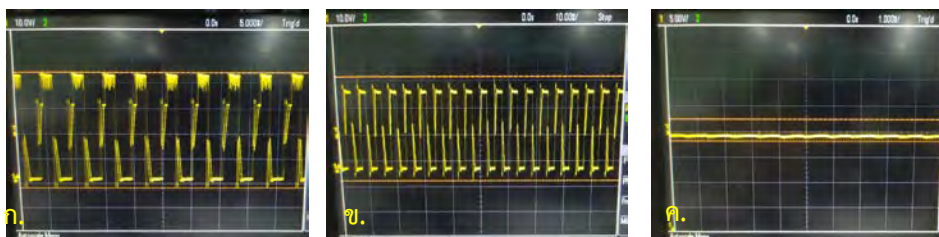
แผนภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ BLDC แสดงดังรูปที่ 8



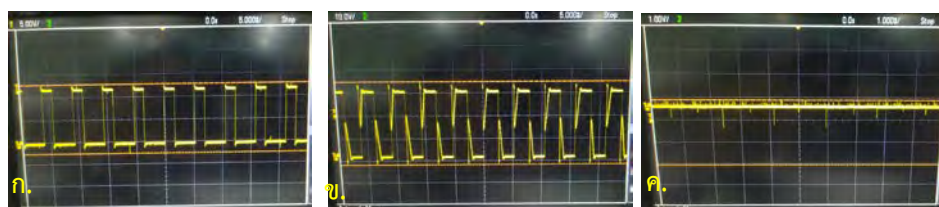
รูปที่ 8 แผนภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของวงจรอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ BLDC

4.สัญญาณที่ออกจากตัวมอสเฟสด้าน High และ Low ของวงจรอินเวอร์เตอร์

เมื่อทำการสร้างวงจรของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีฟังก์ชันการติดตามกำลังไฟฟ้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ออกจากตัวมอสเฟสด้าน High ของวงจรอินเวอร์เตอร์ ได้สัญญาณไฟฟ้าที่แสดงดังรูปที่ 9 และสัญญาณมอสเฟตทางด้าน Low ของวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงดัง รูปที่ 10



รูปที่ 9 ก. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาเกต เมื่อเทียบกับกราวด์ ข. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาซอส เมื่อเทียบกับกราวด์ ค. สัญญาณมอสเฟตด้าน High ขาเดรน เมื่อเทียบกับกราวด์



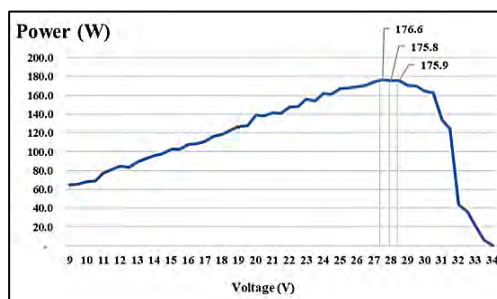
รูปที่ 10 ก. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาเกต เมื่อเทียบกับกราวด์ ข. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาซอส เมื่อเทียบกับกราวด์ ค. สัญญาณมอสเฟตด้าน Low ขาเดรน เมื่อเทียบกับกราวด์

ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการทดลองการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด แสดงผลค่ากำลังไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ นำมาเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

1. การหาช่วงกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดในงานวิจัยนี้ใช้เทคนิควิธีเทียบสัดส่วนแรงดันขณะเปิดวงจร (A Fixed Percentage of the Open-circuit Voltage) โดยการทดลองขั้นตอนแรกเป็นการหาค่าแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) สูงสุด ผลการทดลองวัดค่าจากการปรับ V_{ref} ที่ค่าต่าง ๆ แสดงผลผ่านวัตต์มิเตอร์และจอ LCD จากวงจรควบคุมมอเตอร์ BLDC ที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อทำการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยมีมอเตอร์เป็นโหลด (ภายในวันที่ 14 ก.พ. 2564) แสดงดังรูปที่ 11



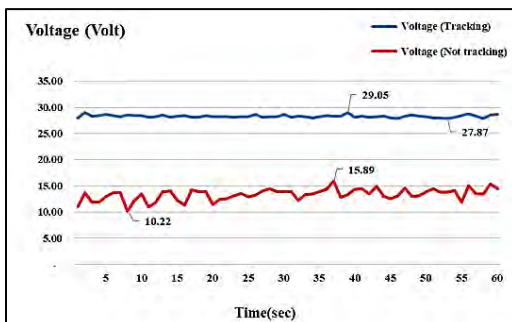
รูปที่ 11 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบแรงดันตามการปรับ V_{ref} ณ ช่วงเวลา 13:00 น. (ภายในวันที่ 14 ก.พ. 2564)

จากแผนภูมิเชิงเส้นนี้จะสังเกตได้ว่า เมื่อทำการปรับค่า V_{ref} ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะมากที่สุดในช่วงระดับแรงดันประมาณ 27-28 V ตามสภาพอากาศและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อได้ค่า V_{ref} ที่ทำให้ได้ช่วงการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนั้น จะทำการวัดค่าเก็บผลโดยใช้ช่วง V_{ref} ที่ 28 V เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าที่ได้กับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด

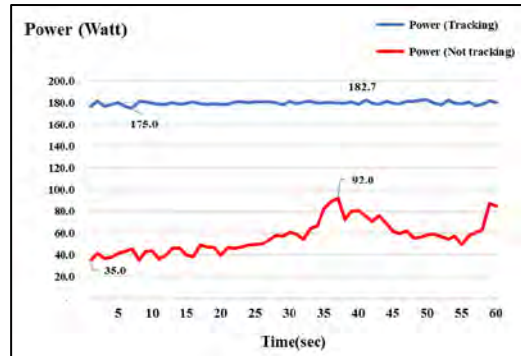
2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแรงดันขาเข้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้

เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการเพิ่มการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด และไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดในกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บผลค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากทั้ง 2 กรณี โดย กรณีที่ไม่มีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือ ผู้วิจัยจะทำการ drive มอเตอร์ โดยใช้แค่ code ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เท่านั้นไม่มีฟังก์ชันการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด และกรณีที่ 2 เป็นการเพิ่มการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด คือมีการนำเอาฟังก์ชัน V-Constant ในระบบกังหันน้ำพลังงานแสงอาทิตย์



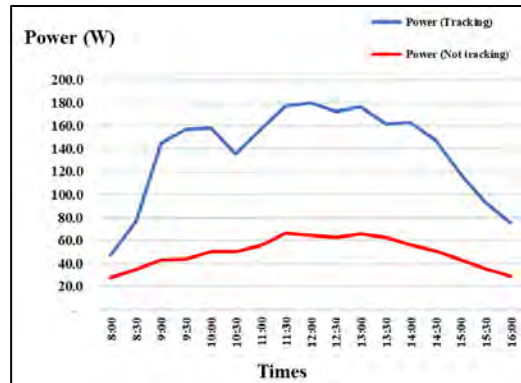
รูปที่ 12 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จากรูปที่ 12 แสดงให้เห็นระดับแรงดันจากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้า เมื่อทำการปรับ V_{ref} ไปที่ 28 V ค่าแรงดันขาเข้าจะนิ่งกว่าวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เสถียรมากกว่าดังแสดงในรูปที่ 13 นั้นเอง



รูปที่ 13 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

จากผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการติดตามและไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ได้ทำการทดสอบเวลา 8:00-16:00 น. จากสภาพอากาศจริงนั้น ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามรูปที่ 14



รูปที่ 14 แผนภูมิเชิงเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ติดตามกำลังไฟฟ้าในเวลา 1 วัน

จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการตั้งติตวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ จะเพิ่มขึ้น และได้ RPM ที่สูงกว่าวงจรที่ไม่ได้ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด ส่งผลให้มอเตอร์ BLDC ที่ใช้สำหรับระบบกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งวงจรติดตาม

กำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วนั้น มีประสิทธิภาพในการดึงกำลังไฟฟ้ามาใช้งานเพิ่มสูงขึ้น

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพมอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการเลือกใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดลองต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ขนาด 36 V กำลัง 260 W ผ่านชุดติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์และต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน โดยผลการทดลอง สรุปได้ว่า ในสภาวะปกติของกังหันน้ำพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่ไม่ได้ใช้วงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 49.5 W แต่เมื่อได้มีการติดตั้งวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดแล้วทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้า จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 137.7 W จะเห็นได้ว่าเมื่อมีวงจรติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะได้กำลังไฟฟ้ามากกว่าถึง 88.2 W หรือมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2.78 เท่า ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรที่ถูกพัฒนาทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ที่มีความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นเงาของเมฆหรือไม่มีก็ตาม ยังคงสามารถทำงานได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยสนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

References

- [1] Ministry of Energy. (2015). Renewable and alternative energy. Renewable and Alternative Energy Development Plan 2015 - 2036, 2015 (Vol.1), Page 1.
- [2] Serm Janjai. (2017). *Solar Radiation*. (2). Nakhon Pathom: Petchkasem Printing Group Company Limited.
- [3] Promphak Boonraksa. (2019). The Power Output Forecasting on Photovoltaic Systems using the Particle Swarm Optimization - Artificial Neural Network Method. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Doctor of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2018). *Thailand Alternative Energy Situation 2018*. Vol. 16 (No.16), Page 27. Bangkok: Ministry of Energy.
- [5] Weerachet khunngern and Wuttipol Tarateraset. (2014). *Power Electronics* (3). Bangkok: v-j-printing-limited-partnership.
- [6] Teywin Nilsakorn. (2014). Improving drive system efficiency for brushless DC electric motors. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

- [7] Taywin nilsakron. Promphak Dawan. (2016). A Study of the Effect of BLDC Motor Operation and ASD Adjusted by Various Position of Hall Effect Sensors. *Wichcha journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University*, Vol. 35 (No.), pp. 79 – 91.
- [8] Promphak Boonraksa, and Terapong Boonraksa, “Comparison of Performance Cuk, SEPIC converters and PSO Algorithm for MPPT on Solar Panel,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 76-85.
- [9] Promphak Boonraksa, Tanakorn Thongpan, Monthicha Datraweeroj Sutanee Aimarom and Terapong Boonraksa, “A Study of Cuk Converter for Maximum Power Point Tracker on 80 W Mono-Crystalline Solar Panel,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 86-96.
- [10] Maximum power point tracking. (2017). Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems, 35–87. <https://doi.org/10.1201/b14303-2>
- [11] Promphak Boonraksa, Channarong Salakham, Satawat Phumpakwan, “Performance of Maximum Power Point Tracking Using SEPIC Converter,” in the eighth national symposium and the fourth international symposium "Research and Innovation for the Development of Society toward Sustainability" Conference Program, Bangkokthonburi University, 2020, pp. 97-108.
- [12] Dawan, P., Worransuttikul, K., Kittisontirak, S., Sriprapha, K., and Titiroongruang, W. (2018). Performance of the Temperature Model in Forecasting the Power Output of Photovoltaic Systems. *International Electrical Engineering Congress*, Vol 1, pp. 209- 211.
- [13] Yousry Atia, (2014). Photovoltaic maximum power point tracking using sepic converter. *ERJ. Engineering Research Journal*, Vol 32(4), pp. 437-445. doi:10.21608/erjm.2009.69528
- [14] Tawin Nilsakhon. (2014). Efficiency improvement on brushless DC motor drive systems. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut’s institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [15] Yi-Hwa Liu, Shyh-Ching Huang, Jia-Wei Huang and Wen-Cheng Liang.(2012). A Particle Swarm Optimization-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol 27, Issue: 4.

- [16] Poom Konghuayrob. (2013). A study on multiple step size incremental conductance technique and fuzzy logic control for MPPT in flyback PV inverter. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.
- [17] Kritapas Phinsantia. (2014). Design Technique of brushless DC motor control with Sensorless Back EMF Zero Crossing Detection. Thesis Master of Electrical Engineering. King Mongkut's institute of Technology Ladkrabang, Thailand.

การใช้เทคนิคการวัดของไหลด้วยแสงเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ที่มีต่อใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในแนวทางใบ

ติณณภพ แพงผม^{1*}, จิระศักดิ์ พุกคำ²

^{1*}สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล

²สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email : Tinnapob.phe@mahidol.ac.th

Received: May 7, 2021

Revised: Jun 13, 2021

Accepted: Jun 16, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ต่อใบพัดกังหันลมในแนวทางใบตัวแปรที่สนใจในงานวิจัยนี้คือมุมปะทะและการไหลวนบนพื้นผิวของใบพัดกังหันลมแนวแกนนอนในขณะที่ใบพัดหมุนกังหันลมแนวแกนนอนที่นำมาทดสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลางโรเตอร์ 2.4 เมตร และมีจำนวนใบพัด 3 ใบ ใบพัดแต่ละใบจะประกอบไปด้วยแผ่นอากาศ 4 ชนิดประกอบไปด้วย DU91-W2-250 DU93-W-210 NACA63-618 และ NACA63-215 รายละเอียดของความเร็วลมจะถูกวัดด้วย Laser Doppler Velocimetry (LDV) ภายในอุโมงค์ลม หลังจากได้รายละเอียดของความเร็วลมบนพื้นผิวของใบพัดกังหันลมสามารถนำไปหาค่ามุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลม ผลการศึกษาของงานวิจัยนี้พบว่ามุมปะทะที่อัตราความเร็วปลายใบต่ำจะมีค่าสูงกว่ามุมปะทะที่อัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสม (Optimum tip speed ratio) เมื่อทำการเปรียบเทียบกับทฤษฎี BEM จะพบว่าค่ามุมปะทะใกล้เคียงกันในช่วงกลางใบถึงปลายใบ ส่วนบริเวณโคนใบพัดมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากความซับซ้อนของการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) บริเวณโคนใบพัดซึ่งทฤษฎี BEM ไม่อาจที่คำนวณได้ การคำนวณการหมุนวนบนผิวใบพัด (Circulation) กังหันลมในแนวทางใบ (Spanwise direction) ให้ผลลัพธ์คือจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่จะตกลงอย่างรวดเร็วบริเวณปลายใบเนื่องจากการก่อตัวของ tip vortex

คำสำคัญ : กังหันลมแนวแกนนอน, มุมปะทะ, การไหลวน, อากาศพลศาสตร์

Sing Laser Doppler Velocimetry to Study the Effect of Aerodynamic Factors for Horizontal Axis Wind Turbine Blade in Spanwise Direction

Tinnapob Phengpom^{1*}, Jirasak Pukdum²

^{1*} Institute for Innovative Learning, Mahidol University

² Department of Facility Management, Faculty of Architecture and Design,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Email : Tinnapob.phe@mahidol.ac.th^{*}

Received: May 7, 2021

Revised: Jun 13, 2021

Accepted: Jun 16, 2021

Abstract

This research aimed to study aerodynamic factors for wind turbine blade in spanwise direction. This research focused on the angle of attack and circulation on the horizontal axis of the wind turbine (HAWT) near the blade surface during rotating condition. The horizontal axle wind turbine has a rotor diameter of 2.4 meters with 3 blades. Each blade comprises four airfoils (DU91-W2-250, DU93-W-210, NACA63-618, and NACA63-215). Detail measurements of velocity on the blade surface were measured in a wind tunnel by Laser Doppler Velocimetry (LDV). The detail measurements of velocity can be used to find the angle of attack and the circulation on the wind turbine blade surface. The results showed that the low tip speed ratio has a high angle of attack more than the optimum tip speed ratio. When comparing with BEM theory, the results show agreement from midspan to outboard, but the inboard is noticeably different. It corresponds to complicated flow at the inboard which BEM theory cannot be the calculation. The circulation increases when approaching outboard, but the circulation decreases rapidly at the tip of the blade. It corresponds to the effect of tip vortex.

