

The Journal of
Industrial Technology

Suan Sunandha Rajabhat University

Volume 7 / Number 2 / July - December 2019

ISSN 2351-0811

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562)



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ฤเดช เกิดวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลัง วงษ์ธนสุภรณ์

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิบูล ไวกิจตรกรรม

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวิชัย บุญศรีเมือง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพิฤกษ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒินวงศา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รจนา จันทราสา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นารีนารถ รักสุนทร

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ดร.ชนมภัทร ไตรระสะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

คณะกรรมการประเมินบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย สีนาวงศ์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงกต ทศานนท์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ ศุภวราสุวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.ไพโรจน์ เนียมมโน

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

รองศาสตราจารย์ ดร.มานิช สรรพกิจทิพากร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วินัย ใจกล้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.สุชปา เนตรประดิษฐ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ผ่องรัศมี	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎางค์ ศุกระมูล	มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ สอนสุวิทย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย ชูศิลป์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียา แก้วอาษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.ชนมภัทร ไตรระสะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ฝ่ายประสานงานและจัดการ

นางสาววรฤทัย หาญโชติพันธ์

กำหนดการเผยแพร่

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

เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สำนักงาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก เขตดุสิต
กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 www.fit.ssrui.ac.th

พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด ดี-วิทย์ (สำนักงานใหญ่) 589/1091 ถนนจรัญสนิทวงศ์ แขวงบางอ้อ เขตบางพลัด
กรุงเทพมหานคร

โทรศัพท์ 081 810 1419

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารที่ตีพิมพ์เผยแพร่เฉพาะบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี และด้านวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีผลกระทบโดยตรงกับการสร้างนวัตกรรมในแวดวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี อุตสาหกรรม และวิศวกรรม ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 7 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2562) บทความวิจัยในเล่มนี้มี 10 เรื่อง ประกอบด้วย การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้, การพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อมอะลิซารินเรดสำหรับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ, การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C ร่วมกับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน, การพัฒนาแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, การเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต, การพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท, การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องทดสอบเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์, การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชัน, การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่ไหลของระบบโครงข่ายอัจฉริยะโดยใช้ระบบอนุমানตรกะศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว, The Study on Physical Characteristics of Water Hyacinth Fibers by Scanning Electron Microscopy เนื้อหาของบทความดังกล่าวมานี้ เรียบเรียงจากผลการวิจัยที่เป็นนวัตกรรมใหม่ มีความร่วมสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เหมาะสมสำหรับใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์ นักวิชาการและผู้ที่เกี่ยวข้องทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับต่อไป คือ ฉบับที่ 1 ของปีที่ 8 (เดือนมกราคม – มิถุนายน 2563) กำลังเปิดรับงานเขียนในรูปแบบบทความวิจัยด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเทคโนโลยี และด้านวิศวกรรมศาสตร์เท่านั้น วารสารยังมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์และนักศึกษา ส่งผลงานมาให้พิจารณาเพื่อการตีพิมพ์ วารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณาถ่วงดุล (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ขอขอบคุณสมาชิกวารสารที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทามา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิบูล ไวจิตรกรรม
บรรณาธิการ

สารบัญ

หน้า

บทความวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้ Process Improvement of Spice Packing ปริญญ์ แชะห่วน	6
การพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อมอะลิซารินเรดสำหรับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ Development of Alizarin Red-based Indicator Films for Intelligent Packaging สุรัชย์ ชื่นแก้ว, ดลพร ไกรตรวจพล, อาภาศิริ เห่งไฉ่	15
การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C ร่วมกับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม เพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน Development of C-band monopole antenna with Artificial Neural Networks Cooperation for Latex Contamination Detecting Application ประพนธ์ ลีกุล, ธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ	24
การพัฒนาแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา The Development of Information Technology Skills for Industrial Management with the Process of Self-Directed Learning for the First Year Undergraduate Students of Suan Sunandha Rajabhat University สมเกียรติ กอบัวแก้ว	34
การเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต The Crystallization of Cement Waterproofing Coated on Concrete Surface วรัญ วงศ์ประชุม	42

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทความวิจัย

The Study on Physical Characteristics of Water Hyacinth Fibers by Scanning Electron Microscopy <i>Apichote Urantinon</i>	51
การพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท Development of Travel Application on Smartphone Android Operating System: A Case Study of Phu Phrabat Historical Park <i>มานะ โสภะ, วรจักษ์ แสนโคตร, วัฒนา อิศาสตร์</i>	61
การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ Construction and Efficiency of Twisting Silk Machine with 2 Spinning Heads for Silk Weaving Group in Surin <i>ศุภชัย แก้วจันทร์, ชูชาติ พยอม, เอกราช นาคนวน</i>	70
การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชัน Maximizing Solar Cell Power Output using in Solar Powered Water Treatment System by Particle Swarm Optimization Algorithm <i>กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล, อีสริ ศรัคณ, ศักดิ์ศรี แก่นสม, พรหมพัทธ์ ดาวัลด์</i>	83
การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่โหลดของระบบโครงข่ายอัจฉริยะ โดยใช้ระบบอนุมานตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว Improving Efficiency of load frequency control for smart grid using adaptive neuro-fuzzy inference system <i>นิธิกร จันทร์หัวโทน</i>	94

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้

ปริญญ์ แซ่หุ่ย

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: parinut.sa@ssru.ac.th

Received: May 9, 2019

Revised: June 5, 2019

Accepted: June 10, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้โดยการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม เนื่องจากกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งเป็นงานประเภททำด้วยมือและมีรอบเวลาการผลิตที่สั้นมาก จึงทำการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาโดยการวิเคราะห์การทำงานของสองมืออย่างละเอียด ผลที่ได้คือการพบความสูญเสียเปล่าที่เกิดจากวิธีการทำงานที่ไม่จำเป็นซึ่งเป็นงานประเภทเวลาไร้ประสิทธิภาพหรือเวลาส่วนเกินซึ่งมีอยู่หลายงานย่อย จากนั้นจึงหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดความสูญเสียเปล่า ผลที่ได้หลังจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนงานย่อยลดลงร้อยละ 36 และเวลามาตรฐานลดลงร้อยละ 58 เมื่อพิจารณาผลภาพแรงงานของพนักงานแต่ละคนมีค่าแตกต่างกันมากทำให้สายการผลิตไม่สมดุล จึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่โดยคงจำนวนพนักงานไว้เท่าเดิม ผลที่ได้คือผลผลิตภาพแรงงานเท่ากันทุกคน ทำให้สายการผลิตมีความสมดุล ไม่เกิดจุดคอขวดขึ้น และผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า เมื่อผลผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 147 ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยลดลงร้อยละ 60

คำสำคัญ : การปรับปรุงกระบวนการ, การบรรจุ, เครื่องพะโล้

Process Improvement of Spice Packing

Parinut Sae-Whoon

Industrial Management Program, Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

Email: parinut.sa@ssru.ac.th

Received: May 9, 2019

Revised: June 5, 2019

Accepted: June 10, 2019

Abstract

The objective of this research is to improve the spice packing process by applying the principles of industrial engineering. Due to the production process of the company, the case study is mainly based on manual labour, which is a manual work and has a very short cycle time. Therefore, studying motion and time by analyzing the work of two hands thoroughly. The result is finding the wastage caused by unnecessary work methods, which is the work of type, inefficiency time or excess time, which have many elements. Then, finding ways to improve work methods to reduce waste. The result after the improvement, it was found that the number of elements decreased by 36 percent and the standard time decreased by 58 percent. When considering the labour productivity of each employee, there were very different values, causing the production line to be unbalanced. Therefore, balancing new production lines by maintaining the same number of employees. The result is equal labour productivity, causing the production line balanced, no more bottlenecks, and double the productivity. When labour productivity increased by 147 percent, resulting in a 60 percent reduction in labour costs per unit.

Keywords : Process Improvement, Packing, Spice.

บทนำ

พะโล้ เป็นการปรุงอาหารแบบจีนที่แพร่หลายไปทั่วประเทศจีน และได้แพร่หลายเข้ามาในประเทศไทยด้วย พะโล้ในภาษาไทยเป็นคำยืมจากภาษาจีนฮกเกี้ยน พะโล้ว/พะลั่ว คือขั้นตอนหนึ่งในการทำเนื้อพะโล้ เครื่องเทศที่ใช้หรือที่เรียกกันว่า “เครื่องพะโล้” มีได้หลายแบบ พะโล้ที่ดีจะปรุงให้ได้ 5 รส โดยใช้เครื่องเทศจีน 5 ชนิด (อดุลย์ รัตนันเกษม, 2556, น. 83-89) พะโล้ที่ทำโดยคนไทยจะปรับให้ปรุงง่ายขึ้น ใส่เครื่องเทศจีนเพียงไม่กี่อย่าง และใส่ไม่มากนัก ส่วนมากนิยมใส่เป็ยักและอบเชย (สุทัศน์ ศุกลรัตนเมธี, 2556, น. 27-29)

เนื่องจากความต้องการทางการตลาดของเครื่องพะโล้สูงขึ้นเรื่อย ๆ ต่อกลุ่มแม่บ้าน ปัจจุบันมีธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องพะโล้มากกว่า 100 ราย ทำการบรรจุเครื่องพะโล้ใส่ซองพลาสติกนำไปวางจำหน่ายตามร้านขายของชำ ร้านสะดวกซื้อ ซูเปอร์มาร์เกต เพื่ออำนวยความสะดวกในการหาเครื่องพะโล้และลดเวลาในการทำเมนูพะโล้ต่อกลุ่มแม่บ้าน

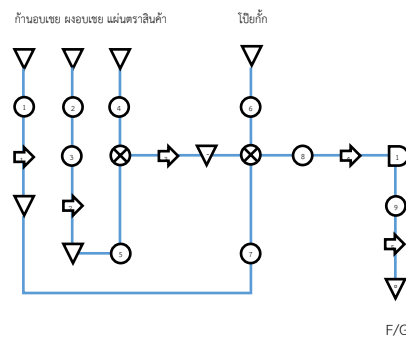
ธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องพะโล้ ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กมักขาดวิศวกรที่ดูแลในเรื่องของการจัดสมดุลสายการผลิต ทำให้ได้ผลผลิตน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และยังทำให้การใช้ทรัพยากรขององค์กรเป็นไปอย่างไม่คุ้มค่า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดนนทบุรีเนื่องจากสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูลมาเป็นกรณีศึกษา เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้โดยการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม จึงทำการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาโดยการวิเคราะห์การทำงานของสองมืออย่างละเอียด จากนั้นจึงหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการ และการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้คุ้มค่าที่สุด เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มผลผลิตนั่นเอง

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้

ระเบียบวิธีวิจัย

1. รวบรวมข้อมูล โดยใช้แผนภูมิกระบวนการผลิต โดยสังเขป (outline process chart) เพื่อนำมาศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิต แสดงดังรูปที่ 1 เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งเป็นงานประเภททำด้วยมือและมีรอบเวลาการผลิต (cycle time) ที่สั้นมาก จึงใช้กล้องวิดีโอบันทึกภาพเพื่อนำมาศึกษาขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด



รูปที่ 1 แผนภูมิกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้ โดยสังเขป

จากรูปที่ 1 พบว่ามีขั้นตอนการทำงานหลัก 9 ขั้นตอน (สัญลักษณ์วงกลม) เมื่อแบ่งตามสถานีงาน (workstation) จะได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานในแต่ละสถานีงาน (ก่อนการปรับปรุง)

สถานีงาน	พนักงาน	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	A	①	การคัดก้านอบเชย
2	D	② ③	การตักผงอบเชยใส่ถุงพลาสติกขนาดเล็ก พร้อมเย็บถุง
3	C	④ ⑤	การบรรจุผงแตรวาลีน้าและผงอบเชยลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่
4	B	⑥ ⑦ ⑧	การบรรจุโป๊ยกั๊กและก้านอบเชยลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ พร้อมเย็บถุง
5	D	⑨	การมัดรวมชุดละ 10 ถุง

หมายเหตุ : พนักงาน A และ B เป็นผู้ชาย ส่วนพนักงาน C และ D เป็นผู้หญิง

จากตารางที่ 1 พบว่าสถานีงานที่ 1 และ 5 มีขั้นตอนการทำงานหลักอยู่ 1 ขั้นตอน สถานีงานที่ 2 และ 3 มีขั้นตอนการทำงานหลักอยู่ 2 ขั้นตอน และสถานีงานที่ 4 มีขั้นตอนการทำงานหลักอยู่ 3 ขั้นตอน