Keywords : Horizontal axis wind turbine, Angle of attack, Circulation, Aerodynamic

บทนำ

ในอดีตพลังงานในการขับเคลื่อนด้านอุตสาหกรรมของแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก แต่ปัจจุบันได้มีการนำพลังงานทดแทนจากธรรมชาติมาใช้ทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลกันอย่างแพร่หลายอันเนื่องมาจากผลเสียจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล อาทิ เช่น ปัญหาปรากฏการณ์โลกร้อน ปัญหามลพิษ และปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิง เป็นต้น ประเทศไทยได้มีนโยบายนำพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี พ.ศ. 2551-2565 ประเทศไทยมีเป้าหมายการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายโดยการเพิ่มพลังงานทดแทนให้ถึง 20% ภายในปี พ.ศ. 2565 ซึ่งต้องการพลังงานจากลมถึง 800 เมกะวัตต์ [1] ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่สามารถผลิตพลังงานขั้นสุดท้ายจากพลังงานลมได้ไม่ถึงครึ่งหนึ่งที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้จึงเป็นหนึ่งในงานวิจัยเพื่อค้นคว้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันลมและนำผลการศึกษาไปต่อยอดในการทำกังหันลมที่เหมาะสมกับประเทศไทย โดยปกติกังหันลมแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกันก็คือ กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) และกังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) [2] การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมในประเทศไทยในปัจจุบันได้มีการศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมอย่างจริงจังยกตัวอย่างเช่นงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำการพัฒนาและสาธิตต้นแบบเทคโนโลยีกังหันลมผลิตไฟฟ้าความเร็วต่ำ ผลการวิจัยทำให้ประเทศไทยได้ต้นแบบกังหันลมแนวแกนนอนในการผลิตไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ที่เหมาะสมกับการผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลมเฉลี่ย 3-4 เมตรต่อวินาที [3] และ นอกจากนี้ยังมีโครงการวิจัยพัฒนางังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบขนาด 50 กิโลวัตต์ การทดสอบพบว่ากังหันลมเริ่มผลิตไฟฟ้าที่ความเร็วลม 2.5 เมตรต่อวินาทีและได้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 50

กิโลวัตต์ที่ความเร็วลม 10.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะได้กังหันลมที่มีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ 30 เปอร์เซ็นต์ของกำลังสูงสุดสำหรับลมเฉลี่ยในประเทศไทย [4] การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานลมในประเทศไทยต่างประเทศสำหรับกังหันลมแนวแกนนอนมีงานวิจัยที่โดดเด่น คือการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการไหลของอากาศโดยใช้อุปกรณ์ Laser Doppler velocimetry หรือ LDV [5, 6, 7] การวิจัยพบว่ากระแสลมที่กระทำกับใบพัดกังหันลมประกอบไปด้วยความเร็ว 3 ทิศทางอันได้แก่ Axial, Tangential และ Span-wise velocities นอกจากนี้การทดสอบยังค้นพบว่าความเร็วลมในแนวแกนใบ (Span-wise velocity) เกิดขึ้นมาจากแรงหนีศูนย์กลางขณะที่ใบพัดกังหันลมหมุน อย่างไรก็ตามได้มีนักวิจัยพยายามพัฒนาโรเตอร์ของกังหันลมโดยการศึกษาอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงกระแสลม เปรียบเทียบกับการคำนวณทางด้านตัวเลขโดยใช้ทฤษฎี Blade Element Momentum (BEM) ผลการทดสอบและการคำนวณทางด้านตัวเลขมีความแตกต่างกันเนื่องจากความซับซ้อนของความเร็วลัพท์ 3 มิติที่เกิดจากการหมุนของใบพัด [8]

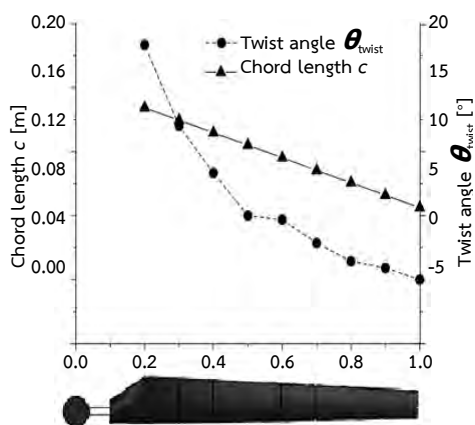
งานวิจัยที่นำเสนอใช้นำข้อมูลการไหลของอากาศที่ตรวจวัดได้จาก Laser Doppler velocimetry มาวิเคราะห์มุมปะทะและการไหลวนบนผิวใบพัดกังหันลมว่ามีพฤติกรรมอย่างไรตามตลอดแนวแกนใบจากบริเวณโคนใบถึงปลายใบ

อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นกังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) ชนิดแบบ 3 ใบพัด โรเตอร์ของกังหันลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตรติดตั้งในรูปที่ 1 ในแต่ละใบพัดจะประกอบไปด้วยแพนอากาศ 4 ชนิด (DU91-W2-250 DU93-W-210 NACA63-618 และ NACA63-215) แพนอากาศทั้ง 4 ชนิดทำมาจากโพลียูรีเทน รูปร่างของใบพัดออกแบบใช้

ทฤษฎี Blade Element Momentum (BEM) ตัวใบพัดมีการบิดและเรียวทีละนิดจนถึงปลายใบ ตำแหน่งของโคนใบพัดเริ่มต้นที่ตำแหน่ง $r/R = 0.1$ แพนอากาศทั้ง 4 ชุดจะวางตำแหน่งตามแกนทางใบพัด ตำแหน่งของแพนอากาศซึ่งเริ่มต้นที่ตำแหน่ง $r/R = 0.2$ โดยใช้ DU91-W2-250 ($r/R = 0.2-0.3$) DU93 W-210 ($r/R = 0.4-0.5$) NACA63-618 ($r/R = 0.6-0.8$) และ NACA63-215 ($r/R = 0.9-1.0$) ตามลำดับ

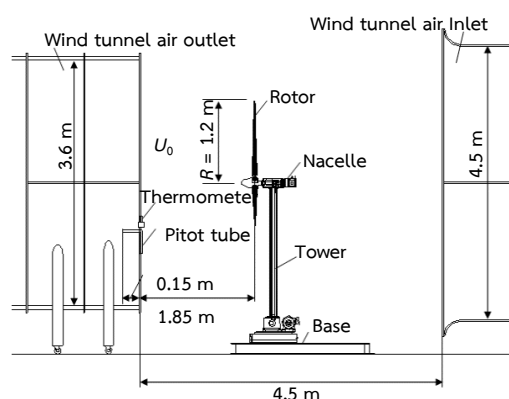
การกระจายมุมบิดและความยาวคอร์ดของใบพัดจะเห็นว่าลักษณะของใบพัดที่ใกล้โคนจะมีมุมบิดมากและมีขนาดความยาวคอร์ดมากด้วย มุมบิดของใบพัดจะค่อยๆ บิดน้อยลงและค่อยๆ ลดความยาวคอร์ดลงทำให้ใบพัดมีลักษณะเรียวปลาย



รูปที่ 1 การกระจายมุมบิดและความยาวคอร์ด

รูปที่ 2 แสดงลักษณะภายนอกและภายในของอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ อุโมงค์ลมเป็นชนิดไหลวน (Circular Wind Tunnel) ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมิเอะ ประเทศญี่ปุ่น บริเวณด้านในอุโมงค์ลมจะมีพื้นที่ทดสอบซึ่งเป็นลักษณะเปิดโล่ง ช่องทางออกของกระแสลมมีลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.6 เมตร และ ช่องทางเข้ากระแสลมมีลักษณะเป็น

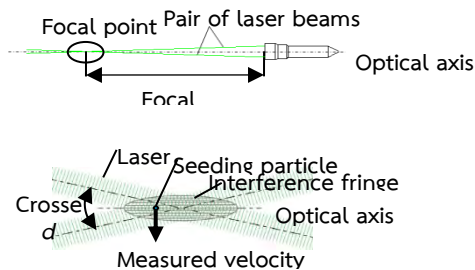
สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 4.5 เมตร x ยาว 4.5 เมตร อุโมงค์ลมใช้พัดลมกำลัง 400 กิโลวัตต์ในการผลิตกระแสลมโดยสามารถปรับความเร็วกระแสลมได้สูงสุดถึง 30 เมตรต่อวินาที โรเตอร์ถึงช่องทางออกของกระแสลมมีระยะ 1.8 เมตร ความเร็วสามารถวัดค่าได้ด้วยท่อปีโตต์ งานวิจัยในครั้งนี้ใช้กระแสลมคงที่ 7 เมตรต่อวินาที ความเข้มข้นของความปั่นป่วนน้อยกว่า 0.5% การหมุนของใบพัดควบคุมด้วยเซอร์โวมอเตอร์



รูปที่ 2 แสดงภายนอกและภายในอุโมงค์ลม

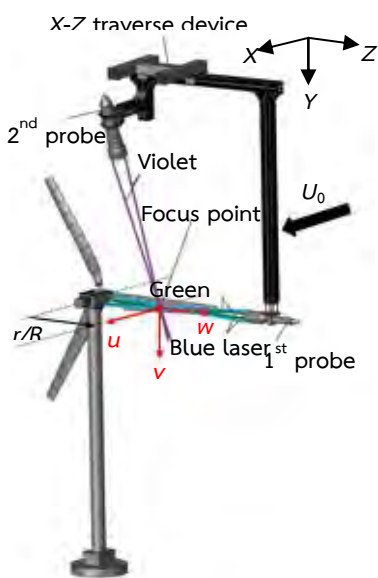
สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลมในอุโมงค์ลมจะใช้ Laser Doppler Velocimetry (LDV) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดความเร็วของลมชนิดหนึ่งที่ใช้ประโยชน์ธรรมชาติที่เรียกว่าปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) ข้อดีของการวัดความเร็วด้วย LDV คือระบบสามารถสร้างปริมาตรที่ใช้ในการวัดความเร็ว (Measuring volume) โดยการตัดกันของเลเซอร์สองเส้นที่มีความยาวคลื่นเท่ากัน (Pair of laser beams) ที่ตำแหน่งโฟกัส (Focal length)

ระบบ LDV จะไม่มีการรบกวนการไหลในปริมาตรของ Measuring volume ในขณะที่วัด นอกจากนี้ อุณหภูมิ ความดัน และข้อจำกัดทางกายภาพไม่สามารถส่งผลกระทบต่อการใช้วิธี LDV การสร้างปริมาตรการวัดและลักษณะของปริมาตรการวัดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริมาตรวัดความเร็วของเทคนิค LDV

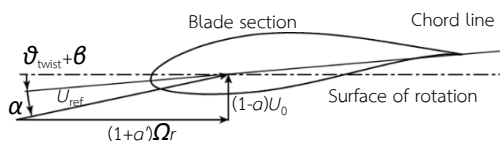
สำหรับระบบ LDV ที่จะใช้ในการวัดส่วนประกอบของความเร็วลม (Velocity components) ในแกน X Y และ Z บริเวณผิวของใบพัดนั้นต้องใช้หัวเลเซอร์ LDV 2 หัวติดตั้งในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้งดังรูปที่ 4 งานวิจัยนี้เพื่อที่จะสามารถวัดส่วนประกอบความเร็วใน 3 แกนพร้อม ๆ กันจึงประยุกต์ใช้หัวเลเซอร์ 2 หัวพร้อมกับใช้คูของแสงเลเซอร์ 3 คู่ ในการหาส่วนประกอบความเร็วในแต่ละแกนหัวเลเซอร์จะติดตั้งบนอุปกรณ์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ในระนาบ X-Z มุมหมุนของโรเตอร์ (Azimuth angle) สามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำโดยใช้ single reset pulse



รูปที่ 4 กังหันลมและตำแหน่งหัวเลเซอร์

ผลการวิจัย

การคำนวณมุมปะทะทั้งจากวิธีการทดสอบจาก LDV และการคำนวณจากทฤษฎี BEM จะนำมาเปรียบเทียบที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ ($\lambda = 3.7$) และสภาวะสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสม ($\lambda = 5.2$) ซึ่งเป็นสภาวะความเร็วปลายใบที่กังหันลมให้ค่าสัมประสิทธิ์กำลังงานสูงสุด คือ 0.43 รูปที่ 5 แสดงแผนภาพภาคตัดขวางใบพัด จากรูปจะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะและสามเหลี่ยมความเร็ว (Velocity triangle)



รูปที่ 5 แผนภาพความเร็ว

มุมปะทะ α สามารถหาจากสมการ

$$\alpha = \tan^{-1} \left[\frac{(1-a)U_0}{(1+a')\Omega r} \right] - (\theta_{\text{twist}} + \beta) \quad (1)$$

เมื่อ α = มุมปะทะ $^{\circ}$

θ_{twist} = มุมบิดของใบพัดที่ตำแหน่งใดๆ $^{\circ}$

β = มุมพิทช์ (= -2) $^{\circ}$

a = Axial induced factor [-]

a' = Tangential induced factor [-]

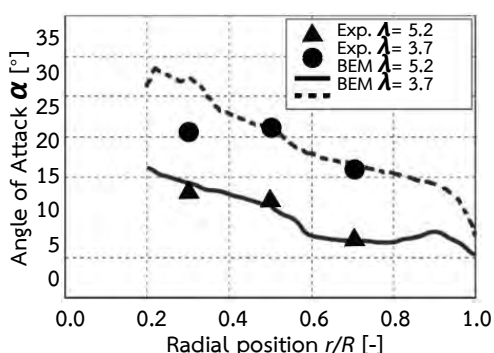
Ω = ความเร็วเชิงมุม (1/s)

r = รัศมี [m]

U_0 = กระแสลมหลัก (= 7) [m/s]

รูปที่ 6 แสดงมุมปะทะจากข้อมูลการวัดโดย LDV ที่ระยะ $r/R = 0.3$ 0.5 และ 0.7 และมุมปะทะจากทฤษฎี BEM ที่ระยะ $0.2 < r/R < 1.0$ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามุมปะทะในสภาวะทำงานที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ ($\lambda = 3.7$) จะมีค่าสูงกว่าสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสม

($\lambda = 5.2$) เนื่องจากมุมปะทะที่สูงทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศบนผิวใบพัดเป็นวงกลม (Vortex) ส่งผลให้เกิด stall อย่างรุนแรงในสภาวะนี้ เมื่อพิจารณามุมปะทะที่ระยะ $r/R = 0.5$ และ 0.7 เกือบจะมีค่าเท่ากับการคำนวณจากทฤษฎี BEM ซึ่งเราสามารถบอกได้ว่าทฤษฎี BEM สามารถพยากรณ์มุมปะทะได้อย่างคร่าวๆ จากช่วงกลางใบพัดถึงปลายใบพัด ระยะ $r/R = 0.3$ ทฤษฎี BEM ไม่สามารถคำนวณได้ถูกต้องเนื่องจากการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ของความเร็วลัพท์ 3 มิติในสภาวะการหมุนจริงของกังหันลม และบริเวณโคนใบจะมีผลกระทบจากแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) โดยมีผลต่อกระแสลมในทิศทางแนวแกนใบพัด (Span-wise direction) ทฤษฎี BEM สามารถคำนวณความเร็วลัพท์ได้เพียง 2 มิติเท่านั้น



รูปที่ 6 มุมปะทะ

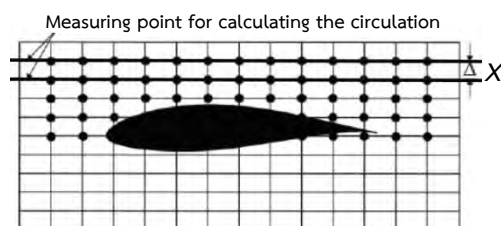
การไหลวนบนผิวใบพัดกักเก็บลมสามารถคำนวณได้จากสมการความเร็วเหนี่ยวนำดังสมการที่ 2

$$\Gamma = 2\pi \left(\frac{\partial(1/\Delta v)}{\partial x} \right)^{-1} \quad (2)$$

เมื่อ Γ = การไหลวนบนผิวใบพัด [m^2/s]
 v = ความเร็วสัมผัสเหนี่ยวนำ [m/s]
 X = ตำแหน่งในระนาบแนวแกน X [m]

ในการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดจะใช้ข้อมูลจากการวัดความเร็วลมจาก LDV โดยการคำนวณจะต้องตั้งขอบเขตพื้นที่ควบคุม (Control volume) ดังรูปที่ 7

จุดสีดำในรูปแสดงถึงตำแหน่งการวัดจาก LDV ส่วนเส้นสีดำแสดงถึงตำแหน่งการวัดที่ใช้ในการคำนวณ เมื่อแทนค่าในสมการที่ 2 จะได้ผลของการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดได้

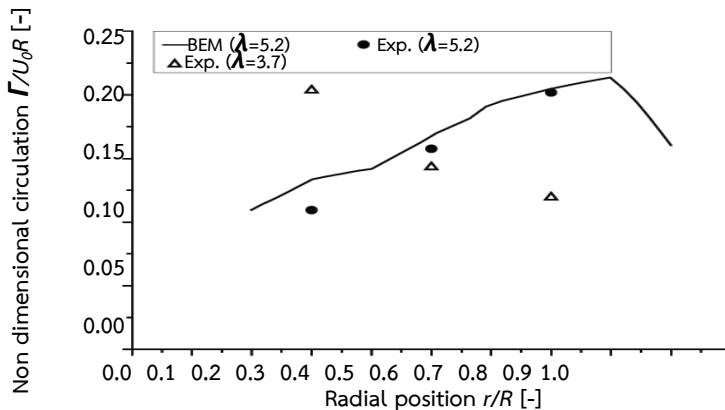


รูปที่ 7 พื้นที่ควบคุมในการคำนวณการไหลวน

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่าการทำนายการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสม ($\lambda = 5.2$) ด้วยทฤษฎี BEM จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆตามแนวแกนใบจนถึงที่ระยะ $r/R = 0.8$ จากนั้นจะลดลง ซึ่งเหตุผลของปรากฏการณ์นี้คือการก่อตัวของกระแสลมที่ปลายใบพัด (Tip vortex) การคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสม ($\lambda = 5.2$) จากข้อมูลจาก LDV จะพบว่าค่าของการไหลวนบนผิวใบพัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใกล้ปลายใบพัด สำหรับในการคำนวณการไหลวนบนผิวใบพัดที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ ($\lambda = 3.7$) จากข้อมูลจาก LDV จะพบว่าจะมีลักษณะคล้ายๆกับกรณีอัตราส่วนความเร็วปลายใบเหมาะสมแต่มีค่าต่ำกว่บริเวณ $r/R = 0.3$ เหตุผลที่ตำแหน่ง $r/R = 0.5$ และ $r/R = 0.7$ มีค่าการไหลวนบนผิวใบพัดต่ำก็เพราะการที่มีมุมปะทะที่สูงทำให้เกิดการลดลงของแรงยกและเพิ่มแรงต้านทำให้เกิด Stall ส่วนเหตุผลที่ $r/R = 0.3$ มีค่าที่สูงสำหรับสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ

($\lambda=3.7$) ข้อสันนิษฐานน่าจะมาจากรูปร่างใบพัดที่หนาพร้อมทั้งมีชายปีกหน้าที่ยังเกร็งและการมีกระแสลมไหลในแนวทางใบจากอิทธิพลของแรงหนีศูนย์กลางในตำแหน่งนี้ทำให้ช่วยลดการแยกชั้น

ขอบเขตของอากาศดังนั้นอาจทำให้ปรากฏการณ์สูญเสียแรงยก (Stall) ไม่เกิดขึ้นในตำแหน่งนี้จึงมีค่าการไหลวนบนพื้นผิวใบพัดสูง



รูปที่ 8 การไหลวนบนผิวใบพัดตามแนวทางใบ

สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดสอบในอุโมงค์ลมพบว่าใบพัดต้นแบบให้ผลสรุปดังนี้

1. มุมปะทะที่สภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำจะมีค่ามุมปะทะที่สูงเนื่องจากเกิด stall ส่งผลให้กระแสลมบนพื้นผิวใบพัดมีความปั่นป่วนในทิศทางการไหลและกระแสลมไม่ยึดติดกับผิวใบพัดและไหลออกจากผิวใบพัด

2. การไหลวนบนผิวใบพัดในสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบที่เหมาะสมมีค่าที่สูงกว่าสภาวะอัตราส่วนความเร็วปลายใบต่ำ

3. การไหลวนบนผิวใบพัดจะลดลงอย่างรวดเร็วบริเวณปลายใบเนื่องจากการก่อตัวของกระแสลมที่ปลายใบพัด

4. ทฤษฎี BEM สามารถทำนายตัวแปรทางอากาศพลศาสตร์ได้คร่าว ๆ บริเวณกลางใบพัดถึงปลายใบพัด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ขอแสดงความขอบคุณ Prof. Dr. Takao Maeda จากห้องวิจัย Fluid Engineering for Energy and Environment Laboratory, Mie University, ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิจัยนี้ และขอแสดงความขอบคุณบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของทางห้องวิจัยที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้

References

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2020, October 10). Alternative Energy Development Plan AEDP2018 (1st ed.). [Online]. Available: https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf

- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2021, January 19). Energy Situation 2021 (1st ed.). [Online]. Available: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47349
- [3] W. Roynarin, "Studying of 100 KW Micro Wind Farm for Low Wind Speed Machines," in *Processing of 9th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium*, Chiang Rai, Thailand, 2011, pp.1-4.
- [4] S. Chatthong and W. Roynarin, "Analysis on Maximum Rotational Speed of 20 kW Wind Turbine Blade Performance," in *Processing of 7th Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)*, Phuket, Thailand, 2011, pp.444-447.
- [5] T. Phengpom, Y. Kamada, T. Maeda, T. Matsuno and N. Sugimoto "Analysis of Wind Turbine Pressure Distribution and 3D Flows Visualization on Rotating Condition," *IOSR Journal of engineering*, Vol.6, No.2, pp. 18-30, Feb. 2016.
- [6] T. Phengpom, Y. Kamada, T. Maeda, J. Murata, S. Nishimura and T. Matsuno "Experimental investigation of the three-dimensional flow field in the vicinity of a rotating blade," *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol.10, No.2, Paper No.15-00313, pp.1-16, Sep. 2015.
- [7] T. Phengpom, Y. Kamada, T. Maeda, J. Murata, S. Nishimura and T. Matsuno "Study on Blade Surface Flow around Wind Turbine by Using LDV Measurements," *Journal of Thermal Science*, Vol.24, No. 2, pp.131-139, Apr. 2015.
- [8] G. Ronsten "Static pressure measurements on a rotating and a non-rotating 2.375 m wind turbine blade. Comparison with 2D calculations." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.39, No.1, pp. 105–118. Feb. 1992.

การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์และสภาพแวดล้อมการทำงาน

กลุ่มอาชีพทำมะพร้าวชาว จังหวัดสมุทรสงคราม

อรัญ ขวัญปาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: aran.kw@ssru.ac.th

Received: Aug 18, 2021

Revised: Dec 9, 2021

Accepted: Dec 20, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ และเพื่อศึกษาอาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนทำมะพร้าวชาว เลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยการสุ่มโดยใช้การคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง และเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือวัดด้านสุขศาสตร์ ได้แก่ เครื่องวัดเสียง แสงสว่าง ความร้อน ความสั่นสะเทือน และฝุ่น และใช้แบบประเมิน ได้แก่ แบบประเมินอาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ และแบบประเมินท่าทางในการทำงาน (RULA) วิเคราะห์ผลด้วยสถิติเชิงพรรณนา คือ ความถี่ ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติเชิงอนุมาน คือ One-sample t-test, Independent-sample t-test และ One-way ANOVA

ผลการวิจัย พบว่า การศึกษาผลการประเมินความเสี่ยงด้วยแบบประเมิน RULA ขั้นตอนการนำมะพร้าวขึ้นรถ การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก การการกะเทาะกะลามะพร้าว ค่าเฉลี่ย = 7 ซึ่งหมายถึงงานนั้นมีปัญหาทางกายศาสตร์ และต้องมีการปรับปรุงพื้นที่

การตรวจวัดประเมินค่าแสงสว่าง ค่าความร้อน ค่าความสั่นสะเทือนในการทำงานมีค่าระดับที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานค่าความเข้มกฎหมายกำหนดไว้ จากการตรวจวัดประเมินค่าเสียงพบว่า จุดที่ 1 การปอกผิวมะพร้าวชาว มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ย TWA_8 เท่ากับ 59.91 dB(A) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่จุดที่ 2-4 มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ย TWA_8 เท่ากับ 129.62 dB(A), 119.6 dB(A) และ 111.45 dB(A) ตามลำดับ เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด และการตรวจวัดประเมินค่าฝุ่น ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ จุดที่ 2 งานขนมะพร้าวขึ้นรถ ($101.912 \mu\text{g./m}^3$) ขนาด 10 ไมครอน ที่มีปริมาณมากที่สุดคือ จุดที่ 1 งานปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก ($148.516 \mu\text{g./m}^3$) ด้านการประสบอุบัติเหตุ พบว่า เพศ อายุงาน และชั่วโมงการทำงานต่อวันที่ต่างกัน ไม่มีความแตกต่างของการเกิดอุบัติเหตุ

คำสำคัญ : ความเสี่ยงด้านการยศาสตร์, สภาพแวดล้อมการทำงาน, มะพร้าวชาว

The ergonomic risk assessment and environmental work white coconut case study local communities Samutsongkram province

Aran Kwanpan

Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Email: aran.kw@ssru.ac.th

Received: Aug 18, 2021

Revised: Dec 9, 2021

Accepted: Dec 20, 2021

Abstract

This research the objectives of this are to study the process and the working environment, to assess risks of ergonomics, and to study musculoskeletal discomforts of the group of enterprises producing white grated coconut. In this research, samples are randomly chosen, regardless of probabilities. We perform a specific selection and collect data with hygienic measuring instruments, such as sound, light, heat, vibration, and dust meters. Moreover, this research uses the musculoskeletal discomfort assessment and the rapid upper limb assessment or RULA. The result is analyzed by descriptive statistics, such as frequency, percentage, and standard deviation, and inferential statistics, such as One-sample t-test, Independent-sample t-test and One-way ANOVA

The result shows the study of risk assessment results with RULA. It discovers that the process of throwing coconuts into the car, peeling the outer shell of a coconut, cracking coconut outer shell, the RULA index is at 7 suggesting that the task requires an immediate improvement of ergonomics, measurements for assessing light, heat, and vibration values in the operation are at a level in accordance with the standards of legal intensity. From the sound assessment, it is found that at point 1 or peeling white grated coconut, point 2 or coconut shelling, point 3 or coconut shelling work, and point 4 or peeling white grated coconut work have the exceeded benchmark with mean TWA_8 of 85.4 dB(A), 85.53 dB(A), 96.77 dB(A) and 95.97 dB(A), respectively. From dust assessment, it shows that the point with the highest content of 2.5-micron dust is point 2 or loading coconut work (101.91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), and the point with the highest content of 10-micron dust is point 1 or peeling the outer shell of coconut (148.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In terms of accidents, it is found that different sexes, years' experience, and working hours per day are not significantly different from accidents.

Keywords : The Ergonomic Risks, the Work Environment, the white coconut

บทนำ

มะพร้าว ถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าตั้งแต่กะลา เนื้อมะพร้าว น้ำมะพร้าว กาบมะพร้าว หรือแม้กระทั่งดอกและราก ทำให้มะพร้าวเป็นที่ต้องการของตลาดอยู่เสมอ ชุมชนส่วนใหญ่สร้างผลผลิตเป็นมะพร้าวผลและเตรียมเป็นมะพร้าวคั่วส่งตลาดสดหรือเตรียมเป็นมะพร้าวขาว ส่งเข้าโรงงานแปรรูปเพื่อทำกะทิ ซึ่งในกระบวนการทำมะพร้าวขาว ขั้นตอนการตัดแต่งเปลือกมะพร้าวนี้นี้ จะต้องใช้ความชำนาญในการทำสูง เพื่อที่จะให้มะพร้าวออกมามีหน้าตาสวยงาม เป็นการเพิ่มมูลค่า รวมถึงความมีประสิทธิภาพก่อนส่งออกขาย อาชีพทำมะพร้าวขาว จึงมีส่วนสำคัญอย่างมากในวงจรการผลิตมะพร้าวขาว ซึ่งในจังหวัดสมุทรสาครมีกลุ่มแรงงานนอกระบบจำนวนหนึ่งที่ยังคงประกอบอาชีพทำมะพร้าวขาวอยู่ โดยปัจจุบันแรงงานนอกระบบยังประสบปัญหาการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ อีกทั้งยังเข้าไม่ถึงบริการสุขภาพที่เหมาะสม ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นของแรงงานกลุ่มมะพร้าวขาว คือ เกิดการบาดเจ็บ เกิดอุบัติเหตุบริเวณมือและเท้า การปวดเมื่อยร่างกาย เป็นต้น

พบว่าจากแรงงานนอกระบบ 20.4 ล้านคน เป็นผู้มีปัญหา จำนวน 6.7 ล้านคน หรือร้อยละ 32.8 ของแรงงานนอกระบบทั้งหมด โดยมีปัญหาจากการทำงานร้อยละ 25.4 จากสภาพแวดล้อมในการทำงานร้อยละ 15.4 และความไม่ปลอดภัยในการทำงานร้อยละ 11.4 และสำหรับสภาพแวดล้อมในการทำงานผู้ทำงานแรงงานนอกระบบมีปัญหาในเรื่องอิริยาบถการทำงาน คือไม่ค่อยได้เปลี่ยนลักษณะท่าทางหรืออิริยาบถในการทำงานมากที่สุด ร้อยละ 39.9 รองลงมาเป็นการทำงานมีฝุ่นควัน กลิ่น ร้อยละ 27.2 และมีแสงสว่างไม่เพียงพอร้อยละ 13.8 (National Statistical Office., 2020) ผลการศึกษาความปลอดภัยจากการปฏิบัติงานของช่างซ่อมบำรุงมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่าพนักงานปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

จึงมีอาการเจ็บป่วยที่เกิดจากการทำงาน เช่น ปวดต้นคอ ปวดขาและเข่า เกิดปัญหากับสุขภาพตา คือ อาการปวดตา เคืองตา ตาพร่า และแสบตา และเกิดการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุจากการปฏิบัติงานขึ้นเป็นประจำทุกสัปดาห์ (Kwanpan, K., Pongsasanongkul, C., 2012) และผลการศึกษาความเมื่อยล้าจากการนั่งทำงานของพนักงานเย็บในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม พนักงานมีอาการปวดเมื่อยจากการทำงาน อีกทั้งสภาพแวดล้อมในการทำงานยังมีความเครียดในการทำงานและเกิดการเจ็บป่วยเกิดขึ้นตามมา (Phirom, T., Worachetwarawat, P., 2012)

จากการทบทวนปัญหาเห็นได้ว่าการทำงานในสภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสมและท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน ปัจจุบันยังไม่พบการศึกษากการทำงานในกลุ่มแรงงานนอกระบบทำมะพร้าวขาว ดังนั้นผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการการทำมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสาคร จึงมีแนวคิดที่จะจัดทำการศึกษาประเมินความเสี่ยงจากกระบวนการทำมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสาคร ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพนักงาน เพื่อปรับปรุงวิธีป้องกันอันตรายและแก้ไขปัญหที่เกิดจากกระบวนการทำมะพร้าวขาว ในจังหวัดสมุทรสาคร

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการและสภาพแวดล้อมการทำมะพร้าวขาวกลุ่มวิสาหกิจชุมชน
2. เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในกระบวนการทำมะพร้าวขาว
3. เพื่อศึกษาอาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยออกแบบการวิจัยศึกษาวัตถุประสงค์ ขอบเขต สมมติฐาน และกรอบแนวคิดการวิจัย โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง กำหนดด้วยทฤษฎีการสุ่มโดยไม่คำนึงถึงความเป็น (Non-Probability Sampling) ใช้การคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ดังนี้

1.1 เกณฑ์การคัดเข้า (Inclusion criteria)

1.1.1 กลุ่มที่ทำอาชีพมะพร้าวชาวในจังหวัดสมุทรสงคราม

1.1.2 กลุ่มที่ทำอาชีพมะพร้าวชาวแล้วไม่น้อยกว่า 2 ปี

1.1.3 กลุ่มที่มีจำนวนประชากรตั้งแต่ 10 คนขึ้นไป

1.1.4 กลุ่มที่ยินยอมเข้าร่วมการวิจัย

1.2 เกณฑ์คัดออก (Exclusion criteria)

1.2.1 เลิกประกอบอาชีพทำมะพร้าวชาวขณะทำการวิจัย

1.2.2 มีการเกิดอุบัติเหตุขณะทำการวิจัยและไม่สามารถกลับมาทำงานได้

1.2.3 เกิดการเจ็บป่วยขณะทำการวิจัยและไม่สามารถกลับมาทำงานได้

1.2.4 กลุ่มที่ไม่ยินยอมเข้าร่วมการทำการวิจัย

กลุ่มประชากรที่ผ่านเกณฑ์คัดเข้า (Inclusion criteria) จำนวนรวม 27 คน และออกจากโครงด้วยเกณฑ์คัดออก (Exclusion criteria) และจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (การแพร่ระบาดของไวรัสโควิด-19) จำนวน 9 คน ดังนั้น จำนวนกลุ่มตัวอย่างร่วมโครงการจนสำเร็จโครงการรวมทั้งสิ้น 18 คน

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย ประกอบด้วย เครื่องมือวัดด้านสุขศาสตร์ และ

แบบสัมภาษณ์ ซึ่งผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือการวัดนี้ขึ้นมาจากการตรวจสอบ การทบทวนแนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

2.1 แบบประเมินอาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยใช้ Nordic musculoskeletal questionnaire ประเมินอาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อใน 10 ส่วน ได้แก่ คอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบน ข้อศอก แขนส่วนล่าง มือ/ข้อมือ สะโพก/ต้นขา หัวเข่า น่อง และเท้า ภายใน 7 วันที่ผ่านมาทั้งข้างซ้ายและขวา

2.2 แบบประเมินท่าทางในการทำงาน Rapid upper limb assessment (RULA) ประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในการทำมะพร้าวชาวโดยใช้แบบประเมิน RULA เน้นร่างกายส่วนบนและรยางค์แขน

2.3 เครื่องมือวัดความเข้มแสงสว่าง โดยใช้ Lux meter

2.4 เครื่องมือการตรวจวัดเสียงในที่ทำงาน โดยเครื่องมือวัดเสียง ยี่ห้อ RION รุ่น NL -42 Class2

2.5 เครื่องมือการตรวจวัดค่าดัชนีความร้อนในที่ทำงาน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความร้อนแบบ Heat Stress WBGT Meter TM-188D แบบมือถือ

2.6 เครื่องมือการตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในพื้นที่ปฏิบัติงาน

2.7 เครื่องมือการตรวจวัดความสั่นสะเทือนจากการทำงาน ตามมาตรฐาน ISO 8041:2005 วัดความสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย และเครื่องวัดความสั่นสะเทือนสำหรับมือ-แขน

3. การสร้างและตรวจสอบคุณภาพแบบสัมภาษณ์

3.1 ศึกษาเอกสาร บทความและรายงานการวิจัยเป็นการค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎี แนวคิด หลักการที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของบุคคล

3.2 กำหนดกรอบแนวคิดและขอบเขตในการสร้างเครื่องมือให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

3.3 นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาสร้างเป็นแบบสัมภาษณ์

3.4 นำแบบสัมภาษณ์ไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ทำการตรวจสอบ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ความตรง (Validity) โดยคำนวณค่า IOC (Index of Objective Congruence) ได้ที่ 0.50 ขึ้นไป

3.5 จัดพิมพ์แบบสัมภาษณ์ฉบับสมบูรณ์แล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่างที่กำหนด

4. การเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 เก็บข้อมูลด้วยแบบสัมภาษณ์

4.1.1 ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ข้อมูลทั่วไปของผู้ที่ถูกสัมภาษณ์ ประกอบด้วย เพศ อายุ และระดับการศึกษา

4.1.2 ส่วนที่ 2 ข้อมูลการทำงาน ข้อมูลการทำงาน ประกอบด้วย ประวัติการทำงาน ระยะเวลาการทำงาน และการป้องกันตัวเองจากการใส่อุปกรณ์ PPE

4.1.3 ส่วนที่ 3 ข้อมูลด้านสุขภาพการเจ็บป่วยและการประสบอุบัติเหตุ ข้อมูลด้านสุขภาพการเจ็บป่วยและการประสบอุบัติเหตุ ประกอบด้วย ข้อมูลเกี่ยวกับโรคประจำตัว การเจ็บป่วยจากการทำงาน และการประสบอุบัติเหตุจากการทำงาน

4.2 การรวบรวมข้อมูลแบบประเมินท่าทางในการทำงาน Rapid upper limb assessment (RULA)

RULA Employee Assessment Worksheet Based on RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, McAtamney & Corlett, Applied Ergonomics 1993, 24(2), 91-99

A. Arm and Wrist Analysis

Step 1: Locate Upper Arm Position:

Step 1a: Adjust...
If shoulder is raised: +1
If upper arm is abducted: +1
If arm is supported or person is leaning: -1

Step 2: Locate Lower Arm Position:

Step 2a: Adjust...
If either arm is working across midline or out to side of body: Add +1

Step 3: Locate Wrist Position:

Step 3a: Adjust...
If wrist is bent from midline: Add +1

Step 4: Wrist Twist:
If wrist is twisted in mid-range: +1
If wrist is at or near end of range: +2

Step 5: Look-up Posture Score in Table A:
Using values from steps 1-4 above, locate score in Table A.

Step 6: Add Muscle Use Score
If posture mainly static (i.e. held >10 minutes), Or if action repeated occurs 4X per minute: +1

Step 7: Add Force/Load Score
If load < 4.4 lbs (intermittent): +0
If load 4.4 to 22 lbs (intermittent): +1
If load 4.4 to 22 lbs (static or repeated): +2
If more than 22 lbs or repeated or shocks: +3

Step 8: Find Row in Table C:
Add values from steps 5-7 to obtain Wrist and Arm Score. Find row in Table C.

SCORES

Table A: Wrist Posture Score

Upper Arm	Lower Arm	Wrist Twist			
		1	2	3	4
1	1	1	2	2	3
1	2	2	2	2	3
1	3	2	3	3	3
1	4	1	2	3	3
2	1	2	3	3	3
2	2	3	3	3	3
2	3	3	4	4	4
2	4	3	4	4	4
3	1	3	4	4	4
3	2	3	4	4	4
3	3	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4
4	1	4	4	4	4
4	2	4	4	4	4
4	3	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5
5	2	5	5	5	5
5	3	5	5	5	5
5	4	5	5	5	5
6	1	6	6	6	6
6	2	6	6	6	6
6	3	6	6	6	6
6	4	6	6	6	6

Table B: Neck, Trunk and Leg Score

Neck	Trunk	Legs			
		1	2	3	4
1	1	1	2	2	3
1	2	2	2	2	3
1	3	2	3	3	3
1	4	1	2	3	3
2	1	2	3	3	3
2	2	3	3	3	3
2	3	3	4	4	4
2	4	3	4	4	4
3	1	3	4	4	4
3	2	4	4	4	4
3	3	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4
4	1	4	4	4	4
4	2	4	4	4	4
4	3	4	4	4	4
4	4	4	4	4	4

Table C: Neck, Trunk and leg score

Wrist and Arm Score	Neck, Trunk and leg score						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	5
4	3	3	3	4	4	5	5
5	4	4	4	4	5	6	7
6	4	4	4	4	5	6	7
7	5	5	5	5	6	7	7
8	5	5	5	5	6	7	7

Scoring: (final score from Table C)
1 or 2 = acceptable posture
3 or 4 = further investigation, change may be needed
5 or 6 = further investigation, change soon
7 = investigate and implement change

Task name: _____

Reviewer: _____

Date: ____/____/____

Final Score

provided by Practical Ergonomics
rbarker@ergonomics.com (816) 444-1867

รูปที่ 1 แบบฟอร์มในการประเมิน RULA

4.3 การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแสงสว่าง สถานิงานในกระบวนการทำมะพร้าวขาว แต่ละขั้นตอนที่อยู่ในบริเวณต่าง ๆ ทำการเก็บตัวอย่างขณะที่คนงานกำลังปฏิบัติงานจำนวน 5 จุด เก็บ 3 ชั่วโมง

4.4 การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเสียง ใช้ในการวัดเสียงคือเครื่องมือวัดเสียง ยี่ห้อ RION รุ่น NL-42 Class2 ปรับเทียบการอ่านค่าระดับ

เสียงของเครื่องวัดระดับเสียงตามวิธีที่กำหนดในคู่มือการใช้งานของเครื่องวัดระดับเสียงนั้น ๆ โดยใช้ อคูสติคคาลิเบรเตอร์ หรือ External Calibration

4.4.1 อ่านค่าระดับความดังเสียง ณ ระดับเสียงต่าง ๆ และระยะเวลาทำงานที่สัมผัสกับเสียงที่ระดับความดังต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาระดับความดังเสียงเฉลี่ยที่ถูกจ้างได้รับตลอดเวลาการทำงานจากสมการ (1)

$$Leq = 10 \log \left[\frac{T_1 \times 10^{L_1/10} + \dots + T_n \times 10^{L_n/10}}{T_1 + \dots + T_n} \right] \dots\dots\dots (1)$$

4.4.2 หาระยะเวลาที่สามารถทำงานอย่างปลอดภัยเมื่อเปรียบเทียบกับระดับเสียงที่ตรวจวัดใช้สมการเดียวกันกับการตรวจวัดในข้อที่ 3 หรือสมการ (3.2)

$$T = \frac{8}{2(L-85)/3} \dots\dots\dots (2)$$

4.4.3 ประเมินปริมาณเสียงสะสมที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับ (% Dose) ในช่วงเวลาต่าง ๆ

$$D = \left(\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_2}{T_2} \right) \dots\dots (3)$$

4.4.4 คำนวณหาระดับเสียงดังเฉลี่ย (TWA₈) ที่คนงานสัมผัสตลอดระยะเวลาทำงานในแต่ละวัน โดยนำค่า D จากสมการ (3) แทนในสมการ (4)

$$TWA_{8hr} = 85 + 16.61 \log \left(\frac{D}{100} \right) \dots\dots\dots (4)$$

4.5 การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความร้อน ใช้ในการวัดความร้อนแบบ Heat Stress WBGT Meter TM-188D และติดเครื่องวัดอัตราเผาผลาญไว้ที่ตัวพนักงานเพื่อวัดปริมาณแคลอรีจากการ

ทำงานกิจกรรมต่าง ๆ ทำการเก็บตัวอย่างขณะที่คนงานกำลังปฏิบัติงานจำนวน 6 จุด

4.6 การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในที่ปฏิบัติงานของคนงาน นำปั๊มดูดอากาศไปติดกับที่บริเวณปฏิบัติงานของคนงานและทำการเก็บตัวอย่างขณะที่คนงานกำลังปฏิบัติงานจำนวน 10 จุด จุดละ 1 ชั่วโมง เก็บปริมาณ 102 ลิตรต่อชั่วโมง เก็บ 3 ชั่วโมง

4.7 การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดความสั่นสะเทือน บริเวณปฏิบัติงานของคนงานและทำการเก็บตัวอย่างขณะที่คนงานกำลังปฏิบัติงานจำนวน 10 จุด จุดละ 1 ชั่วโมง เก็บ 3 ชั่วโมง

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.1 สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวกับปัจจัยส่วนบุคคล และผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือด้านสุขศาสตร์ โดยใช้ ความถี่ ร้อยละ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.2 สถิติเชิงอนุมาน (inferential statistics) หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตาม โดยใช้ One-sample t-test, Independent-sample t-test และ One-way ANOVA

ผลการวิจัย

1. กระบวนการทำมะพร้าวขาว

แรงงานมีทั้งเพศชายและหญิง อายุระหว่าง 20-41 ปี การศึกษาต่ำกว่า ปวช./ม.6 ประสบการณ์ทำงานน้อยกว่า 1 ปี จนถึง 5 ปีขึ้นไป ในแต่ละวันทำงานน้อยกว่า 8 ชั่วโมง ถึงมากกว่า 8 ชั่วโมง ส่วนใหญ่ทำงานโดยไม่ใส่ PPE มีกระบวนการทำมะพร้าวขาวดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก นำลูกมะพร้าวกระแทกลงไปที่ปลายขวากจากนั้นฉีกเปลือกออกเป็นชิ้น ๆ ไปจนครบทั้งลูก ซึ่งเปลือกที่ฉีกออกจะเรียกว่า กาบมะพร้าว

ขั้นตอนที่ 2 การกะเทาะกะลามะพร้าวและการกรองบรรจุน้ำมะพร้าว นำขวานเล็กเฉาะไปที่ลูกมะพร้าว ทำจนกะลาหลุดออกมา และเฉาะเอาน้ำมะพร้าวแยกใส่ถังไว้จนเต็ม จากนั้นยกถังน้ำมะพร้าวนำไปกรองเศษมะพร้าวออก ยกบรรจุใส่ถุงและใส่ลงในถังน้ำแข็ง (ถ้าเป็นน้ำมะพร้าวเน่าจะใส่ถังหรือแกลลอนแยกต่างหาก)

ขั้นตอนที่ 3 การปอกผิวมะพร้าว นำที่ปอกเปลือกผลไม้ทั่วไปมาปอกผิวมะพร้าวออกจนหมดทั้งลูก จากนั้นนำมีดมาหั่นเนื้อมะพร้าวออกแยกใส่ตะกร้า รอส่งให้โรงงานผลิตกะทิกลั่น



รูปที่ 2 กระบวนการทำมะพร้าวขาว ขั้นตอนที่ 1-3

2. อาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ

อาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย 12 ส่วน ภายใน 7 วันที่ผ่านมา ด้านซ้าย อันดับแรกได้แก่ หัวเข่า และ หลังส่วนล่าง ด้านขวา หลังส่วนบน

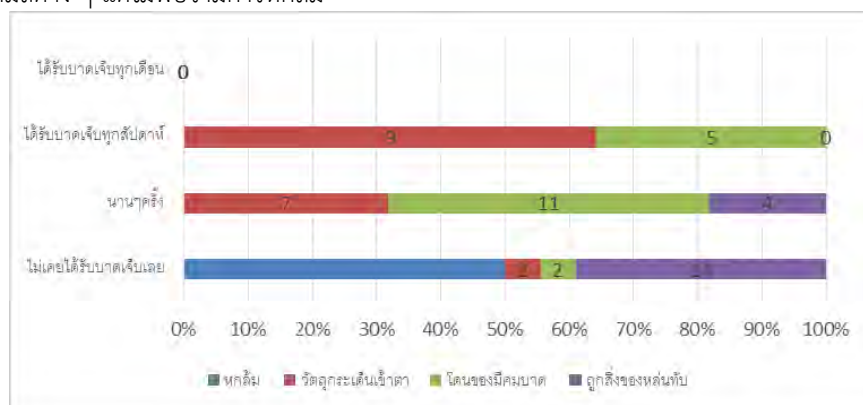
ตารางที่ 1 อาการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ

(n=18)

ส่วนของร่างกาย	7 วันที่ผ่านมา	
	ซ้าย (%)	ขวา (%)
คอ	44.4	55.6
ไหล่	33.3	66.7
หลังส่วนบน	0	100
หลังส่วนล่าง	66.7	33.3
แขนส่วนบน	33.3	66.7
ข้อศอก	22.2	77.8
แขนส่วนล่าง	55.6	44.4
มือ/ข้อมือ	55.6	44.4
สะโพก/ต้นขา	55.6	44.4
หัวเข่า	66.7	33.3
น่อง	22.2	77.8
เท้า	22.2	77.8

3. ปัญหาด้านอาการบาดเจ็บและการยศาสตร์

อาการบาดเจ็บจากการทำงาน พบว่า เกิดจากวัตถุกระเด็นเข้าตา โดนของมีคมบาด ถูกสิ่งของหล่นทับ ตามความถี่ต่าง ๆ แต่ไม่พบว่ามีอาการหกล้ม



รูปที่ 3 สถิติการเกิดอุบัติเหตุ

ท่าทางในการทำงานกลุ่มแรงงานนอกระบบท่ามะพร้าวขาว ในขั้นตอน การนำมะพร้าวโยนขึ้นบนรถ การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก การกะเทาะกะลามะพร้าว พบความเสี่ยงในระดับที่งานนั้นมีปัญหาทางกายศาสตร์ และต้องมีการปรับปรุงทันที

ตารางที่ 2 ปัญหาด้านการยศาสตร์

(n=9)

หมายเลข	ลักษณะงาน	RULA Final score	ระดับความเสี่ยง
1	การขึ้นมะพร้าวบนรถ	7	สูง
2	การขึ้นมะพร้าวบนรถ	7	สูง
3	การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก	7	สูง
4	การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก	7	สูง
5	การกะเทาะกะลามะพร้าว	7	สูง
6	การกะเทาะกะลามะพร้าว	7	สูง
7	การปอกผิวมะพร้าว	4	ปานกลาง
8	การปอกผิวมะพร้าว	4	ปานกลาง
9	การปอกผิวมะพร้าว	4	ปานกลาง

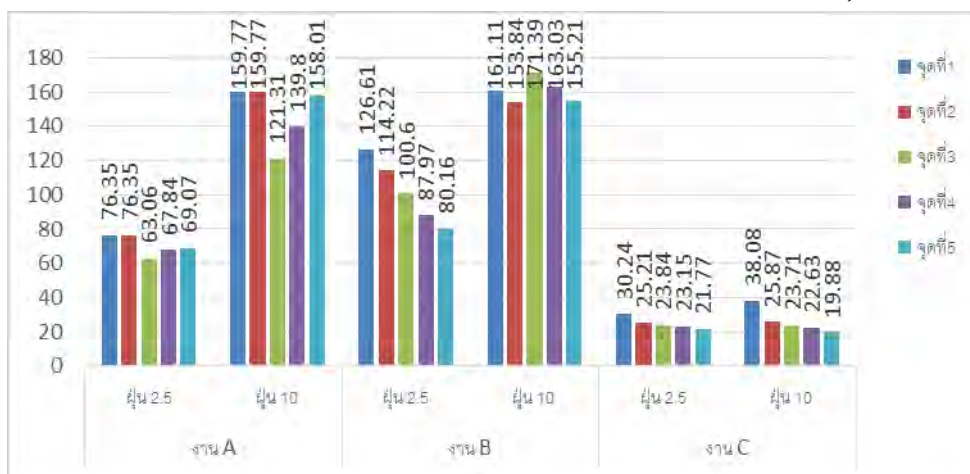
4. สภาพแวดล้อมการทำงาน

ระดับเสียงที่นำมาเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน (TWA8) พบว่า การปอกผิวมะพร้าวขาว ระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ที่ 74.95 dB(A) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่งานกะเทาะเปลือกมะพร้าว และงานปอกเปลือกชั้นนอกมะพร้าวระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ที่ 94.63 dB(A), 93.45 dB(A) ตามลำดับ เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด การตรวจวัดแสงสว่าง และความชื้นสะท้อนเป็นไปมาตรฐาน

ตารางที่ 3 ระดับเสียงที่นำมาเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงาน (TWA8)

(n=18)

บริเวณที่ตรวจวัด	จำนวน ผู้ปฏิบัติงาน	ระดับเสียงเฉลี่ย (dB(A))			หมายเหตุ
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	TWA ₈	
งานปอกผิวมะพร้าวขาว	6	54.9	55.3	74.95	ไม่เกินมาตรฐาน
งานกะเทาะเปลือกมะพร้าว	8	84.33	85.07	94.63	เกินมาตรฐาน
งานปอกเปลือกชั้นนอก	4	75.2	72.6	93.45	เกินมาตรฐาน



รูปที่ 4 ปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5, 10 ไมครอน

ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าอยู่ระหว่าง 21.77-126.61 มก./ลบ.ม พบว่า เกินค่ามาตรฐาน 2 จุด (ค่ามาตรฐาน 50 มก./ลบ.ม) ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีค่าอยู่ระหว่าง 19.88-171.39 มก./ลบ.ม พบว่า เกินค่ามาตรฐาน 2 จุด (ค่ามาตรฐาน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

5. การทดสอบสมมติฐานการวิจัย

5.1 ความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในกระบวนการทำมะพร้าวขาวอยู่ในระดับอยู่ในระดับยอมรับได้ (One-sample t-test)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้านความเสี่ยงด้านการยศาสตร์

	Test Value = 1					
	N	Mean	S.D.	t	df	Sig.
ระดับความเสี่ยงทางกายศาสตร์	18	3.67	.485	23.324	17	.000

สรุป ปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ยอมรับสมมติฐาน H_1 นั่นคือ ความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ในกระบวนการทำมะพร้าวขาวไม่ได้อยู่ในระดับยอมรับได้ (ระดับ 1) ($M = 3.67, SD = .48$ ค่าสถิติทดสอบ $t(17) = 23.32, p < .01$ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01)

5.2 เพศต่างกันมีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุต่างกัน (Independent-sample t-test)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

ตารางที่ 5 แสดงการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้านเพศ

		Mean	S.D.	t	df	Sig.
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุรถกระเด็นเข้าตาหรือไม่	เพศชาย	2.40	.843	.073	16	.942
	เพศหญิง	2.38	.518			
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุโดนของมีคมบาดหรือไม่	เพศชาย	2.10	.738	-.500	16	.624
	เพศหญิง	2.25	.463			
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุถูกล้างของหล่นทับหรือไม่	เพศชาย	1.20	.422	-.239	16	.814
	เพศหญิง	1.25	.463			

สรุป ยอมรับสมมติฐาน H_0 ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 นั่นคือ เพศชาย เพศหญิง ไม่มีความแตกต่างของการเกิดอุบัติเหตุ รถกระเด็นเข้าตา โดนของมีคมบาด ถูกล้างของหล่นทับ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.3 จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อเนื่องใน 1 วัน ต่างกันมีผลการเกิดอุบัติเหตุต่างกัน (Independent -sample t-test)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

ตารางที่ 6 แสดงการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้านจำนวนชั่วโมงการทำงาน

		Mean	S.D.	t	df	Sig.
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุรถกระเด็นเข้าตาหรือไม่	น้อยกว่า 8 วัน	2.30	.823	-.593	16	.562
	มากกว่า 8 ชั่วโมง	2.50	.535			
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุโดนของมีคมบาดหรือไม่	น้อยกว่า 8 วัน	10	2.20	.249	16	.807
	มากกว่า 8 ชั่วโมง	8	2.13			
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุถูกล้างของหล่นทับหรือไม่	น้อยกว่า 8 วัน	10	1.10	-1.392	16	.183
	มากกว่า 8 ชั่วโมง	8	1.38			

สรุป ยอมรับสมมติฐาน H_0 ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อเนื่องใน 8 ชั่วโมง/วัน และมากกว่า 8 ชั่วโมง/วัน ไม่มีความแตกต่างของการเกิดอุบัติเหตุ รถกระเด็นเข้าตา โดนของมีคมบาด ถูกล้างของหล่นทับ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5.4 ประสิทธิภาพการทำงานต่างกัน มีผลการเกิดอุบัติเหตุต่างกัน (One-way ANOVA)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2, H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

ตารางที่ 7 แสดงการทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้านประสบการณ์การทำงาน

		Mean	S.D.	df	F	Sig.
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุวัตถุกระเด็นเข้าตาหรือไม่	น้อยกว่า 1 ปี	2.25	.957	2	.091	.914
	1 – 5 ปี	2.43	.787	15		
	5 ปีขึ้นไป	2.43	.535	17		
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุโดนของมีคมบาดหรือไม่	น้อยกว่า 1 ปี	1.75	.957	2	1.661	.223
	1 – 5 ปี	2.43	.535	15		
	5 ปีขึ้นไป	2.14	.378	17		
ท่านเคยประสบอุบัติเหตุถูกสิ่งของหล่นทับหรือไม่	น้อยกว่า 1 ปี	1.50	.577	2	2.108	.156
	1 – 5 ปี	1.00	.000	15		
	5 ปีขึ้นไป	1.29	.488	17		