2. แบ่งขั้นตอนการทำงานหลักออกเป็นงานย่อย (element) โดยใช้แผนภูมิการทำงานของมือซ้ายและมือขวา (left and right hand chart) บทความนี้ขอแสดงรายละเอียดเพียง 1 สถานีงาน ตัวอย่างดังตารางที่ 2

3. บันทึกเวลาการทำงานของแต่ละงานย่อย โดยใช้ระบบ MTM (methods-time measurement) ในการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเวลา ตัวอย่างดังตารางที่ 2

ในการวิเคราะห์ MTM ให้แบ่งประเภทของการเคลื่อนไหวในแต่ละงานย่อยให้ครบทีละงานย่อย โดยบันทึกรายละเอียดของการเคลื่อนไหวแต่ละประเภทด้วยรหัส (วันชัย ริจิรวนิช, 2555, น. 456) ดังนี้

CATEGORY CODE

GET	GA, GB, GC
PUT	PA, PB, PC
APPLY PRESSURE	A
REGRASP	R
EYE ACTION	
CRANK	C
STEP MENTION	S
FOOT MOTION	F
BEND AND ARISE	B
WEIGHT FACTOR	GW, PW

การกำหนดเวลาของการเคลื่อนไหวแต่ละประเภท จะเป็นค่าเวลาในหน่วยของ TMU ให้แปลงค่าเวลา TMU เป็นวินาทีสำหรับเวลาปกติ (คูณด้วย 0.036)

ตารางที่ 2 การแบ่งงานย่อยและบันทึกเวลาของขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1 (ก่อนการปรับปรุง)

มือซ้าย	รหัส	เวลา	รหัส	มือขวา
เริ่มไม่จับก้านอบเชยเพียงยาว	GB30	14	-	ว่าง
เคลื่อนไปหยิบที่ข้อนิ้วขนาดยาว 4"	PB30	19	-	ว่าง
หยิบที่ข้อนิ้ว	GC5	14	-	ว่าง
จับก้านอบเชยและข้อนิ้ว	R	12	-	ว่าง
นำก้านอบเชยและข้อนิ้วด้านหน้า	PA30	11	-	ว่าง
จับก้านอบเชยและข้อนิ้ว	-	19	PB30	นำกรรไกรไปที่ก้านอบเชย
จับก้านอบเชยและข้อนิ้ว	-	21	PC5	นำกรรไกรไปตัดก้านอบเชย
จับก้านอบเชยและข้อนิ้ว	-	28	A	ออกแรงตัดก้านอบเชย
จับก้านอบเชยและข้อนิ้ว	-	15	PB15	เคลื่อนกรรไกรออก
ปล่อยข้อนิ้วออกจากมือ	PA5	3	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชยไว้	R	6	-	จับกรรไกร
พลิกก้านอบเชยส่วนล่างลง	PA5	3	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชยไว้	R	6	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชย	-	15	PB15	นำกรรไกรไปที่ปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	21	PC5	นำกรรไกรไปตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
ปล่อยก้านอบเชยออกจากมือ	PA5	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
พลิกมือจับก้านอบเชย	GB5	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
ดึงก้านอบเชยออกจากกรรไกร	PA5	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
พลิกปลายก้านอบเชยอีกด้านลง	PA5	3	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชยไว้	R	6	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชย	-	15	PB15	นำกรรไกรไปที่ปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	21	PC5	นำกรรไกรไปตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	10	PB5	เคลื่อนไปจับก้านอบเชยที่มีข้อนิ้ว
จับก้านอบเชย	-	7	GB5	จับก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงหักก้านอบเชยให้แยกออก
ปล่อยก้านอบเชยที่หักแล้ว	PA5	3	PA5	ปล่อยก้านอบเชยที่หักแล้ว
รวม		356		TMU

จากตารางที่ 2 พบว่าขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1 ก่อนการปรับปรุงมีจำนวนงานย่อยทั้งหมด 28 งานย่อย ใช้เวลา 356 TMU หรือ 12.82 วินาที โดยมีมือซ้ายจับชิ้นงานรอ 13 งานย่อย ส่วนมือขวาจับชิ้นงานรอ 6 งานย่อย และว่าง 5 งานย่อย

4. กำหนดเวลาเพื่อและเวลามาตรฐานของแต่ละสถานีงาน (ก่อนการปรับปรุง) โดยไม่ต้องปรับค่าการประเมินอัตราการทำงาน

การกำหนดเวลาเพื่อ ในอุตสาหกรรมทั่วไป มักกำหนดเวลาเพื่อสำหรับงานทั่วไปไว้ดังนี้ เวลาเพื่อกิจส่วนตัว (personal allowance) 5% และเวลาเพื่อความเครียด (fatigue allowance) 4% (วัชรินทร์ สิทธิเจริญ, 2547, น. 231) สามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมได้จากองค์การแรงงานระหว่าง

ประเทศหรือ ILO (Kanawaty, 1992) สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาเผื่อไว้ดังนี้

เวลาเผื่อกิจส่วนตัว

= 5% สำหรับผู้ชาย

และ 7% สำหรับผู้หญิง

เวลาเผื่อความเครียด = 4%

การกำหนดเวลามาตรฐาน (Mundel, 2013) สามารถคำนวณได้จากสมการ

เวลามาตรฐาน

= เวลาปกติ $\times (1 + \% \text{เวลาเผื่อ})$

ตัวอย่างเช่น ผลจากตารางที่ 2 สามารถกำหนดเวลามาตรฐานได้ดังนี้

เวลามาตรฐาน

= เวลาปกติ $\times (1 + \% \text{เวลาเผื่อ})$

= $12.82 \times (1 + 0.09)$

= 13.97 วินาทีต่อหน่วย

เมื่อกำหนดเวลามาตรฐานครบทุกสถานีงานแล้วสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละสถานีงาน (ก่อนการปรับปรุง)

รายการ	สถานีงาน				
	1	2	3	4	5
พนักงาน	A	D	C	B	D
จำนวนงานย่อย (งานย่อย)	28	17	17	23	25
เวลา (TMU)	356	185	280	378	405
เวลาปกติ (วินาที/หน่วย)	12.82	6.66	10.08	13.61	14.58
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	13.97	7.39	11.19	14.83	16.18

จากตารางที่ 3 พบว่าก่อนการปรับปรุง สถานีงานที่ 2 มีเวลามาตรฐานต่ำที่สุด (7.39 วินาทีต่อหน่วย) และสถานีงานที่ 5 มีเวลามาตรฐานสูงที่สุด (16.18 วินาทีต่อหน่วย) นั่นคือ เวลามาตรฐานในแต่ละสถานีงานแตกต่างกันมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 7.39-16.18 วินาทีต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน (ก่อนการปรับปรุง)

รายการ	พนักงาน			
	A	D	C	B
สถานีงาน	1	2	3	4
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	13.97	7.39	11.19	14.83
ผลิตภาพแรงงาน (หน่วย/ชั่วโมง)	258	487	322	243
ผลผลิตต่ำสุด (หน่วย/วัน)	ประมาณ		1,940	(194 ชุด)
เวลาทำงาน (ชั่วโมง/วัน)	7.53	3.98	6.03	7.99
เวลาว่าง (ชั่วโมง/วัน)	0.47	4.02	1.97	0.01

หมายเหตุ : ไม่รวมเวลาทำงานในสถานีงานที่ 5 ของพนักงาน D เนื่องจากหน่วยนับต่างกัน

จากตารางที่ 4 พบว่าก่อนการปรับปรุง พนักงาน D ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุด (3.98 ชั่วโมงต่อวัน) และพนักงาน B ใช้เวลาทำงานมากที่สุด (7.99 ชั่วโมงต่อวัน) นั่นคือ เวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนแตกต่างกันมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 3.98-7.99 ชั่วโมงต่อวัน

5. ปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดความสูญเสีย ตัวอย่างดังตารางที่ 5

การลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS (พัชรี ภัทรธาดาเกียรติ และ ดาริชา สุธีวงศ์, 2555, น. 62-74) ประกอบด้วย

(1) การกำจัด (eliminate: E) หมายถึง การตัดกิจกรรมที่มีวิธีการทำงานที่ไม่จำเป็นออกไป เช่น งานประเภทเวลาไร้ประสิทธิภาพหรือเวลาส่วนเกิน

(2) การรวมกัน (combine: C) หมายถึง กิจกรรมที่ไม่สามารถตัดออกไปได้ การนำมารวมกันอาจช่วยปรับปรุงวิธีการทำงานให้ดีขึ้น

(3) การจัดใหม่ (rearrange: R) หมายถึง การจัดลำดับการปฏิบัติงานใหม่ หรือการสลับลำดับกิจกรรมในการปฏิบัติงาน อาจช่วยให้วิธีการทำงานคล่องตัวขึ้น

(4) การทำให้ง่ายขึ้น (simplify: S) หมายถึง การปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานใหม่ให้มีความซับซ้อนและยุ่งยากน้อยลง เพื่อความสะดวกรวดเร็วและมีประสิทธิภาพดีขึ้น

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์ปัญหาที่พบและแนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1

ปัญหาที่พบ	แนวทางการปรับปรุง
มือขวาวัดมือซ้ายที่เอื่อมไปจับก้านอบเชย และหยิบท่อพีวีซี 5 งานย่อย (5D)	- ทำร่างเป็นภาพขณะใส่ก้านอบเชยแล้ววางแนวเอียง (S) - ตัดการรอกของมือขวาวอก (E) - ลดระยะทางที่มือซ้ายเอื่อมไปจับก้านอบเชยเป็น 15 ซม. (E)
มือซ้ายจับก้านอบเชย และท่อพีวีซี 4 งานย่อย (4▽)	- ทำเครื่องหมายเป็นสเกลวัดขนาด 4 นิ้วไว้ที่ร่าง (S) - ลดการจับก้านอบเชยและท่อพีวีซีของมือซ้าย (C) - ตัดการเคลื่อน หยิบ และปล่อยท่อพีวีซีของมือซ้ายออก (E)
มือขวาวัดมือซ้าย 6 งานย่อย (6▽)	- ลดการจับและปล่อยก้านอบเชยหลายครั้ง (C) - ลดการจับการรอกของมือขวา (C)
มือซ้ายจับก้านอบเชย รอกมือขวา 9 งานย่อย (9▽)	- ตัดการนำกรรไกรไปแตะที่ปลายก้านอบเชยออก (E) - ลดการจับก้านอบเชยรอกของมือซ้าย (C)

จากตารางที่ 5 พบว่าขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1 มีปัญหาหลัก 4 ปัญหา และได้เสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการ ECRS ซึ่งประกอบด้วย (E) การกำจัด 4 แนวทาง (C) การรวมกัน 4 แนวทาง และ (S) การทำให้ง่ายขึ้น 2 แนวทาง รวมเป็น 10 แนวทาง

ผลการวิจัย

1. กำหนดขั้นตอนการทำงานในแต่ละสถานีงานใหม่ (หลังการปรับปรุง) โดยเพิ่มสถานีงานจาก 5 เป็น 6 สถานีงาน ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ขั้นตอนการทำงานในแต่ละสถานีงาน (หลังการปรับปรุง)

สถานีงาน	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	①	การตัดก้านอบเชย
2	②	การตัดก้านอบเชยใส่ถุงพลาสติกขนาดเล็ก
3	③	การเย็บถุงมวงอบเชย
4	④+⑦	การบรรจุแผ่นตราสินค้า ไปยักัก ถุงมวงอบเชย และก้านอบเชย ลงในถุงพลาสติกขนาดใหญ่
5	⑧	การเย็บถุงเครื่องพะไล
6	⑨	การมัดรวมชุดละ 10 ถุง

จากตารางที่ 6 พบว่าทุกสถานีงานมีขั้นตอนการทำงานหลักอยู่ 1 ขั้นตอน ยกเว้นสถานีงานที่ 4 มีขั้นตอนการทำงานหลักอยู่ 4 ขั้นตอน

2. บันทึกข้อมูลหลังการปรับปรุง โดยใช้แผนภูมิการทำงานของมือซ้ายและมือขวา และใช้ระบบ MTM ในการวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลเวลา ตัวอย่างดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การแบ่งงานย่อยและบันทึกเวลาของขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1 (หลังการปรับปรุง)