สรุป ยอมรับสมมติฐาน H_0 ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 นั่นคือ ประสบการณ์ทำงาน น้อยกว่า 1 ปี, 1 – 5 ปี และ 5 ปีขึ้นไป ไม่มีความแตกต่างของการเกิดอุบัติเหตุ วัตถุกระเด็นเข้าตา โดนของมีคมบาด ถูกสิ่งของหล่นทับ อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาปัญหาด้านการยศาสตร์ โดยการใช้ RULA พบว่า ขั้นตอนการนำมะพร้าวขึ้นรถ การปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก การการกะเทาะกะลามะพร้าว ค่าเฉลี่ย = 7 ซึ่งหมายถึงงานนั้นมีปัญหาทางกายศาสตร์ และต้องมีการปรับปรุงทันที ด้วยท่าทางการทำงานและการเคลื่อนไหวร่างกายซ้ำ ๆ ก่อให้เกิดอาการปวดหรือเมื่อยล้า พบมากบริเวณหัวเข่า หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบนทั้งในขณะทำงาน และหลังจากเลิกงาน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Nillert, J., 2017) ที่พบว่าคนส่วนใหญ่มากกว่า 90% จะใช้เวลาในการทำงานติดต่อกันวันละหลายชั่วโมงและอาจไม่มีการเปลี่ยนท่าทางในการนั่งเกิน 1 ชั่วโมง ส่งผลให้เกิดโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ และสอดคล้องกับ (Khanaphan, K., P., 2019) พบว่า คนงานตัดอ้อยและลำเลียงอ้อยขึ้นรถบรรทุกส่วนใหญ่มีความเสี่ยงของท่าทางการทำงานอยู่ในระดับ 4 (มีอันตรายมาก) ท่าทางการ

ทำงานดังกล่าวมีความเสี่ยงสูงมากที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อกล้ามเนื้อและกระดูก ผู้วิจัยยังพบว่า เพศ อายุ ประสบการณ์ทำงาน ระยะเวลาการทำงาน ในหนึ่งวัน ไม่มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุ จึงยอมรับสมมติฐาน H_0 ปฏิเสธสมมติฐาน H_1 ซึ่งไม่สอดคล้องกับการศึกษาของ (Wichairum, S., 2009) พบว่า เพศชาย ที่มีอายุ 21.25 ปี มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุ ประสบการณ์ทำงาน 1-5 ปี มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุ และระยะเวลาปฏิบัติงาน 8 ชม.ต่อวัน มีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การศึกษาสภาพแวดล้อมการทำงาน 1) ระดับเสียงที่ลูกจ้างยอมรับได้ตลอดเวลาการทำงานใน 8 ชั่วโมง/วัน (TWA_8) พบว่า การปอกผิวมะพร้าวขาว ระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ที่ 74.95 dB(A) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (มาตรฐานไม่เกิน 85 dB(A)) แต่งานกะเทาะเปลือกมะพร้าว และงานปอกเปลือกชั้นนอกมะพร้าวระดับเสียงเฉลี่ยอยู่ที่ 94.63 dB(A), 93.45 dB(A) ตามลำดับ เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด 2) แสงสว่าง พบว่า ค่าความเข้มของแสงสว่างเป็นไปตามมาตรฐาน (มาตรฐาน 200-300 lux) ด้วยพื้นที่ทำงานของคนงานนั้น อยู่ในพื้นที่เปิด 2 ด้าน จึงมีแสงจากธรรมชาติส่องเข้ามาถึงในพื้นที่ทำงานทุกจุด 3) ระดับความร้อนของสิ่งแวดล้อมคนงานทำงานได้รับความร้อน

ไม่เกินมาตรฐานของความร้อนที่กฎหมายกำหนด (มาตรฐานไม่เกิน 32 องศาเซลเซียส) ค่าอยู่ระหว่าง 28.40-29.40 องศาเซลเซียส ด้วยพื้นที่ทำงานของ คนงานนั้น อยู่ในพื้นที่เปิด 2 ด้าน และมีการระบาย อากาศด้วยพัดลมประจำจุดต่าง ๆ อย่างเพียงพอ 4) การวัดความสั่นสะเทือนมือ-แขนของคนงาน พบว่า ไม่มีคนงานที่ค่าความสั่นสะเทือนมือ-แขนเกินค่า มาตรฐาน (มาตรฐาน ACGIH ไม่เกิน 4 m/s^2) โดยมี ค่าระหว่าง 1.0272-1.5171 (m/s^2) 5) การตรวจวัด ประเมินค่าฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน พบว่า งานปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก และงานขน มะพร้าวชั้นรด มีปริมาณเกินเกณฑ์มาตรฐาน 69.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 101.91 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร การตรวจวัดประเมินค่าฝุ่นละอองที่มี ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่า งานปอกเปลือก มะพร้าวชั้นนอก และงานขนมะพร้าวชั้นรดมีปริมาณ เกินเกณฑ์มาตรฐาน 148.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร 163.69 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้วย กระบวนการดังกล่าว มีการใช้เครื่องมือไปสัมผัส หรือบาดเจ็บเกี่ยวกับมะพร้าวจึงทำให้เกิดเป็นฝุ่น ละอองขนาดต่าง ๆ จำนวนมาก

การปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงาน ด้วย สภาพการทำงานที่เป็นปัญหาไม่สามารถปรับปรุงที่ เครื่องมือ อุปกรณ์ และทางผ่านได้ ผู้วิจัยได้ ดำเนินการป้องกันอันตรายที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน ใน ประเด็นที่เป็นปัญหา ดังนี้ 1) ปัญหาเรื่องเสียง งาน ปอกเปลือกมะพร้าวชั้นนอก เสียง 93.45 dB(A) ใช้ อุปกรณ์ PPE ลดเสียงชนิดปลั๊กอุดหู Ear plug ชนิด โฟม ค่า NRR = 33 ลดเสียงได้ = 9.5 dB(A) เสียงที่ ได้รับขณะใส่ที่อุดหู = 83.95 dB(A) งานกะเทาะ กะลามะพร้าว เสียง 94.63 dB(A) ใช้อุปกรณ์ PPE ลดเสียงชนิดปลั๊กอุดหู Ear plug ชนิดโฟม ค่า NRR = 33 ลดเสียงได้ = 9.5 dB(A) เสียงที่ได้รับขณะใส่ที่ อุดหู = 85.13 dB(A) และใช้มาตรการลดเวลาทำงาน โดยสลับตำแหน่งงาน ตามเวลามาตรฐาน = 7.7

ชม./รอบ 2) ปัญหาเรื่องฝุ่นละออง ใช้อุปกรณ์ PPE ลดฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ คือ หน้ากาก N95 มีประสิทธิภาพการกรองสูงที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 96.66 แต่ด้วยราคาที่ค่อนข้างสูง จึงเลือกใช้หน้ากาก อนามัยทางการแพทย์ซ้อนกัน 2 ชั้น ในการป้องกัน ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และใช้ หน้ากากอนามัยทางการแพทย์เพียงชั้นเดียว ในการ ป้องกันฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดย สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Buasie, S., Visam, D., 2020) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกรอง ฝุ่น PM2.5 การใช้หน้ากากอนามัย และเสริมด้วย กระดาษทิชชู 2 ชั้น ประสิทธิภาพการกรองร้อยละ 96.83 ทั้งนี้การแก้ปัญหาทั้ง 2 ประเด็น เกิดจากการ มีส่วนร่วมในการทดสอบการใช้ และคนงานยอมรับ การใช้ PPE

ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการนำมะพร้าวโยนขึ้นรด การปอกเปลือก มะพร้าวชั้นนอก การการกะเทาะกะลามะพร้าว งานนั้นมีปัญหาทางการยศาสตร์ และต้องมีการ ปรับปรุงพื้นที่ โดยการปรับท่าทางการทำงานให้ ถูกต้อง และมีโปรแกรมบริหารร่างกายให้กับคนงาน ในช่วงเช้าและบ่าย เพื่อช่วยลดอาการไม่สบายทาง ระบบกระดูกและกล้ามเนื้อในส่วนต่าง ๆ ของ ร่างกาย 12 ส่วน

References

- [1] Buasie, S., Visam, D. (2020). *The efficiency of the mask filtering dust PM2.5*. Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University.

- [2] Khanaphan, K., P. (2019). Ergonomic Risk Assessment of Sugarcane cutting and carry on truck workers in Kumphawapi District, Udon Thani Province. *Journal of Ratchathani Innovative Social Sciences* : Vol.3 No.1 January-March 2019
- [3] Kwanpan, K., Pongsasanongkul, C. (2012). *Operational safety of maintenance technicians Suan Sunandha Rajabhat University*. Bangkok: Suan Sunandha Rajabhat University.
- [4] National Statistical Office. (2020). *Summary of important results of the survey of informal workers 2020*. Ministry of Digital for the economy and society.
- [5] Nillert, J. (2017). *Ergonomics of sitting*. Bangkok: Department of Orthopedic Surgery and Physical Therapy, Mahidol University.
- [6] Phirom, T., Worachetwarawat, P. (2012). *Study of sedentary fatigue of sewing workers in the garment industry*. Songkhla: Rajamangala University of Technology Sriwichai.
- [7] Wichairum, S. (2009). *A study of Risk Factors of Construction worker*. Bangkok: Graduate School, Dhurakij Pundit University.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม

ฤดี นิยมรัตน์^{1*}, สมเกียรติ กอบัวแก้ว¹, ไสว ศิริทองถาวร¹

¹สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email : reudee.ni@ssru.ac.th^{*}

Received: August 20, 2021

Revised: December 14, 2021

Accepted: December 20, 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม ตั้งแต่เริ่มกระบวนการผลิต ปอกเปลือก กะเทาะกะลา ขูดผิวเนื้อมะพร้าว เป็นมะพร้าวขาวพร้อมจำหน่าย และเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เทคนิคที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ECRS ห่วงโซ่คุณค่า ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ และเครื่องมือคุณภาพ ผู้ให้ข้อมูลได้แก่ผู้บริหารและพนักงานของโรงงานผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตมะพร้าวขาวมีปัญหาเรื่องเครื่องจักร ดึงกากใยมะพร้าวหยุดทำงาน มีกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าจำนวน 1 กิจกรรม และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นจำนวน 10 กิจกรรม นำสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิต โดย (1) ทำมาตรฐานการทำงานสำหรับการใส่ลงในเครื่องดึงกากใยมะพร้าว (2) รวมกิจกรรมการเตรียมขนส่งเคลื่อนย้ายภายในซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น ให้เป็นกิจกรรมเดียวกับการปฏิบัติของกิจกรรมหลัก (3) เปลี่ยนภาระงานหลักและปรับเปลี่ยนจำนวนพนักงานตามกระบวนการที่เปลี่ยนแปลง และ (4) ตัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า และกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตและสินค้าที่ได้ ผลการนำแผนการปรับปรุงกระบวนการไปใช้งานโดยพบว่า หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม มีจำนวนกิจกรรมลดลง 12 กิจกรรม ระยะทางการเคลื่อนที่รวมลดลง 2.6 เมตร และเวลาที่ใช้ตลอดรอบกระบวนการลดลง 17.11 นาที

คำสำคัญ : การปรับปรุงกระบวนการ, มะพร้าวขาว, จังหวัดสมุทรสงคราม

Process Improvement of White Coconut Meat Production in Samut Songkhram Province

Ruedee Niyomrath¹, Somkiat Korbouakaew¹, Sawai Sirithongthaworn¹

¹Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology,

Suansunandha Rajabhat University

Email : reudee.ni@ssru.ac.th^{*}

Received: August 20, 2021

Revised: December 14, 2021

Accepted: December 20, 2021

Abstract

Research on process improvement of white coconut meat production in Samut Songkhram province is the action research, aimed to study the production process of white coconut meat production, from the beginning of the production process, peeling, cracking the shell, scraping the skin of the coconut meat, to be white coconut ready for sale. And to improve the white coconut meat production process in Samut Songkhram province. The techniques used in the research were ECRS, the value chain, the seven wastes and the quality tools. The information providers are Executives and employees of the white coconut factory Samut Songkhram province. The results showed that the white coconut production process had a problem with the coconut fiber extractor machine stopped working. There was 1 non-value added activity and 10 necessary non value added activities. To improve the production process by (1) Make a working standard for loading into the coconut fiber extractor machine. (2) Include activities of preparation for internal transport, which are necessary non value added activities; to be the same activity as the main activity. (3) Change the main workload and adjust the number of employees according to the changing process; and (4) Cut off non-value added activities and activities that are not directly related to quality control of production processes and products obtained. The results of the implementation of the process improvement plan were found that: After the improvement of the white coconut production process in Samut Songkhram Province had a reduction of 12 activities, the total movement distance decreased by 2.6 meters, and the time spent throughout the process decreased by 17.11 minutes.

Keywords : Process improvement, White coconut meat, Samut Songkhram province

บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากมะพร้าวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของอาหารไทย มีพื้นที่ปลูกประมาณ 1.45 ล้านไร่ ตั้งแต่ปี 2555 เป็นต้นมา ผลผลิตมะพร้าวมีความผันผวน ไม่เพียงพอกับความต้องการมะพร้าวเพื่อการบริโภคภายในประเทศ อุตสาหกรรมต่อเนื่อง และการส่งออกในช่วงเวลา ส่งผลให้ราคามะพร้าวสูงขึ้น และมีการนำเข้าผลผลิตมะพร้าวจากต่างประเทศเข้าทดแทน ทำให้เกิดการสูญเสียดุลการค้าให้ต่างชาติไปในช่วงดังกล่าว แหล่งผลิตมะพร้าวของประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่แถบติดชายทะเล เช่น ในภาคใต้ ภาคตะวันออก และแถบลุ่มน้ำแม่กลอง [1]

จังหวัดสมุทรสงครามมีพื้นที่ทั้งหมด 260,442 ไร่ เป็นพื้นที่เกษตรกรรม 140,103 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 53.85 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นพืชสวน ซึ่งมีการใช้ประโยชน์ของที่ดินเพื่อการเพาะปลูกใช้ปลูกมะพร้าวเป็นส่วนใหญ่ พืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัด ได้แก่ มะพร้าว ส้มโอ และลิ้นจี่ จังหวัดสมุทรสงครามยังเป็นแหล่งผลิตน้ำตาลที่ใหญ่และเก่าแก่ที่สุด เนื่องจากเป็นแหล่งปลูกมะพร้าวในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะอำเภอเมือง อำเภออัมพวา และอำเภอบางคนที [2]

ตามรายงานข้อมูลองค์กรชุมชนของสถาบันพัฒนาองค์กรชุมชน ปี พ.ศ.2563 จังหวัดสมุทรสงครามมีองค์กรชุมชนได้รับการก่อตั้ง สนับสนุน และช่วยเหลือ จำนวน 214 องค์กร กลุ่มทำมะพร้าวชาวเป็นองค์กรประเภทกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ตั้งอยู่ที่เลขที่ 55 ปลายคลองตรง หมู่ที่ 9 ตำบลท่าคา อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม 75110 [3] ดำเนินการผลิตโดยนำมะพร้าวจากสมาชิกในชุมชนมาปอกเปลือกและลอกผิว จนได้มะพร้าวขาว เพื่อนำส่งอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อมะพร้าวต่อไป เป็นวิสาหกิจขนาดเล็กการผลิตเป็นการผลิตด้วยเทคโนโลยีพื้นฐานแบบ

ชาวบ้าน ทำให้ได้ผลผลิตที่ล่าช้าและเกิดความสูญเสียเป็นผลให้เกิดการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรจำกัด

ปัญหาการผลิตมะพร้าวขาวในระยะเวลาที่ผ่านมาคือมะพร้าวขาวสำหรับทำกะทิเข้าโรงงานแปรรูปลดน้อยลง เนื่องจากต่างประเทศสั่งซื้อหรือชะลอการรับซื้อและนำเข้ากะทิสำเร็จรูปและนำมะพร้าวพร้อมติ่มจากปัญหาการใช้สิ่งเก็บมะพร้าว ซึ่งส่งผลกระทบต่อเป็นลูกโซ่ โดยส่งผลทำให้โรงงานต้องแบกรับปริมาณมะพร้าวล้นคลังสินค้า จึงได้ชะลอปริมาณที่รับซื้อ ต่อนายหน้าผู้จัดส่งมะพร้าว (ล้ง) และชาวบ้านที่มีสวนมะพร้าว เพราะล้งทำหน้าที่เก็บรวบรวมผลผลิตในพื้นที่ ที่ได้จากชาวบ้านหรือเกษตรกรรายเล็ก จากนั้นรวบรวมและคัดคุณภาพวัตถุดิบส่งโรงงาน จากที่เคยส่งมะพร้าวขาวหรือเนื้อมะพร้าวที่ได้จากการปอกเปลือก กะเทาะกะลา และขูดผิว จนได้แต่เนื้อมะพร้าวเพียงอย่างเดียว วันละ 50-60 ตัน เหลือเพียงวันละ 20 ตัน เป็นปริมาณที่ลดลงไปกว่าครึ่ง ประกอบกับราคาที่ลดลง

นอกจากปัญหาดังกล่าวแล้ว กรณีที่สวนมะพร้าวบางแห่งไม่นำมาทำมะพร้าวขาว เพราะราคามะพร้าวถูกดีกว่า จึงเลือกที่จะขายผลมะพร้าวมากกว่านำมาแปรรูป ทำให้ขาดวัตถุดิบส่งโรงงาน ส่งผลกระทบต่อคนงานที่มีรายได้จากการทำงานเป็นรายวัน และลูกข่ายทำมะพร้าวขาวตามบ้านอีกกว่า 500 คน

การดำเนินธุรกิจมีการแข่งขันค่อนข้างสูงจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการต้องปรับตัวให้ทันต่อภาวะการแข่งขันที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไม่จำกัด แนวทางหนึ่งที่ใช้ได้แก่การบริหารการผลิต เพื่อบริหารต้นทุนของการผลิตที่เป็นปัญหาส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต เป็นเหตุให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรต่าง ๆ ทุกมิติ ทั้งวัตถุดิบ เวลา ค่าใช้จ่าย รวมทั้งกระบวนการผลิตไม่ราบรื่น ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งหากผู้ประกอบการสามารถหามาตรการมารองรับเพื่อลดค่าใช้จ่ายและลดความสูญเสียจากกระบวนการผลิตนี้ได้ จะช่วยเพิ่มโอกาสการแข่งขันทางธุรกิจกับคู่แข่งในตลาด

เดียวกันได้อย่างดี และเป็นส่วนสนับสนุนที่ส่งผลให้ผลประกอบการโดยรวมดีขึ้น โดยแนวทางการบริหารการผลิตหนึ่งที่น่านำมาใช้คือการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อองค์กร

แนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ อันนำมาสู่การเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นต่อไป มีหลายแนวคิดทฤษฎี ที่เป็นที่ยอมรับได้แก่การพิจารณาของเสีย หรือความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต (7 wastes) ตามแนวคิดของลีน วิเคราะห์ด้วยกระบวนการคิดวิเคราะห์ 5W1H ห่วงโซ่คุณค่า (value chain) ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้หลัก ECRS ซึ่งนำแนวทางการปรับปรุงงานและเครื่องมือดังกล่าวข้างต้นมาใช้ในการวิจัย เพื่อมุ่งพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ อันนำมาสู่การเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม

ระเบียบวิธีวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นงานวิจัยเชิงปฏิบัติการร่วมกับสถานประกอบการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม ทั้งผู้บริหารและพนักงานรวม 21 คน มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิตโดยศึกษาสภาพการทำงานในปัจจุบัน ด้วยการสังเกตแบบมีส่วนร่วม บันทึกข้อมูลการผลิต ได้แก่ (1) ปริมาณคงคลัง (2) การรอคอย (3) ข้อผิดพลาดที่พบในกระบวนการผลิต (4) การเคลื่อนย้ายงาน (5) จำนวนคน (6) เวลา และ

(7) ระยะเวลา โดยการสังเกตและบันทึกข้อมูลลงในแบบบันทึกการสังเกตกระบวนการผลิต

2. วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาความล่าช้าและความสูญเสีย โดยนำข้อมูลจากแบบบันทึกการสังเกตกระบวนการผลิต พิจารณาข้อมูลที่พบแต่ละกิจกรรมได้แก่ การปฏิบัติงาน (operation) การขนย้าย (transportation) ความล่าช้า (delay) การตรวจสอบ (inspection) การเก็บรักษา (storage) โดยการค้นหาความสูญเสียของกิจกรรมที่เป็นปัญหา โดยพิจารณาความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) วิเคราะห์ด้วยกระบวนการคิดวิเคราะห์ 5W1H หลัก ECERS และห่วงโซ่คุณค่า (value chain)

3. ปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการพิจารณาเปลี่ยนแปลงแก้ไขขั้นตอน หรือกิจกรรมในกระบวนการผลิต

4. นำกระบวนการที่ปรับปรุงไปปฏิบัติ วัดผล การปฏิบัติงานตามกระบวนการที่ได้รับการปรับปรุง ติดตามผล โดยการสังเกตและบันทึกข้อมูลจากแบบบันทึกการสังเกตกระบวนการผลิต

5. เปรียบเทียบข้อมูลผลการปฏิบัติงานตามกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง และสรุปผลการศึกษา

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (action research) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม และเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม มีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

1. กระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม มีขั้นตอนการผลิต 5 ขั้นตอน จำแนกได้เป็น 21 กิจกรรม ที่มีกิจกรรมการปฏิบัติงานจำนวน 15 กิจกรรม กิจกรรมที่ต้องการการเคลื่อนย้ายงานหรือการขนส่งจำนวน 5 กิจกรรม และมีกิจกรรมที่

ต้องการการตรวจสอบจำนวน 1 กิจกรรม ใช้พนักงาน
จำนวนทั้งสิ้น 20 คน มีระยะเวลาในการผลิตทั้ง
กระบวนการเท่ากับ 1,619.93 นาที ใช้ระยะทางรวม
9.2 เมตร จาก 4 กิจกรรม ข้อผิดพลาดที่พบในกระบวนการ

ผลิต ได้แก่ ปัญหาการหยุดชะงักของเครื่องจักรบ่อยครั้ง
ในกิจกรรมใส่มะพร้าวลงในเครื่องดัดกากใย และการแบ่ง
คนไม่เหมาะสมกับปริมาณงานในกิจกรรมตัดแต่งเนื้อดำ
ออก และกิจกรรมหันเนื้อมะพร้าว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผังการไหลของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม

ผังการไหลของกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม		สัญลักษณ์		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง		
		การปฏิบัติงาน (VA)	○	15				
ชื่อบริษัท: โรงงานผลิตมะพร้าวขาวธานี		การขนส่ง (NNVA)	⇒	5				
ตำแหน่งที่ตั้ง: อ.เมืองฯ จ.สมุทรสงคราม		การรอคอย (NVA)	D	-				
ชนิดของผัง: ☒ คน		การตรวจสอบ (NVA)	□	1				
สถานภาพของผัง: ☒ วิถีปัจจุบัน		การเก็บ (NVA)	▽	-				
ช่วงเวลา: เดือนกุมภาพันธ์ 2564		ระยะทาง (เมตร)		9.2				
		เวลา (นาที)		1619.93				
กิจกรรม	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					จำนวน คน
			○	⇒	D	□	▽	
1. ปอกเปลือกมะพร้าว	-	18	●	⇒	D	□	▽	3
2. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	-	2	●	⇒	D	□	▽	
3. ใส่มะพร้าวลงในเครื่องดึ่งกากใย	-	22	●	⇒	D	□	▽	2
4. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	-	2	●	⇒	D	□	▽	
5. เจาะรูบริเวณตามะพร้าว	-	7	●	⇒	D	□	▽	2
6. เทน้ำมะพร้าวใส่ถัง	-	8	●	⇒	D	□	▽	
7. กรอกน้ำมะพร้าวใส่ถุง	-	11	●	⇒	D	□	▽	
8. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	-	2	●	⇒	D	□	▽	
9. ผ่ากะลามะพร้าวออก	-	9	●	⇒	D	□	▽	2
10. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	-	2	●	⇒	D	□	▽	
11. ตัดแต่งน้ำเนื้อดำออก	-	30	●	⇒	D	□	▽	2
12. หั่นเนื้อมะพร้าว	-	7	●	⇒	D	□	▽	4
13. นำเนื้อมะพร้าวใส่ตะกร้า		2	●	⇒	D	□	▽	
14. แช่เนื้อมะพร้าวในอ่างน้ำ	1.1	86,400	○	⇒	D	□	▽	5
15. นำเนื้อมะพร้าวที่แช่ขึ้นจากอ่างน้ำ	1.1	5,400	○	⇒	D	□	▽	
16. เรียงเนื้อมะพร้าวในลังพลาสติก	-	1,800	●	⇒	D	□	▽	
17. เคลื่อนย้ายไปลานสินค้า	3.8	1,200	○	⇒	D	□	▽	
18. ยกลังพลาสติกขึ้นรถ	3.2	1.800	○	⇒	D	□	▽	
19. คลุมลังด้วยผ้าใบ	-	230	●	⇒	D	□	▽	
20. ตรวจสอบความเรียบร้อย	-	118	○	⇒	D	■	▽	
21. เตรียมจัดส่งสินค้า	-	126	○	⇒	D	□	▽	
รวม	9.2	97,196	15	5	0	1	0	20

2. จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตพบว่า กระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม ในปัจจุบัน เกิดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต ตามแนวคิด 7 Wastes ได้แก่เกิดความสูญเสียจากการรอคอย (waste from delay) จากการดำเนินงานหยุดชะงักในกิจกรรมที่ 3 ใส่มะพร้าวลงในเครื่องดอง เนื่องจากความขัดข้องของเครื่องจักร และเกิดความสูญเสียจากการผลิตของเสีย (waste from defect) จากความผิดพลาดในการผลิตในกิจกรรมที่ 3 เช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความไม่เข้าใจของพนักงานในการใช้งานเครื่องจักร

การวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยใช้หลักการ 5W1H แบบจับคู่วิเคราะห์ เพื่อค้นหาโอกาสการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิค ECRS มีผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) จากสภาพปัญหาเครื่องจักรดองตากายมะพร้าวหยุดทำงาน (How) เนื่องจากพนักงานใส่ลูกมะพร้าวลงในเครื่องพร้อมกันจำนวนมากเกินความสามารถของเครื่องจักร (Why) ซึ่งในการปรับปรุงงานในขั้นตอนนี้ใช้การทำให้ง่ายและรวดเร็วขึ้น (simplify) โดยการจัดทำมาตรฐานการทำงาน (work standard)

2) จากสภาพปัญหาจำนวนคนและเวลาการทำงานที่ไม่สมดุลกันของกิจกรรมที่ 11 และ 12 (What) โดยกิจกรรมที่ 11 ตัดแต่งนำเนื้อดำออก ใช้เวลานานเป็น 4.29 เท่าของกิจกรรมที่ 12 หั่นเนื้อมะพร้าว (30 วินาที และ 7 วินาที ตามลำดับ) แต่มีการแบ่งงานให้พนักงานในสัดส่วนต่างกันคือ กิจกรรมที่ 12 มีจำนวนพนักงานมากกว่ากิจกรรมที่ 11 เป็น 2 เท่า (4 คน และ 2 คน ตามลำดับ) (Why) โดยพิจารณาแล้วทั้งสองกิจกรรมเป็นงานที่ต่อเนื่องกัน ใช้เครื่องมืออุปกรณ์รวมทั้งการเคลื่อนไหวของร่างกายไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงสามารถรวมกระบวนการ (Combine) สำหรับสองกิจกรรมนี้ได้ และสามารถรวมพนักงานของทั้งสองกิจกรรมให้ทำงานต่อเนื่องเพื่อลดการว่างงาน และเพิ่มความรวดเร็วของกระบวนการในภาพรวมได้

หากวิเคราะห์กระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม โดยพิจารณาจากกิจกรรมทั้ง 21 กิจกรรมตามเทคนิคห่วงโซ่คุณค่า (value chain technique) พบว่า มีกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (value added activity, VAA) จำนวน 10 กิจกรรม มีกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า (non-value added activity, NVAA) จำนวน 1 กิจกรรม และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น (necessary non-value added activity, NNVA) จำนวน 10 กิจกรรม

3. ปรับปรุงกระบวนการผลิต โดย (1) ทำมาตรฐานการทำงานสำหรับการใส่ลงในเครื่องดองตากายมะพร้าว และจัดทำแผนภาพและข้อความติดบริเวณพื้นที่ทำงาน (2) รวมกิจกรรมการเตรียมขนส่งเคลื่อนย้ายภายในซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น ให้เป็นกิจกรรมเดียวกับการปฏิบัติของกิจกรรมหลักนั้น ๆ (3) เปลี่ยนภาระงานหลัก และปรับเปลี่ยนจำนวนพนักงานตามกระบวนการที่เปลี่ยนแปลง และ (4) ตัดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า และกิจกรรมที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต และสินค้าที่ได้

4. ผลการนำแผนการปรับปรุงกระบวนการไปใช้งานโดยพบว่า มีขั้นตอนการผลิต 5 ขั้นตอน จำแนกได้เป็น 9 กิจกรรม ที่มีกิจกรรมการปฏิบัติงานจำนวน 6 กิจกรรม กิจกรรมที่ต้องการการเคลื่อนย้ายงานหรือการขนส่งจำนวน 2 กิจกรรม และมีกิจกรรมที่ต้องการการตรวจสอบจำนวน 1 กิจกรรม ใช้พนักงานจำนวนทั้งสิ้น 20 คน มีระยะเวลาในการผลิตทั้งกระบวนการเท่ากับ 1602.82 นาที ใช้ระยะทางรวม 6.6 เมตร จาก 3 กิจกรรม

5. การเปรียบเทียบข้อมูลผลการปฏิบัติงานตามกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่า กระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม มีจำนวนขั้นตอนและจำนวนพนักงานที่ใช้ในกระบวนการคงที่ โดยมีจำนวนกิจกรรม ระยะทางการเคลื่อนที่ และเวลาที่ใช้ตลอดรอบกระบวนการลดลง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการปฏิบัติงานตามกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ขั้นตอน	ก่อนปรับปรุง				หลังปรับปรุง			
	กิจกรรม	คน	เวลา	ระยะทาง	กิจกรรม	คน	เวลา	ระยะทาง
1. ปอกเปลือกมะพร้าว	1. ปอกเปลือกมะพร้าว	 3	18	-	1. ปอกเปลือกมะพร้าว	3	19	-
	2. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	 2	2	-	และนำมะพร้าวใส่ตะกร้า			
	3. ใส่มะพร้าวลงในเครื่องดึ่งกากไย	 2	22	-	2. ใส่มะพร้าวลงในเครื่องดึ่งกากไย และนำมะพร้าวใส่ตะกร้า	2	22	-
	4. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	 2	2	-				
2. นำน้ำมะพร้าวออก	5. เจาะรูบริเวณตามะพร้าว	 2	7	-	3. เจาะรูบริเวณตามะพร้าว	2	7	-
	6. เทน้ำมะพร้าวใส่ถัง	 8	8	-	4. เทน้ำมะพร้าวใส่ถัง และนำมะพร้าวใส่ตะกร้า		9	-
	7. กรอกน้ำมะพร้าวใส่ถุง	 11	11	-				
	8. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	 2	2	-				
3. นำกะลาออก	9. ผ่ากะลามะพร้าวออก	 2	9	-	5. ผ่ากะลามะพร้าวออก	2	10	-
	10. นำมะพร้าวใส่ตะกร้า	 2	2	-	และนำมะพร้าวใส่ตะกร้า			
4. ตัดแต่งเนื้อมะพร้าว	11. ตัดแต่งน้ำเนื้อดำออก	 2	30	-	6. นำน้ำเนื้อดำออก หั่นเนื้อมะพร้าว ใส่เนื้อมะพร้าวลงในตะกร้า นำไปแช่ในอ่างน้ำ	6	86,437	1.1
	12. หั่นเนื้อมะพร้าว	 4	7	-				
	13. นำเนื้อมะพร้าวใส่ตะกร้า	 2	2	-				
	14. แช่เนื้อมะพร้าวในอ่างน้ำ	 5	86,400	1.1				
5. เตรียมส่งมอบ	15. นำเนื้อมะพร้าวที่แช่ขึ้นจากอ่างน้ำ	 5,400	5,400	1.1	7. นำเนื้อมะพร้าวที่แช่ขึ้นจากอ่างน้ำ และเรียงเนื้อมะพร้าวในลังพลาสติก	3	5,610	1.1
	16. เรียงเนื้อมะพร้าวในลังพลาสติก	 1,800	1,800	-				
	17. เคลื่อนย้ายไปลานสินค้า	 1,200	1,200	3.8	8. เคลื่อนย้ายลังพลาสติกไปใส่รถ	1	1,855	4.4
	18. ยกลังพลาสติกขึ้นรถ	 1,800	1,800	3.2				
	19. คลุมลังด้วยผ้าใบ	 230	230	-	9. เรียงลังพลาสติกในรถ	1	2,200	-
	20. ตรวจสอบความเรียบร้อย	 118	118	-	ตรวจสอบความเรียบร้อย และคลุมผ้าใบ			
	21. เตรียมจัดส่งสินค้า	 126	126	-				
5 ขั้นตอน	21 กิจกรรม	2 0	97,196	9.2	9 กิจกรรม	20	96,169	6.6

หมายเหตุ  กิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า  กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่า  กิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลผลการปฏิบัติงานตามกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

สิ่งที่พิจารณา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
จำนวนขั้นตอน	5	5
จำนวนกิจกรรม	21	9
การปฏิบัติงาน	15	6
การขนส่ง	5	2
การตรวจสอบ	1	1
จำนวนพนักงาน (คน)	20	20
ระยะทาง (เมตร)	9.2	6.6
เวลา (นาท)	1,619.93	1,602.82

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม มีผลการวิจัยที่นำสู่การอภิปรายผลดังต่อไปนี้

1. จากผลการวิจัยที่พบว่าในกระบวนการผลิตมะพร้าวขาว จังหวัดสมุทรสงคราม เกิดความสูญเสียในกระบวนการผลิตตามแนวคิด 7 Wastes ได้แก่ เกิดความสูญเสียจากการรอคอย (waste from delay) จากการดำเนินงานหยุดชะงักจากความขัดข้องของเครื่องจักร ซึ่งความสูญเสียในขั้นตอนนี้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของต้นทุนอื่นได้แก่ ต้นทุนค่าเสียโอกาส ต้นทุนแรงงานที่สูญเสียไป และอาจนำสู่การส่งมอบสินค้าไม่ทันเวลา นอกจากนี้ยังเกิดความสูญเสียจากการผลิตของเสีย (waste from defect) ซึ่งเป็นสาเหตุมาจากความไม่เข้าใจของพนักงานในการใช้งานเครื่องจักร เป็นผลให้ต้นทุนเพิ่มขึ้นจากการแก้ไขปรับปรุง [4] ซึ่งการกำจัดความสูญเสียในกระบวนการผลิตนี้เป็นหลักการวิเคราะห์พื้นฐานที่นำไปใช้ปรับปรุงตามแนวทางของเทคนิค ECRS และเทคนิคลีน (Lean technique) ดังเช่นงานวิจัยของอัจฉรา ผ่องพิทยา [5] ที่ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมทั้งกฤติน ชุมหะช่วงโชติ [6] ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตแบบลีน และแผนภูมิสายธารคุณค่า และจินตรัตน์ ศรีสุพรรณ [7] ประยุกต์ใช้

หลักการไคเซ็นและแนวความคิดแบบลีนในการปรับปรุงกระบวนการ แนวคิดทฤษฎีดังกล่าวสามารถช่วยลดขั้นตอนการทำงาน ลดเวลาการทำงาน ลดจำนวนพนักงาน และลดต้นทุนในการผลิตได้