มือซ้าย	รหัส	เวลา	รหัส	มือขวา
เอื่อมไปจับก้านอบเชยเพื่อยาว	GB15	15	PB15	นำกรรไกรไปตัดก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	21	PCS	นำกรรไกรไปตัดก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงตัดก้านอบเชย
นำก้านหน้าพร้อมเปลี่ยนท่าจับ	R	6	PA15	นำกรรไกรมาด้านหน้า
จับก้านอบเชย	-	21	PCS	นำกรรไกรไปตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
ดึงก้านอบเชยออกจากกรรไกร	PA5	3	-	จับกรรไกร
พลิกปลายก้านอบเชยอีกด้านลง	R	6	-	จับกรรไกร
จับก้านอบเชย	-	21	PCS	นำกรรไกรไปตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	14	A	ออกแรงตัดปลายก้านอบเชย
จับก้านอบเชย	-	10	PB5	เอื่อมไปจับก้านอบเชยที่มือซ้าย
จับก้านอบเชย	-	7	GB5	จับก้านอบเชย
ออกแรงหักก้านอบเชยให้แยกออก	A	14	A	ออกแรงหักก้านอบเชยให้แยกออก
ปล่อยก้านอบเชยที่หักแล้ว	PA5	3	PA5	ปล่อยก้านอบเชยที่หักแล้ว
รวม		169		TMU

จากตารางที่ 7 พบว่าขั้นตอนการตัดก้านอบเชยในสถานีงานที่ 1 หลังการปรับปรุง มือซ้ายจับชิ้นงานรอลดลงจาก 13 เหลือ 8 งานย่อย (ลดลง 5 งานย่อย) ส่วนมือขวาวัดชิ้นงานรอลดลงจาก 6 เหลือ 2 งานย่อย (ลดลง 4 งานย่อย) และการวางของมือขวาไม่มีปรากฏแล้ว (ก่อนการปรับปรุงมือขวาวัด 5 งานย่อย) นั่นคือ จำนวนงานย่อยลดลงจาก 28 เหลือ 14 งานย่อย (ลดลง 14 งานย่อย) เวลาลดลงจาก 356 เหลือ 169 TMU (ลดลง 187 TMU) หรือเวลาลดลงจาก 12.82 เหลือ 6.08 วินาที (ลดลง 6.74 วินาที)

3. กำหนดเวลามาตรฐานของแต่ละสถานีงาน (หลังการปรับปรุง) โดยไม่ต้องปรับค่าการประเมินอัตราการทำงาน ตัวอย่างเช่น ผลจากตารางที่ 7 สามารถกำหนดเวลามาตรฐานได้ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{เวลามาตรฐาน} \\ &= \text{เวลาปกติ} \times (1 + \% \text{เวลาเผื่อ}) \\ &= 6.08 \times (1 + 0.09) \\ &= 6.63 \text{ วินาทีต่อหน่วย} \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดเวลามาตรฐานครบทุกสถานีงานแล้ว สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปผลการกำหนดเวลามาตรฐานในแต่ละสถานีงาน (หลังการปรับปรุง)

รายการ	สถานีงาน					
	1	2	3	4	5	6
พนักงาน	A	B	B	C	C	D
จำนวนงานย่อย (งานย่อย)	14	12	5	20	9	10
เวลา (TMU)	169	88	44	206	89	76
เวลาปกติ (วินาที/หน่วย)	6.08	3.17	1.58	7.42	3.20	2.74
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	6.63	3.45	1.73	8.23	3.56	3.04

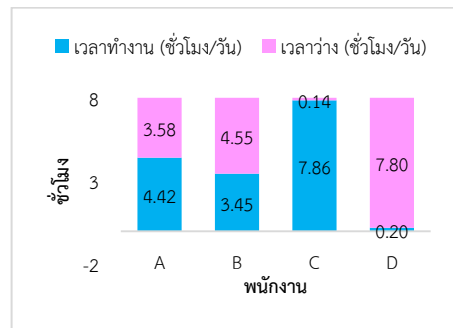
จากตารางที่ 8 พบว่าหลังการปรับปรุง สถานีงานที่ 3 มีเวลามาตรฐานต่ำที่สุด (1.73 วินาทีต่อหน่วย) และสถานีงานที่ 4 มีเวลามาตรฐานสูงที่สุด (8.23 วินาทีต่อหน่วย) นั่นคือ เวลามาตรฐานในแต่ละสถานีงานแตกต่างกันมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 1.73-8.23 วินาทีต่อหน่วย เมื่อเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน (หลังการปรับปรุง)

รายการ	พนักงาน			
	A	B	C	D
สถานีงาน	1	2-3	4-5	6
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	6.63	5.18	11.79	3.04
ผลิตภาพแรงงาน (หน่วย/ชั่วโมง)	543	695	305	1,185
ผลผลิตต่ำสุด (หน่วย/วัน)	ประมาณ		2,400	(240 ชุด)
เวลาทำงาน (ชั่วโมง/วัน)	4.42	3.45	7.86	0.20
เวลาว่าง (ชั่วโมง/วัน)	3.58	4.55	0.14	7.80

จากตารางที่ 9 พบว่าหลังการปรับปรุง พนักงาน D ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุด (0.20 ชั่วโมงต่อวัน) และพนักงาน C ใช้เวลาทำงานมากที่สุด (7.86 ชั่วโมงต่อวัน) นั่นคือ เวลาทำงานของพนักงานแต่ละคนแตกต่างกันมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 0.20-7.86

ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้พนักงานบางคนมีเวลาว่างต่อวันสูงมาก แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนเวลาทำงานกับเวลาว่างต่อวันของพนักงานแต่ละคน (หลังการปรับปรุง)

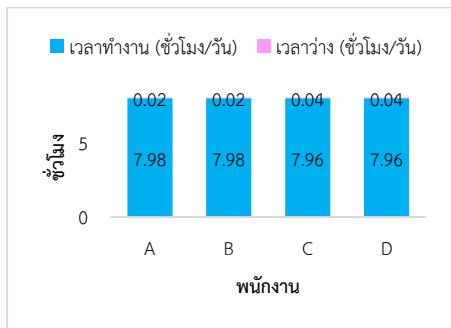
จากรูปที่ 2 พบว่าหลังการปรับปรุง สัดส่วนเวลาทำงานกับเวลาว่างต่อวันของพนักงานแต่ละคนมีค่าแตกต่างกันมาก ทำให้สายการผลิตไม่สมดุล

4. จัดสมดุลสายการผลิต (line balancing) หลังการปรับปรุงพบว่าสายการผลิตไม่สมดุล จึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่และเป้าหมายของการจัดสมดุลสายการผลิต คือ ต้องการผลผลิตที่มากที่สุดโดยใช้พนักงานเท่าเดิม (fixed operators for maximum production) เนื่องจากไม่มีนโยบายเพิ่มหรือลดพนักงานและยังคงจำนวนพนักงานไว้ 4 คนเท่าเดิม เมื่อเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเปรียบเทียบเวลาทำงานต่อวันของพนักงานแต่ละคน (จัดสมดุลสายการผลิตใหม่)

รายการ	พนักงาน			
	A	B	C	D
สถานีงาน	1-3	1-3	4-5	4-5
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	11.81	11.81	11.79	11.79
ผลิตภาพแรงงาน (หน่วย/ชั่วโมง)	305	305	305	305
ผลผลิตต่ำสุด (หน่วย/วัน)	ประมาณ		4,800	(480 ชุด)
เวลาทำงานของสถานีงานที่ 1-5	7.88	7.88	7.86	7.86
เวลาทำงานของสถานีงานที่ 6	0.10	0.10	0.10	0.10
เวลาทำงาน (ชั่วโมง/วัน)	7.98	7.98	7.96	7.96
เวลาว่าง (ชั่วโมง/วัน)	0.02	0.02	0.04	0.04

จากตารางที่ 10 พบว่าเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่แล้ว เวลาทำงานของพนักงานทุกคนใกล้เคียงกันมาก มีค่าอยู่ระหว่าง 7.96-7.98 ชั่วโมงต่อวัน ส่งผลให้พนักงานทุกคนมีเวลาวางต่อวันน้อยมากขึ้นกัน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สัดส่วนเวลาทำงานกับเวลาว่างต่อวันของพนักงานแต่ละคน (จัดสมดุลสายการผลิตใหม่)

จากรูปที่ 3 พบว่าเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่แล้ว สัดส่วนเวลาทำงานกับเวลาว่างต่อวันของพนักงานทุกคนใกล้เคียงกันมาก มีค่าต่างกันเพียงแค่ 0.02 ชั่วโมงเท่านั้น ส่งผลให้พนักงานทุกคนใช้เวลาทำงานต่อวันอย่างเต็มประสิทธิภาพ นั่นคือผลิตภาพแรงงานเท่ากันทุกคน ทำให้สายการผลิตมีความสมดุล ไม่เกิดจุดคอขวด (bottlenecks) ขึ้น

5. เปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่แล้ว ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่แล้ว

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	เปลี่ยนแปลง	คิดเป็นร้อยละ
พนักงาน (คน)	4	4	เท่าเดิม	0
อุปกรณ์ (ชุด)	1	2	เพิ่มขึ้น	100
จำนวนงานย่อย (งานย่อย)	110	70	ลดลง	36
เวลามาตรฐาน (วินาที/หน่วย)	63.57	26.64	ลดลง	58
ผลิตภาพแรงงาน (หน่วย/ชั่วโมง)	243	600	เพิ่มขึ้น	147
ผลผลิต (หน่วย/วัน)	1,940	4,800	เพิ่มขึ้น	147
ต้นทุนค่าแรงงาน (บาท/หน่วย)	0.67	0.27	ลดลง	60

หมายเหตุ : ทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน และค่าแรงขั้นต่ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล 325 บาทต่อวัน (ข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน 2562)

จากตารางที่ 11 พบว่าหลังการปรับปรุงจำนวนงานย่อยลดลงจาก 110 เหลือ 70 งานย่อย (ลดลงร้อยละ 36) เวลามาตรฐานลดลงจาก 63.57 เหลือ 26.64 วินาทีต่อหน่วย (ลดลงร้อยละ 58) และเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่โดยคงจำนวนพนักงานไว้ 4 คนเท่าเดิม และจัดอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเป็น 2 ชุด ทำให้ผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นจาก 243 เป็น 600 หน่วยต่อชั่วโมง (เพิ่มขึ้นร้อยละ 147) ส่งผลให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 1,940 เป็น 4,800 หน่วยต่อวัน (เพิ่มขึ้นร้อยละ 147) และต้นทุนค่าแรงงานลดลงจาก 0.67 เหลือ 0.27 บาทต่อหน่วย (ลดลงร้อยละ 60)

สรุปและอภิปรายผล

การปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องพะโล้โดยการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการได้ทำการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาโดยการวิเคราะห์การทำงานของสองมืออย่างละเอียดและปรับปรุงวิธีการทำงานโดยใช้หลักการ ECRS เพื่อลดความสูญเสีย ผลที่ได้หลังจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนงานย่อยลดลงร้อยละ 36 เวลามาตรฐานลดลงร้อยละ 58 และผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 24 (เพิ่มขึ้นจาก 1,940 เป็น 2,400 หน่วยต่อวัน) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ นริสสา พัฒนปรีชาวงศ์ และ ชาญณรงค์ ตระกูลสรณคมน์ (2559, น. 116-124) ได้ทำการศึกษาเรื่องการศึกษากระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษาบริษัท บ่อแสนวิลล่าจำกัด โดยการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการ การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาการลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS และสามารถลดขั้นตอนการปฏิบัติงานได้ร้อยละ 66.67

เมื่อพิจารณาผลิตภาพแรงงานของพนักงานแต่ละคนมีค่าแตกต่างกันมาก ทำให้สายการผลิต

ไม่สมดุล จึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่โดยคงจำนวนพนักงานไว้เท่าเดิม ผลที่ได้คือผลิตภาพแรงงานเท่ากันทุกคน ทำให้สายการผลิตมีความสมดุล ไม่เกิดจุดคอขวดขึ้น และผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่อเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเมื่อทำการจัดสมดุลสายการผลิตใหม่แล้วพบว่าผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 147 ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงงานต่อหน่วยลดลงร้อยละ 60 ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ นวลพร แสงฤดี และ จิตรา รุ้กกิจการพานิช (2554, น. 584-594) ได้ศึกษาเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตปั้มน้ำมันเชื้อเพลิงของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการประยุกต์ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสามารถเพิ่มผลิตภาพแรงงานได้ 4 สายการผลิต

ข้อเสนอแนะ

การแบ่งงานย่อยเป็นขั้นตอนที่สำคัญของการศึกษาเวลา จะต้องแยกประเภทของงานย่อยเพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงการวิเคราะห์และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน ถ้าการแบ่งงานย่อยขาดหายไปจะทำให้การหาเวลามาตรฐานไม่ครอบคลุม อาจจะทำให้ข้อมูลที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อน ฉะนั้นควรแบ่งงานย่อยทุกงานให้มีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดที่แน่นอน เพื่อสะดวกในการบันทึกเวลาการทำงานของแต่ละงานย่อย เพราะจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ส่วนของงานที่ไม่จำเป็นซึ่งเป็นงานประเภทเวลาไร้ประสิทธิภาพหรือเวลาส่วนเกินออกไปได้

References

Adul Rattanamankasem. (2013, May). Stewed. *Kitchen*. 19(227), p. 83-89.
Kanawaty, G. (1992). *Introduction to work study* (4th ed.). Geneva: International Labour Office.

Mundel, M. E. (2013). *Motion and time study-principles and practice*. New Jersey: Prentice-Hall.
Narissa Patthanapreechawong & Channarong Trakunsaranakom. (2016). The study of production process for an increase in productivity: A case study of Bor Saen Villa Co. Ltd. *Princess of Naradhiwas University Journal*. 8(2), p. 116-124.
Nuanpom Sangrudee & Jittra Rukijknanpanich. (2011). Process improvement of fuel pump production in automobile component manufacturer. *The Journal of KMUTNB*. 21(3), p. 584-594.
Patcharee Pattharathadakit & Daricha Sutivong. (2012). Improvement of standard procedure in beverage concentrate manufacturing process. *Research and Development Journal*. 23(1), p. 62-74.
Suthas Sukonrattanametee. (2013). *Continuing the legend of the Chaozhou cuisine*. Bangkok: Pantry.
Vanchai Rijiravanich. (2012). *Work study: Principles and case studies* (8th ed.). Bangkok: Chulalongkorn University Press.
Watcharin Sitticharoen. (2004). *Work study*. Bangkok: Odeon Store.

การพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อมอะลิซารินเรดสำหรับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ สุรัชย์ ชันแก้ว^{1*}, ดลพร ไกรตรวจพล¹, อาภาศิริ เห่งโจ๊ก¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ดิจิทัลและบรรจุภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Email : surachai@rmutt.ac.th^{1*}

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 3, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อมอะลิซารินเรดในรูปของฟิล์มตัวชี้วัดการเน่าเสีย (ARF-1) และฟิล์มตัวชี้วัดการรั่วซึมของบรรจุภัณฑ์ (ARF-2) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีในสถานะที่เกี่ยวข้อง ซึ่งพบว่า ARF-1 มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสีเริ่มต้นต่ำ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสีเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อม AR ในขณะนั้น ARF-2 สามารถเปลี่ยนแปลงสีได้ทันทีเมื่อได้รับรังสียูวีที่ 2.5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร โดยเปลี่ยนจากสีแดงส้มไปเป็นสีส้มเหลือง (สภาวะปลอดออกซิเจน) ซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณสีย้อมและสารให้อิเล็กตรอน ทั้งนี้ ARF-2 ถูกทดสอบโดยกระตุ้นให้อยู่ในรูปรีดิวส์ก่อนด้วยรังสียูวีและทดสอบโดยเปิดให้รับแก๊สออกซิเจน (20.9%) ซึ่งพบว่า ARF-2 ที่ความเข้มข้นสีย้อม/สารกึ่งตัวนำ/สารให้อิเล็กตรอน/สารสร้างฟิล์ม เท่ากับ 5/15/100/100 ส่วนต่อสารยึดหนึ่งร้อยละสามารถผันสีกลับภายใน 30 วินาที จากผล

คำสำคัญ : ฟิล์มตัวชี้วัด, สีย้อมรีดอกซ์, อะลิซารินเรด, บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ

Development of Alizarin Red-based Indicator Films for Intelligent Packaging

Surachai Khankaew^{1*}, Dolaporn Kritruatphol¹, Arphasiri Ngaojok¹

¹Department of Digital Printing and Packaging Technology, Faculty of Mass Communication
Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)
Email : surachai@rmutt.ac.th^{1*}

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 3, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

Abstract

This research aimed to develop the Alizarin Red dye (AR) based indicator films for intelligent packaging. The indicator films were studied by applying to food spoilage indicator film (FSI or ARF-1) and oxygen indicator film (OI or ARF-2). The results revealed that the initial transition rate of ARF-1 color augmented when increasing the concentration of AR dye. Whilst the ARF-2 was consisted of AR/TiO₂/glycerol/MC in pphr, the color continuously changed when they were exposed to the UV light of 2.5 mW/cm² (under an oxygen-free condition) by changing from red-orange to yellow that depended on the AR concentration and an electron donor. The results of ARF-2 with 20.9% of the O₂ in ambient air portrayed that the activated ARF-2 at the concentration of 1/15/100/100 pphr immediately changed the color to the original color within 30 seconds.

Keywords : Indicator Film, Redox Dye, Alizarin Red, Intelligent Packaging

บทนำ

บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ (Intelligent Packaging) หมายถึง รูปแบบของการบรรจุและวัสดุบรรจุภัณฑ์ ซึ่งทำหน้าที่เพื่อตอบสนองและเอื้อประโยชน์ต่อการบริโภคโดยอาศัยการเปิดเผยข้อมูล การแสดง การเปลี่ยนแปลง และสื่อสารข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ นั้นออกมา (Suppakul, 2012; Restuccia et al., 2010) เช่น ตัวชี้วัดเวลาและอุณหภูมิ (Time-temperature Indicators, TTI) ตัวชี้วัดการสุกของผักผลไม้ (Ripeness Indicator) ตัวชี้วัดแก๊ส หรือการรั่วซึมของแก๊ส (Gas or Leakage Indicator) และตัวชี้วัดความพร้อมเสิร์ฟ (Ready-to-serve Indicator, RSI) เป็นต้น (Stauffer, 2005; Yam et al., 2005)

ในปัจจุบันบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะถือเป็นนวัตกรรมทางการบรรจุที่ผู้ผลิตให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เพื่อใช้เป็นเครื่องมือหนึ่งในการสร้างความน่าเชื่อถือ และความมั่นใจให้กับผู้บริโภคซึ่งต้องการผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความสด ใหม่ และปลอดภัย นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์อัจฉริยะยังมีส่วนช่วยลดปัญหาในกระบวนการกระจายสินค้า และการขนส่งที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี (Restuccia et al. 2010)

จากข้างต้นจะเห็นว่า เทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะนั้นมีประโยชน์ในการให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างในบรรจุภัณฑ์อาหารที่เสื่อมสภาพด้วยแก๊สออกซิเจน เช่น การเหม็นหืนของถั่ว หรือการเน่าเสียของไส้กรอกที่ปกติแล้วจะบรรจุในวัสดุบรรจุภัณฑ์ชนิดที่มีความสามารถในการสกัดกั้นแก๊สออกซิเจนได้ดี แต่หากบรรจุภัณฑ์นั้นไม่สมบูรณ์จากการชำรุดในกระบวนการบรรจุและปิดผนึก หรือรั่วรัวแม้เพียงระดับไมโครเมตร จุลินทรีย์ก็สามารถเจริญเติบโตในอาหารได้ (Mills, 2005) และบางครั้งผู้บริโภคไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของอาหารได้ ในกรณีดังกล่าว ความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์

และผลิตภัณฑ์สามารถประเมินได้ด้วยตัวชี้วัดแก๊สออกซิเจน

ในงานวิจัยเรื่องนี้ได้สนใจศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานสีย้อมสังเคราะห์อลิซารินเรด (Alizarin Red) ซึ่งมีสมบัติเป็นทั้งสีย้อม pH หรือสีย้อมที่สามารถเปลี่ยนแปลงรูปได้เมื่อได้รับไฮโดรเนียมไอออน (Hydronium Ion, H_3O^+) จากสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน ในขณะเดียวกันสีย้อมอะลิซารินเรดยังมีคุณสมบัติเป็นสีย้อมรีดอกซ์ (Redox) ที่สามารถลดรูปและคืนรูปได้ด้วยปฏิกิริยารีดักชัน/ออกซิเดชัน (Oxidation / Reduction Reaction) โดยการส่งถ่ายอิเล็กตรอนผ่านสารอื่น ๆ งานวิจัยเรื่องนี้ จึงสนใจพัฒนาการใช้งานสีย้อมอะลิซารินเรดในรูปแบบของฟิล์มตัวชี้วัดการเน่าเสียและตัวชี้วัดการรั่วซึมสำหรับบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ และเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ด้านเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อมอะลิซารินเรด
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของสีย้อมอะลิซารินเรดในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานฟิล์มตัวชี้วัดสำหรับการบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะ

ระเบียบวิธีวิจัย

1.1 วัสดุและสารเคมี

สีย้อมอะลิซารินเรด (Alizarin Red, AR, $C_{14}H_7NaO_7S$, CAS No.: 130-22-3) ใช้เป็นสีย้อม กลีเซอรอล (Glycerol, G, $C_3H_8O_3$, CAS No.: 56-81-5) ใช้เป็นสารให้อิเล็กตรอน และไทเทเนียมไดออกไซด์ (Titanium (IV) Oxide, TiO_2 (anatase), CAS No.: 13463-67-7) ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทั้งหมดจัดซื้อจาก Sigma-Aldrich Inc. ประเทศสิงคโปร์ ในขณะที่เมทิลเซลลูโลส

(Methyl Cellulose, MC, Metho-cel®, Dow Chemical, ประเทศสหรัฐอเมริกา) ถูกใช้เป็นวัสดุฐานสำหรับสร้างฟิล์ม (Film Former) และน้ำกลั่น (Distilled Water, DW) ใช้เป็นตัวทำละลาย

1.2 การเตรียมสารละลายสีย้อม AR

เตรียมสีย้อม AR ที่ความเข้มข้นอิ่มตัวในน้ำ หรือ 20 mg ต่อน้ำไร่ประจุ 1 ml (Green, 1991) โดยใช้ขวดปรับปริมาตร จากนั้นกวนผสมด้วยเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กไฟฟ้า (IKA, C-MAG HS7, Germany) ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง

1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AR

สารละลาย AR อิ่มตัว ถูกนำมาเจือจางกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:10 ส่วน ในหลอดทดลอง จากนั้นทำการหยดสารละลายต่าง 0.1 M NaOH และสารละลายกรด 0.1 M HCl โดยเพิ่มปริมาตรแบบต่อเนื่อง ครั้งละ 20 μ l จนกว่าจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงของสี (จำนวน 3 ขั้ว) ประเมินโดยการวัดค่าสี ค่าการดูดกลืนแสง และค่า pH ของสารละลายตัวอย่างที่ได้

1.4 การเตรียมฟิล์มตัวชี้วัดฐานสีย้อม AR (AR-based Indicator Film หรือ ARF)

1.4.1 ฟิล์มชนิดที่ 1 (ARF-1) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานแบบตัวชี้วัดการเน่าเสียของอาหาร (Food Spoilage Indicator, FSI) ซึ่งเตรียมโดยผสมสารละลายสีย้อม AR อิ่มตัว ต่อสารละลาย 10 % wt. MC โดยกำหนดค่าความเข้มข้นของสีย้อม AR ที่แตกต่างกัน 5 ระดับ คือ 0.4, 1.0, 2.0, 4.0 และ 6.0 wt.% ของ ปริมาตร MC ทำการผสมให้เข้ากันโดยการกวนด้วยเครื่องกวนสารระบบแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที หรือจนกว่าสารเนื้อผสมจะเข้ากันโดยสมบูรณ์ จากนั้นทำการเทสารละลายปริมาตร 10 g ลงในจานเพาะเชื้อ (Petri Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm และปล่อยให้แห้งในสภาวะห้องทดลอง

ที่มีด (60 %RH, 25 °C) เป็นเวลา 10-18 ชั่วโมง เมื่อแห้งให้ลอกฟิล์ม ARF-1 ขั้ว ๆ ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 10 × 10 mm เก็บในถุงพลาสติกที่กันแสง ความชื้น ความร้อน และอากาศจนกว่าจะใช้ทำการทดลอง

1.4.2 ฟิล์มชนิดที่ 2 (ARF-2) เตรียมเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในลักษณะของฟิล์มตัวชี้วัดแก๊สออกซิเจนที่กระตุ้นได้ด้วยแสง (UV-activated Oxygen Indicator) หรือตัวชี้วัดการรั่วซึม (Leak Indicator) สำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร โดยผสมสารกึ่งตัวนำ (TiO₂) สารให้อิเล็กตรอน (G) และสีย้อม (AR) ตามลำดับ และใช้น้ำไร่ประจุเป็นตัวทำละลาย โดยอัตราส่วนของผสมดังกล่าว แสดงในหน่วยส่วนต่อหนึ่งร้อยส่วนของสารยึด (Part Per Hundred Resin, pphr) ดังตารางที่ 1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของตัวชี้วัด ARF-2 ในหน่วย pphr

AR	TiO ₂	G	MC
0.5, 1.0	5, 15, 25	100	100

เตรียมโดยการผสมส่วนประกอบทั้งหมดตามอัตราส่วนแล้วเติมน้ำไร่ประจุปริมาตร 8 g ของผสมดังกล่าวถูกกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที และลดขนาดของสารกึ่งตัวนำต่อด้วยการแช่ในอ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic Bath, GT SONIC-500W, China) เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นนำมาเติมด้วยสารละลาย 10 wt.% MC ปริมาตร 8 g และกวนผสมต่ออีก 20 นาที ก่อนจะนำสารละลายของผสมมาเทลงในจานเพาะเชื้อปริมาตร 8 g และปล่อยให้แห้ง ลอกฟิล์ม และเก็บรักษาในสภาวะเดียวกับฟิล์มในข้อ 1.4.1 (ARF-1) จนกว่าจะใช้ทำการทดลอง

1.5 การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้งานฟิล์มตัวชี้วัด

1.5.1 พิล์ม ARF-1 แต่ละสูตรถูกนำมาทดสอบอย่างง่ายในลักษณะของตัวชี้วัดการนำเสียสำหรับอาหารกลุ่มที่ปลดปล่อยแก๊สที่ให้อุณหภูมิเชิงกรด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารเมแทบอลิต์ (Metabolite) ในกระบวนการเสื่อมสภาพของอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต และแก๊สที่ให้อุณหภูมิเชิงด่าง เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออาหารกลุ่มเนื้อสัตว์น้ำเริ่มเน่าเสีย Rukchon et al. (2014) โดยในการทดลองนี้ จะใช้สารละลาย 0.1 M HCl และ 0.1 M NH_3 ปริมาณ 10 g บรรจุในภาชนะปิดสนิท จากนั้นปิดฟิล์ม ARF-1 ขนาด 1.0×2.5 cm บนกระจกสไลด์ขนาด 2.54×7.62 cm และจุ่มลงในสารละลายกรดและด่าง โดยให้ฟิล์ม ARF-1 อยู่เหนือสารละลาย ทำการบันทึกผลค่าสี L^* , a^* , และ b^* ทั้งก่อนและหลังจากวางตัวอย่างเป็นระยะ อย่างต่อเนื่อง คำนวณค่าความแตกต่างสี และพิจารณาจนกว่าฟิล์มจะไม่มีเปลี่ยนแปลงค่าสี

1.5.2 พิล์ม ARF-2 เพื่อศึกษาตัวชี้วัดเกี่ยวกับรังสียูวี เตรียมโดยการเคลือบฟิล์มตัวชี้วัดด้วยเทปกาวชนิดใส (3M Scotch® Tear tape, รุ่น 8626) ลงบนกระจกสไลด์ เพื่อเตรียมสภาวะปลอดแก๊สออกซิเจนและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ระหว่างการทดลอง จากนั้น นำตัวอย่างไปทดสอบโดยการฉายรังสียูวี (Black-ray®, 352 nm, XX-15BLB, Sylvania Lynx light source) ที่ความเข้มแสง 2.5 mW/cm^2 และวัดค่าสี L^* , a^* , และ b^* ของฟิล์ม ก่อน-หลังการฉายรังสียูวีอย่างต่อเนื่องจนกว่าค่าความแตกต่างสีจะไม่มีเปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนรูปของสีย้อม AR เป็นรูป Oxidized อย่างสมบูรณ์แล้ว

1.6 การตรวจสอบลักษณะเฉพาะของฟิล์มตัวชี้วัด

1.6.1 ความหนาของฟิล์ม (Film Thickness) ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่าความหนาระบบดิจิทัล

(Digital Thickness Gate Micrometer, US-22 B, Teclock, IDM Instruments, Japan) โดยวัดบนฟิล์มหลังจากลอกออกจากงานเพาะเชื้อ จำนวน 8 ตำแหน่ง โดยประยุกต์ตามมาตรฐาน ASTM D8136-17 และอภิปรายผลค่าเฉลี่ย

1.6.2 การศึกษาสภาพผิวของฟิล์มตัวชี้วัด ฟิล์มตัวชี้วัดถูกตรวจสอบสภาพผิวด้วยเครื่องกราฟภาพอิเล็กตรอนกำลังขยายสูง (Field Emission Scanning Electron Micro-scope, FESEM, JEOL, JSM 7800F, Japan) เพื่อเปรียบเทียบสภาพผิวของฟิล์มแต่ละชนิด

1.6.3 การวัดค่าสี (Color) L^* , a^* , และ b^* ตรวจสอบด้วยเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer, SpectroDens, Techkon®, Königstein, Germany) โดยค่าสี L^* หมายถึงค่าความสว่างสี (Lightness) ค่า a^* หมายถึงความเป็นสีแดงและสีเขียว และค่า b^* หมายถึงความเป็นสีเหลืองและสีน้ำเงิน และการคำนวณค่าความแตกต่างสีของฟิล์ม (ΔE , หรือ Total Color Difference, TCD) สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ (Francis, 1983)

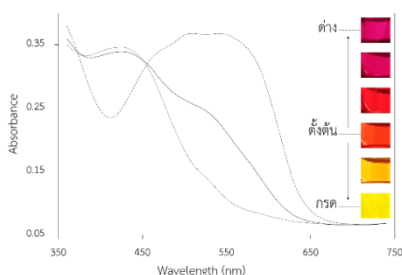
$$TCD = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

1.6.4 การวัดค่าการดูดกลืนแสง (Light Absorbance, Abs) เพื่อพิจารณาความโปร่งแสงของสารละลายสีย้อม AR และการเปลี่ยนแปลงสีในสภาวะกรด-ด่าง ซึ่งตรวจสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Visible-spectrophotometer, CM7300A, Konica Minolta, Japan) โดยกำหนดช่วงความยาวคลื่นแสงที่ 340 – 760 nm และตรวจสอบหาการดูดกลืนแสงสูงสุด (Maximum Absorbance, Abs_{max})

ผลการวิจัย

2.1 การเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย AR

จากการนำสารละลายสี AR ซึ่งมีสีตั้งต้นเป็นสีส้มแดงและค่า pH เป็น 4.9 ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุด (Abs_{max}) ที่ 420 nm และเมื่อสารละลายสีย้อม AR ได้รับการปรับสภาวะให้มีฤทธิ์ทางกรดพบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีไปเป็นสีเหลืองสด รวมทั้งมีค่า pH ลดลงไปถึง 4.1



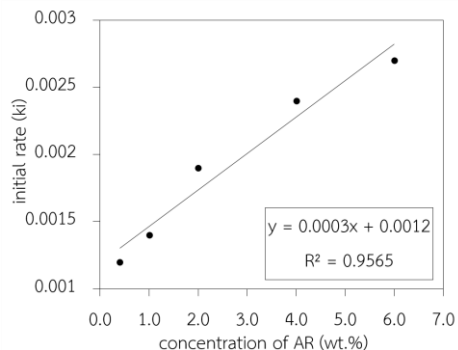
รูปที่ 1 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายสีย้อม AR อิมัตว์ที่เจือจางในอัตราส่วน 1:10 ส่วนต่อน้ำ ไร่ประจุก่อนและหลังจากปรับสภาวะด้วยสารละลายกรดและต่าง

ทั้งนี้ เนื่องจากสารละลายให้สีเดิมนั้นมีความเป็นกรดอยู่ จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับน้อย ในขณะที่เมื่อปรับสภาวะให้มีความเป็นด่างกลับพบว่า สเปกตรัมของ AR ที่ 420 nm ค่อยๆ ลดลงและเกิดการเพิ่มขึ้นของสเปกตรัมในช่วงค่าความยาวคลื่นแสงระหว่าง 450 – 650 nm อย่างต่อเนื่อง โดยแสดงค่า Abs_{max} ที่ 540 nm ซึ่งปรากฏสีของสารละลายเป็นสีชมพูม่วงและมีค่า pH เป็น 6.3 ผลแสดงดังภาพที่ 1

2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม ARF-1 (ตัวชี้วัดการเน่าเสีย)

จากผลการทดลอง โดยปิดฟิล์มฟิล์มตัวชี้วัด ARF-1 ภายในบรรจุภัณฑ์ร่วมกับตัวอย่างอาหารฐานคาร์โบไฮเดรต ซึ่งให้แก๊สที่ให้อุณหภูมิกลุ่มกรด (CO_2) เมื่อเกิดการเน่าเสีย ผลพบว่าฟิล์ม ARF-1

เกิดการเปลี่ยนแปลงสีค่อนข้างน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ ขณะที่ผลค่าความแตกต่างสีรวมแสดงให้เห็นถึงการค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ การทดลองนี้จึงวิเคราะห์ผลจากอัตราปฏิกิริยาเริ่มต้น ผลแสดงได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยสามารถอธิบายได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงสีเริ่มต้นของฟิล์ม ARF-1 มีค่าต่ำ ซึ่งแปรผันตรงกับค่าความเข้มข้นของ AR แสดงในรูปที่ 2



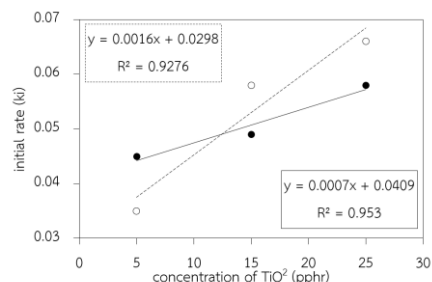
รูปที่ 2 อัตราปฏิกิริยาเริ่มต้น (k_i) ของการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตัวชี้วัด ARF-1 ที่ความเข้มข้นของ AR แตกต่างกัน ภายหลังจากปิดในบรรจุภัณฑ์ตัวอย่างอาหารฐานคาร์โบไฮเดรต (ขนมชั้น) ซึ่งให้แก๊สกลุ่มกรดเมื่อเกิดการเน่าเสีย

อย่างไรก็ตาม ผลดังกล่าวไม่สอดคล้องกับหลักทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาของฟิล์มตัวชี้วัดทางการบรรจุ โดยเฉพาะในรูปแบบของตัวชี้วัดเชิงวินิจฉัย (Diagnostic Indicator) ที่อัตราเริ่มต้นปฏิกิริยาในการเปลี่ยนแปลงสี (Initial Rate, k_i) นั้นจะเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อใช้สารออกฤทธิ์ที่ความเข้มข้นต่ำ (Mills, 2005) ปรากฏการณ์นี้อาจเกิดได้จากความว่องไวของ AR และเมื่อวิเคราะห์ผลด้วยค่าความแตกต่างสีรวม ที่ค่าความเข้มข้นของ AR มาก เมื่อเกิดปฏิกิริยา ความแตกต่างของสีจะสูง และสามารถพิจารณาได้ง่ายด้วยสายตาเมื่อเทียบกับค่าความเข้มข้นของสารละลายสารให้สีที่ต่ำ

2.3 การเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์ม ARF-2 (ตัวชี้วัดรังสียูวี)

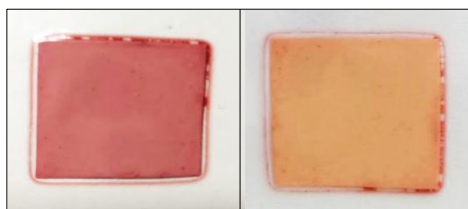
กลไกการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตัวชี้วัดรังสียูวี (ARF-2) ที่ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปของสีย้อม AR จากรูปออกซิไดซ์ (Oxidized Form, AR_{ox}) ลดรูปเป็นรูปรีดิวส์ (Reduced Form, AR_{red}) โดยอาศัยสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor หรือ TiO_2) ที่มีช่วงของแถบอิเล็กทรอนิกส์ (Electron Band Gab, E_{bg}) ในช่วงเดียวกับช่วงของคลื่นรังสียูวีที่มีความยาวคลื่น 352 nm (Mills & Hunte, 2004) ดังนั้น สีย้อม AR จึงสามารถเปลี่ยนรูปหรือเปลี่ยนสีได้ทันทีที่ได้รับพลังงานรังสียูวีที่มากกว่าหรือเท่ากับ E_{bg} ของ TiO_2 ขณะเดียวกันเมื่อในระบบมีสารให้อิเล็กตรอน (Sacrificial Electron Donor, SED, หรือ Glycerol) ระบบนั้นจะถ่ายโอนอิเล็กตรอนไปลดรูปของสีย้อม AR อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ AR เปลี่ยนสีได้อย่างสมบูรณ์ในที่สุด

ดังผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารกึ่งตัวนำ (TiO_2) ค่าอัตราเร็วการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี (ki) ของตัวชี้วัดรังสียูวีนั้นจะเพิ่มขึ้นตามโดยแปรผันตรงกัน ในขณะที่ความเข้มข้นของสารให้สี AR ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 0.5 และ 1.0 pp/hr มีผลต่อ ki ที่ได้แตกต่างกันที่น่านสังเกตคือ ที่ความเข้มข้นของ TiO_2 ต่ำ นั้นคือ 5 pp/hr ค่าอัตราเร็วการกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของ ARF-2 ที่ใช้ AR 0.5 pp/hr กลับมีค่าสูงกว่าซึ่งอาจเป็นผลจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารให้สี สารให้อิเล็กตรอน รวมถึงความหนาของฟิล์ม ARF-2 ($110 \pm 1.814 \mu m$) ที่มีผลต่อการส่องผ่านของแสงเข้าไปทำปฏิกิริยากับองค์ประกอบต่าง ๆ ภายในฟิล์มดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตราปฏิกิริยาเริ่มต้น (ki) ของการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตัวชี้วัด ARF-2 ที่ความเข้มข้นของ AR 0.5 (●) และ 1.0 (○) pphr และความเข้มข้นของ TiO_2 ต่างกัน (5, 15 และ 25 pphr) ภายหลังจากฉายรังสียูวี (2.5 mW/cm^2) ในสภาวะปลอดแก๊สออกซิเจน

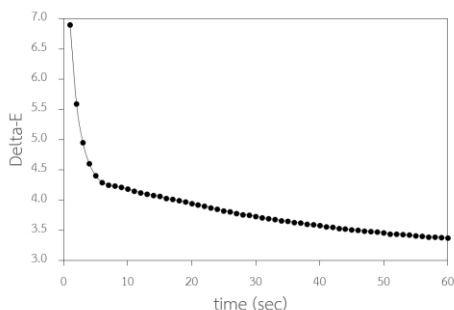
ฟิล์ม ARF-2 ที่ใช้ในการทดลองนี้มีการเปลี่ยนแปลงสีทันทีที่เริ่มการฉายรังสียูวี โดยในช่วงเริ่มต้นตัวชี้วัดจะมีสีแดงส้มและค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปเป็นสีเหลืองส้มอย่างสมบูรณ์ โดยเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นอยู่กับพลังงานรังสียูวีที่ได้รับ รวมทั้งความหนาและความเข้มข้นขององค์ประกอบในฟิล์มตัวชี้วัดด้วย Khankaew et al. (2018) ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสีของตัวชี้วัดแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงสีของตัวชี้วัดรังสียูวี (ARF-2) ที่อัตราส่วนของ $AR/TiO_2/G/MC$ เป็น 0.5/15/100/100 pphr ก่อน (ภาพซ้าย) และหลังการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 11 นาที (ภาพขวา)

2.4 การผันกลับในรูปแบบของฟิล์มตัวชี้วัด แก๊สออกซิเจน จากฟิล์ม ARF-2

จากปฏิกิริยาในกลไกการเปลี่ยนแปลงสีของฟิล์มตัวชี้วัดรังสียูวี (ARF-2) เมื่อสีย้อม AR ถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนรูปเป็น AR_{red} ซึ่งเป็นรูปที่ว่องไวต่อการออกซิไดส์กับแก๊สออกซิเจนเป็นอย่างมากแล้ว ดังนั้น เมื่อฟิล์ม ARF-2 ที่อยู่ในรูป AR_{red} (สีส้มเหลือง) ถูกแกะเปิด ค่าความแตกต่างสีรวมของฟิล์มจึงลดลงอย่างรวดเร็ว (ภายใน 60 นาที) ซึ่งเปรียบเสมือนการรั่วของบรรจุภัณฑ์บางประเภท เช่น ในการบรรจุแบบสุญญากาศ (Vacuum Packaging, VP) และการบรรจุแบบปรับบรรยากาศ (Modified Atmosphere Packaging, MAP) ออกซิเจนที่มีปริมาณมาก (20.9% v/v ในอากาศที่ความดันปกติ) จะแพร่เข้าสู่ภายในบรรจุภัณฑ์ และออกซิไดส์ AR_{red} ให้กลับมามีอยู่ในรูป AR_{ox} (รูปเดิม) อีกครั้ง ส่งผลให้ฟิล์มตัวชี้วัดค่อย ๆ เปลี่ยนสีกลับจากสีส้มเหลืองกลายเป็นสีแดงส้มอีกครั้ง แสดงในรูปที่ 5

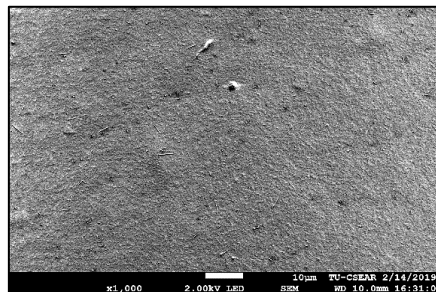


รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงสีรวม (Delta-E) ของฟิล์มตัวชี้วัดรังสียูวี (ARF-2) ที่อัตราส่วนของ $AR/TiO_2/G/MC$ เป็น 0.5/15/100/100 pphr ภายหลังจากฉายแสงกระตุ้น (11 นาที ที่ 2.5 mWcm^{-2}) และเปิดให้ผันกลับด้วยแก๊สออกซิเจนในบรรยากาศ

2.5 สภาพผิวของฟิล์มตัวชี้วัด

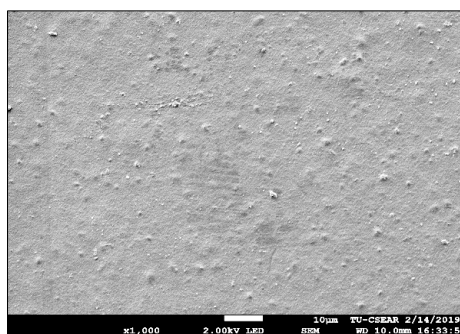
ลักษณะปรากฏของฟิล์มตัวชี้วัดทั้ง ARF-1 แสดงให้เห็นถึงความเรียบเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งแท้จริงมีรอยขรุขระคล้ายผิวส้มเมื่อพิจารณาที่กำลังขยาย

1,000 เท่า เนื่องจากฟิล์มชนิดนี้ เป็นฟิล์มที่มีองค์ประกอบเพียงสารละลายสีย้อม AR และสารสร้างฟิล์มหรือ MC เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะผิวของฟิล์มตัวชี้วัด ARF-1

ในขณะที่ฟิล์มตัวชี้วัด ARF-2 มีลักษณะผิวฟิล์มที่ขรุขระมองเห็นอนุภาคของสารบางชนิดประปรายอยู่บนผิวฟิล์ม ซึ่งอาจเกิดจากอนุภาคของสารกึ่งตัวนำ (TiO_2) ที่ขนาดระดับนาโนเมตร



รูปที่ 7 ลักษณะผิวของฟิล์มตัวชี้วัด AR-2

สรุปและอภิปรายผล

1. ฟิล์มตัวชี้วัดการเน่าเสีย หรือ ARF-1 ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีในสภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงของไอระเหยที่มีฤทธิ์เป็นกรดและต่างสามารถเปลี่ยนแปลงสีได้เล็กน้อยในทุกความเข้มข้นของ AR แต่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลง และทำนายผลอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยสมการเส้นตรง อย่างไรก็ตามผลดังกล่าวไม่แสดงให้เห็นชัดเจนหากพิจารณาด้วยการมองเห็นในด้านการเปลี่ยนแปลงสี

2. फिल्मตัวชี้วัด ARF-2 เป็นฟิล์มที่มีสารกึ่งตัวนำเป็นสารเร่งปฏิกิริยาในระบบ จึงสามารถเปลี่ยนแปลงสีได้ทันทีเมื่อได้รับรังสียูวี ที่ซึ่งมีช่วงแถบอิเล็กทรอนิกส์ใกล้เคียงกันในขณะเดียวกัน ปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ทันทีเมื่อหยุดการฉายแสงและได้รับแก๊สออกซิเจนแม้เพียงเล็กน้อย จึงสามารถประยุกต์ใช้ ARF-2 ในบรรจุภัณฑ์ที่บรรจุด้วยวิธีสุญญากาศเพื่อตรวจสอบการรั่วซึมหรือความสมบูรณ์ของบรรจุภัณฑ์ได้อย่างทันที ด้วยการเปลี่ยนแปลงสี นอกจากนี้ การพัฒนาฟิล์มตัวชี้วัดจากงานวิจัยนี้ ยังสามารถประยุกต์ใช้ได้โนลักษณะของตัวชี้วัดรังสียูวีในแสงแดดหรือในบางกรณีอาจจะเรียกว่าตัวชี้วัดการเผาไหม้ของแสงแดด (Sun-burn Indicator) ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยที่แพ้รังสียูวี (UV-photoallergic or Phototoxic Reaction) ได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในกรณีของหมึกพิมพ์ที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยารังสียูวี ซึ่งมีช่วงแถบพลังงานของอิเล็กทรอนิกส์ (E_{bg}) ที่แตกต่างกัน หากจะประยุกต์เพื่อการใช้งาน จึงควรพิจารณาช่วง E_{bg} ของสารกึ่งตัวนำร่วมกับชนิดของแสงที่ใช้กระตุ้นด้วย

2. ควรศึกษาปัจจัยด้านความหนาของฟิล์มเมื่อแห้ง (Dried-film Thickness) เพื่อพิจารณาถึงผลเมื่อทดสอบพิมพ์ด้วยกระบวนการพิมพ์ต่างที่มีค่าความหนาของชั้นฟิล์มหมึกพิมพ์ที่ค่อนข้างต่ำ

References

- Francis F.J. (1983). Colorimetry of food. In Peleg M. & Baley E.B. (Eds). *Physical Properties of Food*. (pp. 105-124.). Westport: AVI Publishing.
- Green F.J. (1991). *The Sigma-Aldrich Handbook of Stains, Dyes and Indicators*. Wisconsin: Aldrich Chemical Company.
- Khankaew S., Mills A., Yusufu D., Wells N., Hodgen S., Boonsupthip W. & Suppakul P. (2017). Multifunctional anthraquinone-based sensors: UV, O₂ and time [Electronic version]. *Sensor. Actuat. B-Chem.* 238, 76-82.
- Mills A. (2005). Oxygen indicators and intelligent inks for packaging food [Electronic version]. *Chem. Soc. Rev.* 34, 1003-1011.
- Mills A., & Hunte S.L. (2004). An overview of semiconductor photocatalysis [Electronic version]. *J. Photochem. Photobiol. A* 108, 1-35.
- Restuccia D.U., Spizzirri D., Parisi O.T., Cirillo G., Curcio M., Iemma F., Puoci F., Vinci G., & Picci N. (2010). New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications [Electronic version]. *Food Control* 21, 1425-1435.
- Rukchon C., Nopwinyuwong A., Trevanich S., Jinkam T., & Suppakul P. (2014). Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast [Electronic version]. *Talanta* 140, 547-554.
- Stauffer J.E. (2005). Radio Frequency Identification [Electronic version]. *J. Cereal Food World* 50, 86-87.
- Suppakul P. (2012). Intelligent packaging. In Sun D.W. (Ed). *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging*. (pp. 837 - 860). 2nd edition. Boca Raton: CRC Press.
- Yam P., Takhistov T., & Miltz J. (2005). *Intelligent packaging: Concepts and Applications* [Electronic version]. *J. Food Sci.* 70, 1-100.

การพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C ร่วมกับการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน

ประพนธ์ ลีกุล¹, ธัญวัฒน์ ลิ้มปิติ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

²สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

Email : prapan.l@rbru.ac.th¹, thunyawat.li@wu.ac.th²

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 5, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่ C เพื่อประยุกต์ใช้ตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อนด้วยสัมประสิทธิ์การสะท้อน (S_{11}) สายอากาศพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้า ชนิด FR4 ขนาด 1.414 เซนติเมตร ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของวัสดุฐานรอง 4.1 ขนาดสายอากาศถูกคำนวณด้วยทฤษฎีพื้นฐานและจำลองการปรับโครงสร้างอย่างละเอียดด้วยโปรแกรมจำลองสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และได้ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 3.8 ถึง 6.0 กิกะเฮิรตซ์ จำลองการตรวจวัดโมเดลน้ำยางปนเปื้อนด้วยการเปลี่ยนค่าคงที่ไดอิเล็กตริกตั้งแต่ 40 ถึง 48 ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง และผลการจำลองที่ได้ของ S_{11} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่น ความถี่ 5 กิกะเฮิรตซ์ ค่าที่ได้อยู่ที่ -17.29 ถึง -15.6 เดซิเบล ค่า S_{11} ของการจำลองถูกใช้ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนัก โครงสร้างที่เหมาะสมประกอบด้วย 10 โหนดอินพุต 20 โหนดฮอนเรน อัตราการเรียนรู้ 0.001 และเป้าหมาย คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางปนเปื้อน ผลการทดสอบให้อัตราความผิดพลาด 0.15 ความแม่นยำ 97.8% จากการตัดสินใจของโครงข่ายประสาทเทียมแสดงถึงความเป็นไปได้ในการตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อน ดังนั้นสายอากาศจึงได้รับการสร้างและทดสอบ ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ 3.7 ถึง 6.1 กิกะเฮิรตซ์ ข้อดีของสายอากาศนี้ คือ ขนาดเล็กกะทัดรัด ไม่ซับซ้อน และสร้างง่าย ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้ในระบบตรวจวัดการปนเปื้อนของน้ำยาง

คำสำคัญ : สายอากาศโมโนโพล, โครงข่ายประสาทเทียม, น้ำยางปนเปื้อน

Development of C-band monopole antenna with Artificial Neural Networks Cooperation for Latex Contamination Detecting Application

Prapan Leekul¹, Thunyawat Limpiti²

¹Department of Telecommunication and Information Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University

²Department of Electrical Engineering, School of Engineering and Technology, Walailak University
Email : prapan.l@rbu.ac.th¹, thunyawat.li@wu.ac.th²

Received: July 1, 2019

Revised: Aug 5, 2019

Accepted: Aug 22, 2019

Abstract

Development of a monopole antenna operating at the frequency of C band for applying in detecting contaminated latex by using the reflection coefficient (S_{11}) is presented. The antenna is implemented on the FR4 printed circuit board which the dielectric constant is 4.1 and the thickness of the substrate is 1.414 mm. The dimension of the antenna was initially calculated with the basic theory; then was optimized in the electromagnetic simulator program. The simulated $S_{11} < -10$ dB was in the range of 3.8-6.0 GHz. To simulate the contaminated latex detection, the latex was modeled by varying the dielectric constant each step by 1 from 40-48 so that there are all 9 samples. The simulation results showed that S_{11} increased at the frequency of 5 GHz which were -17.29 to -15.6 dB. Then, they were used to train the artificial neural networks (ANN) to find the weights value. The suitable structure of ANN consists of 10 input nodes, 20 hidden nodes, 0.001 learning rate, and the target is dielectric constant of contaminated latex. To validate the performance of ANN, it was tested and the results showed that the error rate and the accuracy were 0.15 and 97.8%, respectively. According to the decision result of ANN, it is possible to detect the contaminated latex. Therefore, the antenna was fabricated and tested. The $S_{11} < -10$ dB is in the range of 3.7-6.1 GHz. The advantages of this antenna are compact size, simple construction, and easy to fabricate which are suitable for applying in detecting contaminated latex.

Keywords : Monopole antenna, Artificial neural networks, Contaminated latex

บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งสิ้น 14.6 ล้านไร่ พื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศมีอยู่ทุกภูมิภาค โดยปลูกมากที่สุดในภาคใต้ นอกจากนี้ยังเป็นอันดับ 2 ของโลก (Office of Agricultural Economics, 2017) ส่งผลให้ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจและเป็นสินค้าที่มีมูลค่าทางการตลาดสูง รวมถึงยังเป็นสินค้าทางการเกษตรที่สำคัญของประเทศและในปี 2560 มีมูลค่าการส่งออกสูงเป็นอันดับหนึ่งอยู่ที่ 204,837.65 ล้านบาท ซึ่งเป็นอัตราการขยายตัวสูงถึง 13.7% (Office of Permanent Secretary Ministry of Commerce, 2018) ผลผลิตของยางพาราและกระบวนการรับซื้อประกอบด้วยหลายปัจจัย เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยาง การไม่ปนเปื้อน เป็นต้น ปัญหาการปนเปื้อนเกิดจากการลักลอบเติมสิ่งปลอมปนลงไปในน้ำยางเพื่อหวังเพิ่มน้ำหนักหรือเพิ่มเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง สิ่งปลอมปนที่เกษตรกรเติมลงในน้ำยางสดมีหลายชนิด ส่วนมากมีสีขาวและมีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำยาง เช่น แป้งมัน และปูนขาว เมื่อน้ำยางปนเปื้อนถูกผลิตเป็นยางแผ่นดิบทำให้ขาดคุณภาพ ยางดิบที่มีสิ่งปลอมปนหรือสิ่งสกปรกอาจกระทบต่อภาพลักษณ์สินค้ายางพาราไทยทำให้ประเทศคู่ค้าขาดความเชื่อมั่น ดังนั้นเกษตรกรต้องให้ความสำคัญในการผลิตยาง จึงได้มีการศึกษาและวิเคราะห์น้ำยางพาราสด ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งหรือสิ่งปลอมปนในน้ำยางพาราสด เช่น Julrat et al. (2012) ได้พัฒนาระบบตรวจสอบเปอร์เซ็นต์เนื้อยางจากการประยุกต์ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นแบบ 6 พอร์ต ที่ความถี่ 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ พร้อมศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางในช่วง 28-61% และใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับตัดสินใจ ระบบยังคงมีความซับซ้อนเนื่องจากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมทั้งหมด รวมถึงความถี่ที่ใช้งานมีเพียง 1 ความถี่ อย่างไรก็ตามระบบยังคงแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ใน

การประยุกต์ใช้คลื่นความถี่เพื่อตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน และต่อมา Somwong et al. (2015) ได้ศึกษาค่าสภาพยอมไฟฟ้าของน้ำยางพาราปนเปื้อนในช่วง 0.5-2.0 กิกะเฮิร์ตซ์ เพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบ และผลการวิจัยพบว่าค่าสภาพยอมไฟฟ้ามีคุณสมบัติสามารถจำแนกความแตกต่างน้ำยางปนเปื้อนในน้ำยางพาราสด แต่ยังคงเป็นการทดสอบเบื้องต้นและไม่ถูกพัฒนาเป็นเครื่องมือเพื่อใช้งานจริง จึงเห็นได้ว่าระบบเซนเซอร์ไมโครเวฟเป็นเทคนิคที่ได้รับความสนใจและนำมาใช้ในการตรวจสอบการปนเปื้อนของน้ำยาง ซึ่งคุณสมบัติไดอิเล็กตริกที่แตกต่างกันของวัสดุมีผลต่อกำลังงานการส่งผ่านและกำลังงานการสะท้อนคลื่นความถี่เมื่อเดินทางผ่านวัสดุนั้นๆ รวมถึงการตัดสินใจยังเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับระบบที่ต้องการความแม่นยำ ระบบการตัดสินใจที่ได้รับความสนใจและถูกประยุกต์อย่างแพร่หลาย คือ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural networks: ANNs) เทคนิคนี้ใช้การเรียนรู้การจดจำรูปแบบ และปรับตัวให้เข้ากับปัญหาที่ต้องการแก้ไขการฝึกสอนใช้คุณลักษณะเด่นของข้อมูลในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักให้เหมาะสม เช่น Pizzai et al. (2018) ได้นำเสนอการคัดแยกเมล็ดกาแฟพันธุ์อาราบิก้า (Arabica) โดยใช้วิธีการประมวลผลภาพถ่ายและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโครงข่ายประสาทเทียม และได้พัฒนามาตรฐานภาษาไพทอน (Python) มีการเรียนรู้ลักษณะของเมล็ดกาแฟอาราบิก้า เช่น รูปร่าง ขนาด สี และพื้นผิวของเมล็ดกาแฟ ใช้อินพุต 5 โนต โนตซ็อนเร้น 100 โนต และเอาต์พุตเป็นเลขไบนารี 1 โนต ความแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 94.10% ระบบจึงมีมาตรฐานการคัดแยกใกล้เคียงกันรวมถึงต้นทุนที่ลดลง และในปีเดียวกันนั้น Khan et al. (2018) ได้เสนอการพัฒนาขนาดของสายอากาศไมโครสตรัปูวงแหวน (ARMAs) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมในรูปแบบเพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น เรียนรู้การปรับขนาดของสายอากาศต่อความถี่ที่ทำงาน (Resonant frequency) และเทียบผลที่

ได้กับการจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ช่วงความถี่ที่ใช้ทดสอบ คือ GSM LTE WLAN และ WiMAX การจำลองใช้วิธีการส่งข้อมูลจากขนาดสายอากาศ 80 ข้อมูล จากนั้นใช้ในการฝึกสอน 70 ข้อมูล และทดสอบ 10 ข้อมูล โดยใช้ข้อมูลอินพุต 4 โหนด จำนวนโนดซ่อนเร้น 4 โหนด และโนดเอาต์พุต 1 โหนด ซึ่งสามารถหาขนาดที่เหมาะสมและใช้เวลาในการประมวลผลน้อย สายอากาศเป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบเซนเซอร์ไร้สายใช้เพื่อรับส่งคลื่นความถี่ การพัฒนาทำได้หลายแบบและที่ได้รับความนิยม คือ การพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ เนื่องจากความซับซ้อนต่ำ การบ่อนสัญญาณทำได้หลายแบบรวมถึงปรับให้สายอากาศทำงานที่ความถี่กว้าง เช่น Vyas and Singhal (2014) นำเสนอสายอากาศแพทช์ ที่ใช้ CPW-fed ให้ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 2.7-6.5 กิกะเฮิร์ตซ์ บนแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 การเพิ่มความกว้างแบนด์ของสายอากาศใช้การปรับปรุงทรงของระนาบกราวด์ (MGS) แบบขั้นบันได ปรับด้วยการจำลองจากโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้ในระบบสื่อสารสายอากาศมีโครงสร้างขนาดเล็กไม่ซับซ้อน ระนาบกราวด์วางอยู่ด้านเดียวกับองค์ประกอบของสายอากาศ เหมาะสำหรับการพัฒนาต่อเพื่อใช้งานกับระบบที่ต้องการ จากนั้น Lakrit et al. (2015) ได้เสนอสายอากาศแพทช์วงกลมย่านความถี่กว้าง (UWB) เพื่อใช้ในระบบสื่อสารใช้ การเพิ่มช่องรูปตัวที ที่ระนาบกราวด์ด้านหลัง เพื่อปรับช่วงความถี่ให้กว้างขึ้น 3.52-13.67 กิกะเฮิร์ตซ์ จำลองการปรับขนาดระนาบกราวด์ทั้งหมด 3 แบบ ที่เหมาะสมคือ inverted T-shaped ให้ค่า S_{11} น้อยกว่า -20 เดซิเบล ระนาบกราวด์ด้านหลังถูกปรับเพื่อเพิ่มสมรรถนะ นอกจากนี้ พรพิมล ฉายแสง และ ประพันธ์ ลีกุล (2561) ได้ศึกษาคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ของยางก้อนถ้วยที่มีระดับของเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งแตกต่างกัน พบว่านำมาใช้คัดแยกอายุยางก้อนถ้วยได้ โดยช่วงความถี่ที่เหมาะสม คือ 4.77 ถึง 5.39 กิกะเฮิร์ตซ์

ช่วงความถี่ดังกล่าวเหมาะสำหรับพัฒนาสายอากาศเนื่องจากตอบสนองได้ดีต่อคุณสมบัติไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ของวัสดุ

ดังนั้นจึงนำเสนอการพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่กว้าง โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณและปรับขนาดละเอียดด้วยการจำลองเพื่อให้ทำงานที่ความถี่ 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ และจำลองสายอากาศร่วมกับระบบเซนเซอร์ เพื่อตรวจสอบโมเดลนัยางที่เปลี่ยนค่าคงที่ไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ตามลักษณะการปนเปื้อน นำค่า S_{11} ที่ได้มาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อให้เรียนรู้เทียบกับระดับปนเปื้อน ปรับโครงสร้างการใช้จำนวนโนดอินพุต (Input node) จำนวนโนดซ่อนเร้น (Hidden node) อัตราการเรียนรู้ (Learning rate) อัตราความผิดพลาด (Error rate) และค่าถ่วงน้ำหนัก (Weights) จากนั้นทำการพัฒนาสายอากาศเป็นต้นแบบพร้อมทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงข่าย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาสายอากาศโมโนโพลย่านความถี่กว้างในช่วง C แบนด์
2. เพื่อจำลองการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมให้ตรวจสอบนัยางปนเปื้อน

ระเบียบวิธีวิจัย

1. สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพลมีขนาด 1 ใน 4 ของความยาวคลื่น จึงมีรูปทรงกะทัดรัด สะดวกต่อการประยุกต์ใช้งาน ถูกพัฒนาให้ทำงานช่วงความถี่ 4-6 กิกะเฮิร์ตซ์ ขนาดเบื้องต้นถูกคำนวณให้เหมาะสมกับความถี่ทำงานต่ำสุด (f_L) ของสายอากาศ โมโนโพลรูปสี่เหลี่ยมที่ 4 กิกะเฮิร์ตซ์ ใช้สมการของ (Ray, 2006) จากความสัมพันธ์ของความถี่ใช้งานกับขนาดสายอากาศ แสดงในสมการที่ (1)

$$f_L = \frac{c}{\lambda} = \frac{7.2}{l + r + p \times \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (1)$$

$$S_{11} = \frac{V_{i1}}{V_{r1}} = \Gamma_1 \quad (2)$$

เมื่อ f_L หน่วยเป็นกิกะเฮิรตซ์ ขนาดสายอากาศในสมการหน่วยเป็นเซนติเมตร l คือ ความยาวสายอากาศ r คือ รัศมีประสิทธิผลสายอากาศรูปวงกลมสมมูลภายใน p คือ ความยาวสายป้อนสัญญาณ ขนาดจากการคำนวณได้รับการพัฒนาด้วยโปรแกรมจำลองค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Hobbies 10.0) เพื่อปรับขนาดอย่างละเอียดและให้ทำงานได้ดีในช่วงความถี่ 4-6 กิกะเฮิรตซ์ โดยใช้คุณสมบัติของแผ่นวงจรพิมพ์ชนิด FR4 มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (ϵ_r) ของวัสดุฐานรองอยู่ (Substrate) 4.1 มีความหนา 1.414 มิลลิเมตร

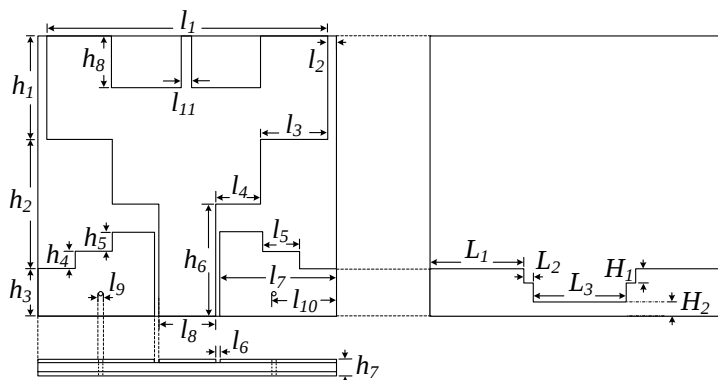
โดย V_{i1} คือ แอมพลิจูดคลื่นส่ง ส่วน V_{r1} คือ แอมพลิจูดคลื่นสะท้อนที่พอร์ต 1 และ Γ_1 คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนคลื่นที่พอร์ต 1 สัมประสิทธิ์การสะท้อนของคลื่นความถี่ระหว่างรอยต่อตัวกลางอากาศและตัวกลางค่าสภาพยอมไฟฟ้า (ϵ_r) คำนวณได้ในสมการที่ (3) (Pozar, 2012)

$$\Gamma = \left| \frac{\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} - 1}{\frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} + 1} \right| \quad (3)$$

2. สัมประสิทธิ์การสะท้อน

ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (S_{11}) หรือค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนหาได้จากเมตริกซ์กระจายของวงจรข่ายแบบ 2 พอร์ต เมื่อกำหนดให้คลื่นสะท้อนที่พอร์ต 2 มีค่าเป็นศูนย์ ค่าพารามิเตอร์ S_{11} คำนวณได้จากสมการที่ 2

กรณีที่คลื่นกระทบกับรอยต่อของตัวกลางที่ค่าสภาพยอมไฟฟ้าต่างกัน กำลังงานและเฟสของคลื่นจะเกิดการสะท้อน เลี้ยวเบนหรือหักเหไม่เท่ากันขึ้นกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริก



(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศ

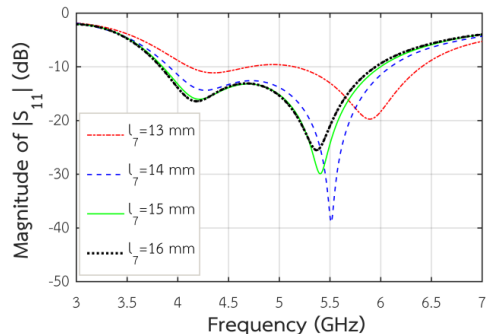
3. โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมถูกประยุกต์ใช้เพื่อตัดสินใจ เช่น เพอร์เซ็ปตรอนแบบหลายชั้น (MLP) ใช้อินพุต m ค่า คือ x_1, x_2 ถึง x_m ค่าถ่วงน้ำหนักคือ w_{f1}, w_{f2} ถึง w_{fm} และ b_k คือค่าไบแอสค่า v_k หาได้จากผลรวมค่าถ่วงน้ำหนักคูณกับค่าอินพุตและค่าไบแอส เมื่อ v_k ผ่านฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid function) จึงได้เอาต์พุต y_k ส่วนของ y_{sig} คือ ฟังก์ชันแอคติเวชันไม่เป็นเชิงเส้นคุณลักษณะของฟังก์ชัน $y_{sig}=1/(1+e^{-x})$ เริ่มต้นด้วยการหาค่าเริ่มต้นของ ค่าน้ำหนัก ค่าไบแอส และเป้าหมาย (Target) $y_{d1}(p), y_{d2}(p), y_{d3}(p), y_{d4}(p)$ โครงข่ายประสาทเทียมถูกฝึกสอนให้เรียนรู้และปรับค่า $w_i, w_j, \theta_j, \theta_k$ ให้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาและตัดสินใจ

ผลการวิจัย

1. การพัฒนาสายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่พัฒนาประกอบด้วยส่วนการแพร่กระจายคลื่นทางด้านหน้า ระนาบกราวด์ด้านหน้าและด้านหลังที่เชื่อมต่อกัน การป้อนสัญญาณใช้แบบสตริปไลน์เพื่อปรับความกว้างของช่วงความถี่ทำงาน l_7 คือ ความกว้างของกราวด์ด้านหน้า h_6 คือ ความสูงสตริปไลน์ป้อนสัญญาณ แสดงดังในรูปที่ 1 สายอากาศถูกพัฒนาต่อการจำลองเพื่อปรับขนาดอย่างละเอียด ให้สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 4-6 กิกะเฮิรตซ์ การปรับค่าตัวแปร l_7 เริ่มที่ 13 มิลลิเมตร ให้ค่า S_{11} ที่ต่ำกว่า -10 เดซิเบล แบ่งได้ 2 ช่วง คือ ที่ความถี่ 4.1-4.7 กิกะเฮิรตซ์ และที่ 5.2-6.4 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อปรับตัวแปร l_7 เป็น 14 15 16 และ 17 มิลลิเมตร ตามลำดับค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 3.9-6.1, 3.8-6.0 และ 3.8-5.95 กิกะเฮิรตซ์ ตามลำดับ ดังรูปที่ 2

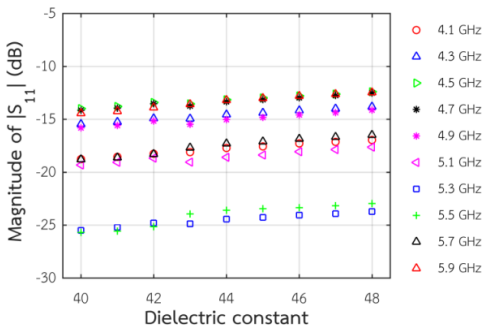


รูปที่ 2 ผลการจำลองการปรับขนาด l_7

การปรับแมทซ์ซึ่งจาก h_6 เริ่มที่ 10 มิลลิเมตร ช่วงความถี่ทำงาน 3.8-6.05 กิกะเฮิรตซ์ ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ต่ำสุดที่ -28 เดซิเบล และเมื่อปรับ h_6 เป็น 11 12 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ ช่วงความถี่ทำงาน 3.8-6.1 กิกะเฮิรตซ์ ให้ S_{11} ต่ำสุดที่ -32 -42 และ -40 เดซิเบล การปรับตัวแปร l_7 ถูกใช้เพื่อปรับความถี่ให้อยู่ในช่วง 4-6 กิกะเฮิรตซ์ การปรับแมทซ์ซึ่งใช้ h_6 และปรับตัวแปรทั้งหมดเพื่อให้ค่า S_{11} ต่ำสุด แสดงดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดสายอากาศโมโนโพล

ด้านหน้า (mm)				ด้านหลัง (mm)	
ด้าน	ขนาด	ด้าน	ขนาด	ด้าน	ขนาด
l_1	34	h_1	11	L_1	11.5
l_2	1	h_2	14	L_2	1
l_3	8.5	h_3	5	L_3	11
l_4	5	h_4	2	H_1	1.5
l_5	4.5	h_5	2	H_2	1.5
l_6	0.5	h_6	12		
l_7	14	h_7	1.6		
l_8	7	h_8	8		
l_9	0.5				
l_{10}	8.5				
l_{11}	1				



รูปที่ 3 ขนาดของ S_{11} กับผลการปนเปื้อน

2. จำลองการตรวจวัดน้ำยางปนเปื้อน

สายอากาศถูกจำลองเพิ่มในลักษณะเสมือนจริงในโมเดลระบบ น้ำยางปนเปื้อนบรรจุในภาชนะพลาสติกสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้างยาวสูง 5x12x8 เซนติเมตร มีความหนา 1 มิลลิเมตร สายอากาศถูกติดตั้งอยู่ด้านข้างภาชนะบรรจุ วิเคราะห์ค่า S_{11} เพื่อตรวจสอบการปนเปื้อนจากการปรับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของโมเดลน้ำยางเพื่อเลียนแบบน้ำยางปนเปื้อน Somwong et al. (2017) ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกปรับตั้งแต่ 40 ถึง 48 ทั้งหมด 9 ตัวอย่าง เปรียบเทียบ S_{11} ช่วง จำนวน 10

ความถี่ ในช่วง 4-6 กิกะเฮิรตซ์ ดังค่ามาในลักษณะเชิงเส้นที่ความถี่ 4.1 ถึง 5.9 กิกะเฮิรตซ์ เมื่อสังเกตที่ความถี่ 4.3 ถึง 5.1 มีค่าการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) เฉลี่ยที่ 0.56 เพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความถี่ 4.1 และ 5.3 มีค่า σ เฉลี่ยที่ 0.62 เปลี่ยนชัดเจนในช่วง 5.5-5.9 กิกะเฮิรตซ์ ให้ค่า σ เฉลี่ยอยู่ที่ 0.88 เห็นได้ว่าการเปลี่ยนระดับการปนเปื้อนส่งผลต่อขนาดของ S_{11} การเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนบอกลักษณะที่สำคัญของข้อมูลการปนเปื้อน แสดงดังในรูปที่ 3

3. ฝึกสอนและทดสอบโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมถูกฝึกสอนด้วยขนาด S_{11} ที่ 4-6 กิกะเฮิรตซ์ เทียบกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำยางปนเปื้อน ซึ่งรวมทั้ง 90 ข้อมูล (100%) อัตราความผิดพลาดต่ำสุด 10^{-3} วนซ้ำสูงสุด 10^7 เป้าหมายคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้ำยางที่ 40 ถึง 48 และถูกทำแมพเป็น 4 เอาต์พุต กำหนดให้ 40 คือ 0000, 41 คือ 0001, ถึง 48 คือ 1000

ตารางที่ 2 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

Input node	Hidden node	Learning	Iteration	33% of Data		44% of Data		56% of Data	
				Error	Accuracy	Error	Accuracy	Error	Accuracy
10	12	0.0005	10^7	0.463	48.9%	0.738	60.0%	0.476	67.8%
		0.001		0.432	71.1%	0.530	71.1%	0.403	74.5%
		0.002		0.450	66.7%	0