2. จากผลการวิจัยที่มีการแก้ปัญหาการดำเนินงานหยุดชะงักจากความขัดข้องของเครื่องจักร จากความไม่เข้าใจของพนักงาน โดยการทำมาตรฐานการทำงาน การชี้แจงแก่พนักงานนำสู่การปฏิบัติ และทำแผนภาพและข้อความติดบริเวณพื้นที่ทำงาน เป็นการบริหารและควบคุมด้วยสายตา (visual management) ที่เป็นการจัดการข้อมูลข่าวสารที่จำเป็นในการทำงานผ่านการมองเห็น เพื่อสร้างแรงจูงใจในการทำงานตามเป้าหมายองค์กร ที่นิยมดำเนินงานพร้อมหลักการพื้นฐานคือ 5ส ที่มุ่งเน้นการสร้างสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่ดีต่อการทำงานของพนักงานในองค์กร [8] ซึ่งทั้งการควบคุมด้วยสายตาและการใช้เทคนิค 5ส มีส่วนที่สนับสนุนการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

3. จากกระบวนการวิจัยพบว่าการดำเนินงานการผลิตมะพร้าวขาว เป็นกิจกรรมการแปรรูปวัตถุดิบที่เป็นผลิตผลทางการเกษตร ที่ปริมาณและคุณภาพผลผลิตมีความไม่แน่นอนสูง ทำให้ยากแก่การวางแผนการผลิต นอกจากนี้วัตถุดิบได้แก่ มะพร้าว รวมทั้งผลผลิตได้แก่มะพร้าวขาวมีอายุสั้น และคุณภาพเสื่อมไปตามเวลา อาจเกิดการเน่าเสียหากไม่ได้รับการจัดเก็บที่เหมาะสม การเคลื่อนย้ายและการขนส่งจึงต้องทำด้วยความระมัดระวังและควบคุม ที่สำคัญคือมีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการบริโภค สำหรับผลผลิตทางการเกษตรนั้นพบว่าคุณภาพและราคาไม่ได้แปรตามกัน แต่เป็นไปตามกลไกของตลาด [9] สำหรับเนื้อมะพร้าวขาวปัญหาด้านการเก็บรักษาจะทำให้เพิ่มต้นทุนในการเก็บรักษามากเพราะประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นตัวเร่งให้ผลผลิตเน่าเสียง่ายเร็วมากขึ้น การแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการเก็บสินค้าคงคลัง

จึงมีข้อเสียทั้งการหมดอายุหรือเสื่อมคุณภาพ และต้นทุนที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันการไม่มีการจัดการสินค้าคงคลังทั้งในส่วนของวัตถุดิบและสินค้าอาจทำให้ปริมาณวัตถุดิบมีไม่เพียงพอในการผลิต มีคุณภาพไม่ตรงตามความต้องการ และไม่สามารถดำเนินกิจกรรมการผลิตได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และความช่วยเหลือจากผู้ประกอบการผลิตมะพร้าวชาว โรงงานธานี จังหวัดสมุทรสงคราม

References

- [1] Ornkapat Bualom, Development of the Business Community, A Case Study of the Business Community Development of Coconut Products of the Samut Songkhram Province, Nonthaburi: Faculty of Business Administration and Information Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, 2014.
- [2] Samut Songkhram Provincial Agriculture and Cooperatives Office, Agricultural and Cooperative Development Plan of Samut Songkhram Province (2018-2022), Samut Songkhram: Author, 2020.
- [3] Community Organizations Development Institute (Public Organization), Performance Report for Fiscal Year 2020 (1 October 2019-30 September, Bangkok: Ministry of Social Development and Human Security, 2020.
- [4] Ohno, T., Toyota Production System; Beyond large scale production. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.
- [5] Achara Pongpittaya. (2017). Improving the Production Process of Calico Using ECRS Principles, A Case Study of a Company in Phra Pradaeng District, Samut Prakan Province. Journal of Management Science Review, Thepsatri Rajabhat University, 8(2), 40-49.
- [6] Krittin Choonchuonchoti. (2014). The Improvement of Production Process Efficiency: A Case Study: Lan Dao Drinking Water, Mae Fah Luang University, Chiang Rai Province. Retrived from <https://tdc.thailis.or.th/>
- [7] Jintarat Srisuphan. (2014). Process Improvement in an Automotive Parts Factory. Industrial Management Engineering, Department of Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.
- [8] Kritchai Anakkamanee, 5S and Visual Management, Basic Principles that should not be overlooked, Bangkok: Thailand Productivity Institute, 2018.
- [9] Porntipa Ongkunaruk, Condition and Direction of Community Logistics Development, Bangkok: Department of Agro-Industrial Technology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, 2020.

การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ เพื่อยกระดับรายได้ชุมชน ตำบลคลองโยง อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม ปัทมยา แสงอรุณ^{1*}, เศรษฐกาล โปร่งนุช²

¹ สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

² สาขาวิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: patinya.sa@ssru.ac.th¹

Received: October 29, 2021

Revised: December 20, 2021

Accepted: December 20, 2021

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเภทกล้วยไม้ขนาดเล็กสำหรับการใช้เป็นของฝากหรือของที่ระลึกเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้ากล้วยไม้ มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษารูปร่าง ขนาดกระถางกล้วยไม้ดินสำหรับขายปลีก และข้อจำกัดสินค้าประเภทไม้ประดับขนาดเล็ก 2) เพื่อกออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้จากนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่าง 3) ประเมินความพึงพอใจในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ที่สร้างขึ้น วิจัยนี้เป็นวิจัยเชิงทดลองขั้นแรกศึกษารูปร่าง ขนาดกระถางกล้วยไม้ดินสำหรับขายปลีกในระยะการจำหน่ายในท้องตลาดและระยะการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ในชุดอุปกรณ์หาขนาดการบรรจุ ทดสอบ จากนั้นนำไปสร้างภาพจำลอง 3 มิติ เพื่อการหาความพึงพอใจต่อรูปแบบที่สร้างขึ้น โดยผู้วิจัยใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Accidental sampling) จำนวน 100 คน ในพื้นที่จังหวัดนครปฐมและนนทบุรี ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะกล้วยไม้ดินมักใช้การเพาะเนื้อเยื่อ สามารถนำออกมาขายเมื่อมีใบจริง 2-4 ใบ โดยบรรจุกระถางขนาดเล็กสำหรับขายปลีกหน้าร้าน ผู้บริโภคนิยมซื้อโดยการซื้อจำนวน 1 ต้น และ 5 ต้นต่อครั้ง และเลือกกระถาง 6 นิ้ว ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน 5 ระดับต่อภาพบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ที่สร้างขึ้นพบว่าในภาพรวมมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.00) มีความสวยงาม ความทันสมัยอยู่ในระดับที่ดีมาก ($\bar{X}$ = 4.50) รูปแบบกล่องเหมาะสมและนำใช้งานอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$ = 4.04) ความสะดวกง่ายต่อการใช้งานอยู่ในระดับมากค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$ = 3.99) วัสดุในการออกแบบมีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$ = 3.93) มีความเหมาะสมต่อการนำไปวางขายบนชั้นวางจำหน่ายสินค้า อยู่ในระดับมากค่าเฉลี่ยเท่ากับ ($\bar{X}$ = 3.87)

คำสำคัญ : บรรจุภัณฑ์ของที่ระลึก , ผลิตภัณฑ์ใหม่ , บรรจุภัณฑ์ชุดปลูกกล้วยไม้

The design of Orchid packaging souvenir for Klong Yong Community, Amphoe Putthamonthon, Nakhon Pathom Province to Income Improvement

Patinya Sang-aroon¹, Sethakarn Prongnuch²

¹ Department of Industrial Design and Packaging, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

² Department of Robotics Engineering, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Email: Patinya.sa@ssru.ac.th*

Received: October 29, 2021

Revised: December 20, 2021

Accepted: December 20, 2021

Abstract

This research presents the design of Orchid packaging souvenir to create added value for use as an agricultural souvenir with the objective 1) To study the shape, size of orchid pots, soil for retail and restrictions on small ornamental products. 2) To design and develop orchid packaging from innovative tree planting kits that can control moisture and lighting. 3) Assess satisfaction in the form of orchid type souvenir packaging created. This is the first experimental research to study the shape, size of clay orchid pots for retail in the market and the growth phase of orchids in the packing kit. Test it, then create a mockup3. Dimensions for determination of satisfaction with the created format. The researchers used accidental sampling 100 people in Nakhon Pathum and Nonthaburi provinces. The results of studies of soil orchids are often used for tissue culture. Can be sold when there are 2-4 real leaves, packing small pots for retail in front of the store. Consumers prefer to buy by buying 1 plant and 5 plants at a time and choosing a 6-inch pot. The results of the 5 levels of user satisfaction assessment per orchid souvenir packaging image showed that overall, there was a high level of satisfaction. Average ($\bar{X}$ = 4.00) It is beautiful. Modernity is at a very good level ($\bar{X}$ = 4.50), The box format is suitable and very pleasant to be used. The mean is equal to ($\bar{X}$ = 4.04), Ease of use at a considerable level, the average is equal to ($\bar{X}$ = 3.99). The material in the design is suitable ($\bar{X}$ = 3.93). Best for sale in store distribution ($\bar{X}$ = 3.87).

Keywords : souvenir, new Product, orchid Planting Kit Packaging

บทนำ

กล้วยไม้ขนาดเล็กในตลาดสินค้าปลีกและสินค้าส่งออกนิยมซื้อเพื่อเป็นของประดับตกแต่งบ้านและอาคารและซื้อเป็นของฝากของที่ระลึก ในตลาดไทยมีการส่งออกกล้วยไม้ดิน กล้วยไม้ดอกมีปริมาณตลาดการเติบโตสูงขึ้น พบปัญหาและอุปสรรคปริมาณผลผลิตไม่สอดคล้องกับช่วงความต้องการของตลาดทุนต่างชาติ ทำให้กลไก ตลาดบิดเบือน ราคาผันผวน โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรเผยกลยุทธ์ 4 ด้านที่ควรเข้ามาพัฒนา คือ 1) สนับสนุน/ส่งเสริมการสร้างผลิตภัณฑ์จากกล้วยไม้เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม 2) พัฒนามาตรฐานและคุณภาพกล้วยไม้เพื่อการส่งออก 3) ส่งเสริมการนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ในอุตสาหกรรมกล้วยไม้เพื่อเพิ่มคุณภาพในการผลิตกล้วยไม้ 4) สนับสนุนและประชาสัมพันธ์กล้วยไม้ไทย ให้เป็นที่รู้จักและเป็นที่ต้องการของตลาดต่างประเทศมากขึ้น [1]

การเพิ่มมูลค่าสินค้าจากบรรจุภัณฑ์สินค้าทางการเกษตรเช่นกล้วยไม้ให้สามารถปกป้องสินค้าในการขนส่ง การให้เป็นของที่ระลึกในโอกาสต่าง ๆ ปัจจุบันในการนำเสนอสินค้าผ่านการเตรียมสินค้า การบรรจุ การลำเลียงและขนส่งร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการคุ้มครองผลิตภัณฑ์และส่งเสริมการขายได้นั้นมีการปรับการออกแบบบนพื้นฐานเทคโนโลยีโดยสร้างการใช้งานรูปแบบใหม่ขึ้นเพื่อกำหนดโปรแกรมทางการตลาดใหม่ สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้า [2]

ในจังหวัดนครปฐมมีผู้ปลูกกล้วยไม้ประมาณ 9,000 ไร่ ตามแผนพัฒนาจังหวัดนครปฐม (พ.ศ. 2561 – 2565) มีการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ คือกล้วยไม้และไม้ประดับมากที่สุดของประเทศมีเนื้อที่เพาะปลูกรวม 19150.25 ไร่ กล้วยไม้จังหวัดนครปฐม โดยปลูกมากที่สุดที่อำเภอบางเลนและสามพราน รองลงมาคือ อำเภอนครชัยศรี ส่วนพื้นที่เพาะปลูกจาก 9,501 ไร่ ในปี พ.ศ. 2558

เป็น 10,701 ไร่ ในปี พ.ศ. 2559 และ 10,850 ไร่ ในปี พ.ศ. 2560 เนื่องจากกล้วยไม้เป็นผลผลิตที่ได้รับความนิยมทั้งในและต่างประเทศ พบปัญหาการล้นตลาดส่งผลให้ราคาตกต่ำลง ต้องการเพิ่มมูลค่าในตลาดค้าปลีกเพื่อ สร้างโอกาสทางการตลาดเพิ่ม

การสร้างผลิตภัณฑ์อัจฉริยะในปัจจุบันเป็นการเปลี่ยนแปลงนวัตกรรมของสิ่งประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบสั่งงานและควบคุมอุปกรณ์สิ่งการโดยอาศัยองค์ประกอบจากเทคโนโลยีที่เข้ามาเติมเต็มประสบการณ์ใหม่ช่วยให้การใช้ชีวิตให้สมบูรณ์ขึ้นโดยอาศัยกระบวนการวิจัยและพัฒนาเป็นพื้นฐานการคิดผ่านกระบวนการผลิต การจัดจำหน่าย การปฏิบัติตามขั้นตอนที่มีแบบแผนหรือมีโมเดลในการสร้างผลิตภัณฑ์ที่ใช้กระบวนการพัฒนาในหลักแนวคิดใหม่นั้นจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กลายเป็นอัจฉริยะที่สร้างขึ้นนั้นตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานและโดนใจตลาดในการบริโภคสินค้าและบริการมากขึ้น [3]

ทางด้านการออกแบบการใช้งานเพื่อส่งเสริมแนวคิดนวัตกรรมที่ทางการออกแบบผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ให้เกิดความใหม่ในตลาดกล้วยไม้ขนาดเล็กเป็นแนวคิดในการสร้างมูลค่าเพิ่มเพื่อใช้เป็นของฝากจำเป็นต้องอาศัยองค์ความรู้ที่หลากหลายมาเพื่อสร้างวิธีการใช้งานรูปแบบใหม่ให้ตลาดโดยผู้วิจัยใช้กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ร่วมกับการออกแบบบรรจุภัณฑ์มาวิเคราะห์โครงสร้างบรรจุภัณฑ์ที่สามารถกำหนดลักษณะรูปร่าง รูปทรงขนาด ปริมาตร วัสดุเข้ากับระบบการทำงานอุปกรณ์ ฝนความสวยงามและสามารถผลิตตามกระบวนการอุตสาหกรรมเหมาะสมกับหน้าที่ใช้สอยตลอดจนกรรมวิธีให้มีประสิทธิภาพในการปกป้องรักษาไม่ให้สินค้าเสื่อมสภาพและเสียหาย ตอบสนองความสะดวกในการใช้งาน การวางขาย [4] ปรับกลยุทธ์ในการ

ขายสินค้าลักษณะเดิมสำหรับใช้เป็นของฝากเพื่อวางประดับอาคารให้เกิดคุณค่าในการใช้งานมากขึ้น

จากข้อมูลข้างต้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ประเภทกล้วยไม้ขนาดเล็กสำหรับการใช้เป็นของฝากหรือของที่ระลึกเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้ากล้วยไม้โดยมีแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ที่เชื่อมโยงกับการสร้างผลิตภัณฑ์อัจฉริยะที่สามารถสร้างวิธีการใช้งานในการดูแลความชื้นและแสงสว่างให้กับกลุ่มผู้ขายกล้วยไม้จังหวัดนครปฐมโดยมีวัตถุประสงค์ในการทำวิจัยดังนี้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปร่าง ขนาดกระถางกล้วยไม้ดินสำหรับขายปลีก และข้อจำกัดสินค้าประเภทไม้ประดับขนาดเล็ก
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้จากนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่าง
3. ประเมินความพึงพอใจในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ที่สร้างขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

ในการออกแบบเป็นงานวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้แนวทาง SMART PRODUCT ในการสร้างแนวทางการจัดระบบกระถาง อุปกรณ์และวัสดุเพื่อกำหนดวิธีการเพื่อให้มีความหมายต่อความรู้สึกและระลึกถึงผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ที่สามารถสร้างคุณประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ได้ผ่านการใช้เทคโนโลยีเพื่อสร้างประสบการณ์ใหม่และการมีส่วนร่วมระหว่างผู้บริโภคกับตัวสินค้า โดยสร้างอารมณ์และความรู้สึกของผู้ใช้งานและออกแบบความสวยงามในส่วนที่ผู้ใช้งานเห็นและกระทำ

การใช้งาน (User Experience and user interface) เพื่อให้สอดคล้องกับแนวทางการออกแบบรูปร่างผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์สำหรับที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่างสำหรับการดูแลกล้วยไม้ในอาคารใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (Internet of Thing: IoT) หรือ อุปกรณ์ที่มีการฝังตัวของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ โดยผู้วิจัยได้ขอบเขต ของการออกแบบดังกล่าวต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ความรู้และข้อมูลพื้นฐานเลือกศึกษาศึกษาในประเด็นแนวทางการออกแบบบรรจุภัณฑ์กล้วยไม้สำหรับการเป็นของที่ระลึก กำหนดวิธีการทดสอบการทำงานด้านการทดสอบการเชื่อมต่อกันภายในกระถางและกล่องบรรจุภัณฑ์
2. วิเคราะห์ ทดสอบรูปแบบการใช้งานของกระถาง โดยทดสอบวิธีการทำงานของกระถางอัจฉริยะในการหาปัญหาการบรรจุกล้วยไม้ โดยใช้ระยะกล้วยไม้ดินที่สามารถเติบโตในกระถางในการคำนวณ ขนาด สัดส่วนทางการออกแบบชุดควบคุม ดังรูปที่ 3 ตามขอบเขตการออกแบบและความต้องการในระบบการให้น้ำรวมถึงวางตำแหน่งการใช้งานใหม่ให้เหมาะสมกับลักษณะการขายแบบ 5 กระถางและแบบ 1 กระถางจากการสอบถามความนิยมในการซื้อสินค้าตามลักษณะการขายในตลาดกล้วยไม้จริงจากแม่ค้ากล้วยไม้พื้นที่ ร่วมกับขนาดจริงของอุปกรณ์ควบคุมในระบบแบ่งเป็น (Raspberry Pi Camera Module V1.3, Pump, Soil Moisture Detection Humidity Sensor Module, LED Super Bright, Acrylic, บอร์ด Raspberry Pi Zero W) ดังรูปที่ 1 จากนั้นสร้างแบบจำลอง 3 มิติ

Picture	
Name	LED Super Bright
Size	5mm
Picture	
Name	Acrylic
Size	20cm x 20cm
Picture	
Name	raspberrypi Raspberry Pi Zero W
Size	65mm x 30mm x 5mm
Picture	
Name	Raspberry Pi Camera Module V1.3
Size	25mm x 24 mm
Picture	
Name	Pump
Size	55mm x 24mm x 33mm
Picture	
Name	Soil Moisture Detection Humidity Sensor Module
Size	30mm x 16mm

รูปที่ 1 ขนาดอุปกรณ์ที่ใช้ในนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่าง

3. วิเคราะห์การจัดประกอบอุปกรณ์โดยวิธีการวางตำแหน่งการทำงานระบบให้น้ำ ส่วนวัดแสงและลักษณะการบรรจุโดยใช้เครื่องมือทดสอบระบบ แก้ปัญหาการทำงานโดยนักศึกษาศาขาวิศกรรมคอมพิวเตอร์คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม จากนั้นพัฒนารูปแบบให้มีความทันสมัย กำหนดวัสดุเพื่อนำไปสร้างโมเดลต้นแบบเสมือนจริง และนำภาพไปทดสอบกลุ่มตัวอย่าง โดยประเมินความพึงพอใจด้านรูปลักษณ์และความพึงพอใจกับผู้ใช้งานมีผู้ใช้งาน 5 ระดับ เป็นผู้สนใจเลือกซื้อสินค้าไม่ประดับเพื่อเป็นของฝาก จำนวน 100 คนในพื้นที่จังหวัดนครปฐม และนนทบุรี

ผลการวิจัย

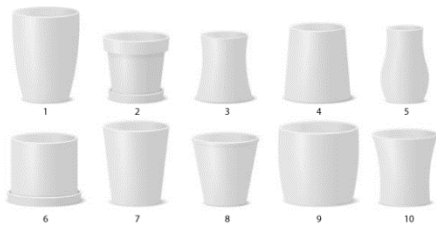
การวิเคราะห์ผลการทดสอบมีหัวข้อผลการทดสอบ โดยแบ่งเป็นการวิเคราะห์ผลการวิเคราะห์ กำหนดขนาดกระถางที่จะนำมาใช้ในการออกแบบ กล้องบรรจุตามลักษณะในการขายสินค้าในท้องตลาด และการวิเคราะห์ผลการ

ทดสอบการบรรจุและการใช้งานจากต้นแบบ มีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาลักษณะเฉพาะกล้วยไม้ดินสำหรับขายปลีก ข้อจำกัดสินค้าประเภทไม้ประดับขนาดเล็กจากร้านจำหน่ายกล้วยไม้ชุมชนตำบลคลองโยง อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดนครปฐมมาสอบถามเป็นข้อมูลในการพัฒนาความต้องการใช้งาน รูปแบบขนาดกระถางที่จะนำมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ตามลักษณะในการขายสินค้าในท้องตลาดพื้นที่นครปฐมพบว่า

1. ความต้องการใช้งานรูปแบบขนาดกระถางโดยวิเคราะห์ข้อมูลการดูแลกล้วยไม้ในขณะการขนส่ง ซึ่งกล้วยไม้ดินพบว่า กล้วยไม้ที่ขายส่งในประเทศและนอกประเทศ นิยมใช้กระถางขนาด 6 นิ้ว มีราคากลางในตลาดส่งออกระยะไม่ออกดอก 35-40 บาท ความต้องการในด้านรูปร่างและลักษณะกระถางที่เป็นที่นิยม พบว่า ร้อยละ 75 เลือกกระถางหมายเลข 7 ทรงกลมปากกว้าง รองมาคือ

ร้อยละ 20 เลือกระถางหมายเลข 4 ทรงกลมปากแคบ และ ร้อยละ 5 เลือกระถางหมายเลข 10 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ภาพกระถางแต่ละรูปทรงที่นิยมในการเลี้ยงกล้วยไม้

ที่มา: ผู้วิจัยออกแบบ ปี พ.ศ. 2564

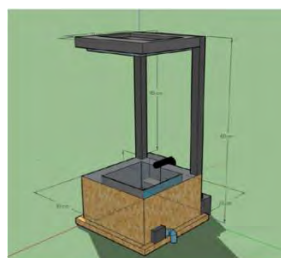
ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการกำหนดขนาดภายในกล่อง ต่อขนาดต้นไม้ในระหว่างการขาย 3 ขนาด เล็ก กลาง ใหญ่ มีรายละเอียดตอบวัตถุประสงค์งานวิจัย ในข้อ 2 ด้านการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้จากนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่าง

2.1 การกำหนดพื้นที่การใช้งานภายในกล่องบรรจุ พบว่าขนาดต้นไม้ในระหว่างการเติบโตมี 3 ลักษณะ เป็นการบรรจุกระถาง 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง ใหญ่ ตามขนาดต้นระยะขายปลีก ผลการทดสอบขนาดเฉลี่ยในการเจริญเติบโตของกล้วยไม้ในการขายมีความแตกต่างระยะที่ 1 2 อยู่ที่ระดับ 7-10 เซนติเมตร โดยได้ผลค่าเฉลี่ยที่เหมาะสมอ้างอิงจากขนาดอุปกรณ์ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ เพื่อควบคุมความชื้นและแสงสว่างให้เหมาะสมกับราคาขาย โดยอิงจากระยะขาย กระถางขนาดเล็ก มีขนาดความสูง เฉลี่ย 23.87 เซนติเมตร ระยะกระถางขนาดกลาง เฉลี่ย 33.02 เซนติเมตรมาใช้งาน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขนาดกล้วยไม้ดินตามระยะการขาย 3 ขนาด
ที่มา: ผู้วิจัย ปี พ.ศ. 2564

ส่วนที่ 3 การออกแบบรูปร่างระบบอุปกรณ์บรรจุภัณฑ์ครอบและขนาดในการออกแบบเพื่อสร้างบรรจุภัณฑ์บรรจุกล้วยไม้ดินเพื่อสร้างลักษณะการจัดระบบอุปกรณ์ โดยเรียง UX และ UI ตามลักษณะเฉพาะการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรมทางการออกแบบ 3 มิติ เพื่อสร้างแบบโมเดลกำหนดขนาด ที่ผู้วิจัยได้แสดงขนาดที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความสูงต้นไม้มั บรรจุกล้วยไม้ขนาดกลางรวมในกระถางสูง 13 นิ้ว หรือ 33.02 เซนติเมตร และสร้างโมเดล 3 มิติเพื่อกำหนดขนาดกล่องบรรจุ ได้ความสูงกล่องบรรจุสูง 60 เซนติเมตร ในระยะการเติบโตของต้นไม้นอกดอกใน 3-5 เดือนของดอกกล้วยไม้ดิน และความกว้างเผื่อระยะการแทงหน่อ 30-32 เซนติเมตร จากนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่างตามการวิเคราะห์ขนาดต้นไม้ดินในระยะการขายจริงบรรจุ 1 ต้น ร่วมกับการใช้อุปกรณ์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงขนาดบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้จากโปรแกรม

ที่มา: ผู้วิจัยออกแบบ ปี พ.ศ. 2564

ในการสร้างชิ้นงานเพื่อทดสอบน้ำหนักสินค้า การต่อการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์ โดย 1) จัดทำต้นแบบจากรูปแบบกล่องบรรจุตามแบบร่าง แบบขายปลีกที่สร้างขึ้นแบบ 1 กระถาง ในการ ต่อโมเดลขนาดใกล้เคียง จากวัสดุไม้มาต่อรูปร่าง ร่วมกับอะคริลิก 2) ทดสอบการใช้งานข้อกำหนด ด้านการควบคุมความชื้นและแสงสว่างจากวัสดุที่ สร้างขึ้น ดังรูปที่ 4

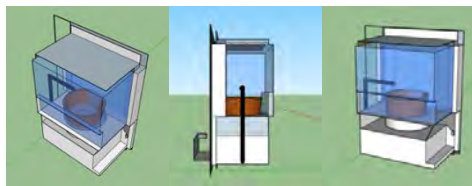


รูปที่ 4 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ตามลักษณะแบบร่าง ทางโมเดล 3 มิติ (ตามรูปที่ 4)

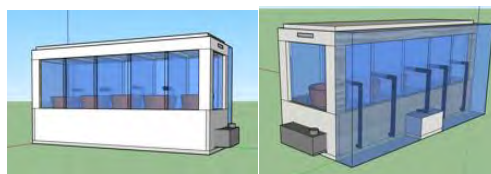
ที่มา: ผู้วิจัยชิ้นงานต้นแบบทดสอบ ปี พ.ศ. 2564

2) ผลการทดสอบการใช้งานต้นแบบ วัตถุประสงค์ข้อ 2 ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ พบว่าการใช้วัสดุไม้ที่ทำการออกแบบมีน้ำหนัก มาก และการเจาะรูทำให้เกิดความชื้นเพิ่มขึ้นใน ระบบทั้งมีน้ำหนักมากในการลำเลียงสินค้าจากจุด จำหน่าย

จากวัตถุประสงค์ข้อ 3 ด้านการประเมินความ พึงพอใจในรูปแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภท กล้วยไม้ที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้นำเอาผลการทดสอบ และการทดลองมาวิเคราะห์การทำงานระบบอุปกรณ์ ข้อจำกัด การใช้วัสดุ ขนาดที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ มาพัฒนารูปลักษณะบรรจุภัณฑ์ โดยใช้โปรแกรม ทางการออกแบบ 3 มิติ ดังรูปที่ 5 รูปที่ 6



รูปที่ 5 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์บรรจุ 1 กระถาง ที่มา: ผู้วิจัยออกแบบภาพจำลองด้วยโปรแกรม 3 มิติ ปี พ.ศ. 2564



รูปที่ 6 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์บรรจุ 5 กระถาง ที่มา: ผู้วิจัยออกแบบภาพจำลองด้วยโปรแกรม 3 มิติ ปี พ.ศ. 2564

จากนั้นนำภาพแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ไป ทดสอบกลุ่มตัวอย่างจำนวน 100 คนในพื้นที่ จังหวัดนครปฐม และนนทบุรี โดยประเมินความ พึงพอใจด้านรูปลักษณ์และความพึงพอใจกับ ผู้ใช้งานมีผู้ใช้งาน 5 ระดับ ในประเด็น ความสวยงาม ความทันสมัย ขนาดกล่องเหมาะสมและนำใช้งาน ความเหมาะสมในการใช้วัสดุ ความสะดวกและ ง่ายต่อการใช้งาน การนำไปวางขายบนชั้นแสดง สินค้า และภาพรวมในการออกแบบ กับผู้สนใจ เลือกซื้อสินค้าไม้ประดับเพื่อเป็นของฝาก สรุปผล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบความพึงพอใจต่อการพัฒนา รูปแบบเดสก์ท็อปที่สร้างขึ้น

(n=100)			
หัวข้อ	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
ความสวยงาม ความทันสมัย	4.50	0.50	ดีมาก
รูปแบบกล่องเหมาะสมและนำใช้งาน	4.04	0.82	มาก
วัสดุในการออกแบบมีความเหมาะสม	3.93	0.83	มาก
ความสะดวกง่ายต่อการใช้งาน	3.99	0.78	มาก
การความเหมาะสมต่อการนำไปวางขายบนหน้าจอสินค้าหน้าร้าน	3.87	0.77	มาก
รวม	4.00	0.85	มาก

สรุปและอภิปรายผล

สรุปและอภิปรายผลการออกแบบบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้ เพื่อยกระดับรายได้ชุมชนตำบลคลองโยง อำเภอกุสุมาลย์ จังหวัดนครปฐมพบว่า ด้านการใช้งานอุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริง ทางด้านรูปลักษณ์บรรจุภัณฑ์ ผู้ใช้งานสามารถเพิ่มความสวยงามโดยใช้การพิมพ์สกรีนช่วยส่งเสริมภาพลักษณ์การขายและวิธีการใช้งานลงบนพื้นผิวอุปกรณ์ต้นแบบ ลักษณะเทคโนโลยีที่นำมาใช้มีขนาดเล็กลงตามการพัฒนา ในการนำเอาวิจัยไปใช้ประโยชน์อาจมีการปรับการทดลองด้านวัสดุ การปรับโมเดล 3 ออกมาทดสอบในการขายจริงได้ รวมถึงวิธีการใช้งานสามารถสร้างคู่มือหรือภาพอธิบายด้วยอินโฟกราฟิกผ่านระบบคราวเพื่ออำนวยความสะดวกในใช้งานสินค้าที่ง่ายขึ้นในอนาคต และการเข้าถึงลักษณะการดูแลกล้วยไม้ด้วยการอ่านบาร์โค้ดจากรูปภาพรหัสแท่งได้ และผลการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ยังเป็น

แนวคิดพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ของที่ระลึกประเภทกล้วยไม้จากนวัตกรรมชุดปลูกต้นไม้ที่สามารถควบคุมความชื้นและแสงสว่างได้อย่างมีประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์และขอบเขตในการวิจัยบนพื้นฐานผลิตภัณฑ์ร่วมกับเทคโนโลยี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้สนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาเลขที่สัญญา 9506/2564 และสถานที่ใช้ทดสอบชิ้นงานจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินผลงานและผู้เกี่ยวข้องในการวิจัย

References

- [1] A. Viriyakrunghchai, "Orchid Product Report," Office of Agricultural and Industrial Trade Promotion, Department of International Trade Promotion, 2021.
- [2] S. Serirat, et al., New Marketing Management, Bangkok: Thammasarn, 2009.
- [3] C. witcha et al., "Intelligent Shop Innovation for Food and Bakery Business in New Normal," Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University, vol.1, no. 23, pp. 31–32, January-April, 2021.
- [4] T. Prachid, Packaging design, Bangkok: O.S.Printing House, 1998.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาเป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 3 ท่านต่อหนึ่งบทความ และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่อย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใด ๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์ อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
บทคัดย่อ (Abstract)	มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษเป็นเนื้อความสรุปสาระสำคัญของเรื่อง ครอบคลุมวัตถุประสงค์ วิธีดำเนินการวิจัย ผลการวิจัย และผลสรุป มีความยาวไม่เกิน 250 คำ ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว
คำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ จำนวน 3-5 คำ
บทนำ	อธิบายถึงความสำคัญหรือที่มาของปัญหาที่ทำการศึกษา วัตถุประสงค์ และอาจรวมไปถึงวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
เนื้อเรื่อง	ใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย กระชับและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง
เอกสารอ้างอิง (References)	การอ้างอิงในบทความใช้การอ้างอิงแบบตัวเลข ตามมาตรฐานสากล ดังที่แสดงไว้ในส่วนท้ายของประโยคนี้ [1] เอกสารอ้างอิงท้ายบทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงในบทความ ตามรูปแบบของ IEEE

(<http://www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf>)

โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ

รูปภาพและตาราง

ต้องมีความคมชัดเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน มีคำอธิบายสั้นๆ ครบถ้วน และเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า “ตารางที่.....” และอธิบายใส่ไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า “รูปที่.....” และมีคำอธิบายใส่ไว้ใต้รูป

รูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิง

ตัวอย่างการอ้างอิงหนังสือ

- [1] ชื่อผู้แต่ง, *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*, (พิมพ์ครั้งที่), เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [2] สมชาย ประสิทธิ์จตุระกุล, *การออกแบบและวิเคราะห์อัลกอริทึม*, กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), 2001.
- [3] J.R. Quinlan, *C4.5: Programs for Machine Learning*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, California, 1993.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากการประชุมวิชาการ

- [4] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” ใน หรือ In, *ชื่อการประชุมวิชาการ, ชื่อย่อการประชุมวิชาการ, ชื่อสถานที่จัดงาน, วัน เดือน ปี ที่จัดงาน, เลขหน้า*.
- [5] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “การศึกษาแนวทางขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติงานของบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ครั้งที่ 8*: 2559, น. 726-735.
- [6] H. Worraruethai, “Staff Morale in Working at Suan Sunandha Rajabhat University,” in *XII International Conference on Human Resource Management and Professional Development (ICHRMPD 2014), Paris, France, 2014*, pp. 27-36.

ตัวอย่างการอ้างอิงจากวารสาร

- [7] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อบทความ,” *ชื่อวารสาร*, ปีที่, ฉบับที่, เลขหน้าบทความที่อ้างอิง, เดือนที่พิมพ์, ปีที่พิมพ์.
- [8] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “วัสดุทางวิศวกรรม,” *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา*, ปีที่4, ฉบับที่ 2, หน้า 37-42, มกราคม-มิถุนายน, 2559.
- [9] M. Ito et al., “Application of amorphous oxide TFT to electrophoretic display,” *J. Non-Cryst. Solids*, vol.354, no. 19, pp. 2777–2782, Feb. 2008.

การอ้างอิงจากวิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์

- [10] ชื่อผู้แต่ง, “ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์,” วิทยานิพนธ์หรือสารนิพนธ์ ชื่อย่อปริญญา (สาขา), ชื่อมหาวิทยาลัย, ชื่อเมือง, ชื่อประเทศ, ปีที่พิมพ์.

- [11] วรฤทัย หาญโชติพันธุ์, “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการศึกษา,” วิทยานิพนธ์ บธ.ม. (การบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2551.
- [12] J. O.Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation (Electrical Engineering), Harvard University, Cambridge, MA, USA, 1993.

การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/fit-ssru> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุททองนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 23 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit_journals@ssru.ac.th

**แบบฟอร์มส่งบทความวิจัยเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา**

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)

(ภาษาอังกฤษ)

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

ระดับการศึกษาสูงสุดตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบลเขต/อำเภอ

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

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบลเขต/อำเภอ

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

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบลเขต/อำเภอ

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

E-mail.....

ข้าพเจ้า และผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองบทความที่เสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดังนี้

1. บทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดๆ

2. เนื้อหาของบทความ ทั้งข้อความ รูปภาพ ทั้งหมดที่ปรากฏขอรับรองว่าเป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ในกรณีที่มีการอ้างอิงผลงานจากผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมได้ดำเนินการตามจรรยาบรรณทางการวิจัยทุกประการ กรณีมีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

3. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับเงื่อนไขการพิจารณาบทความ และยินยอมปรับแก้บทความตามคำแนะนำ ของผู้ทรงคุณวุฒิหรือตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

4. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ลงชื่อผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : กองบรรณาธิการไม่รับพิจารณาบทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนด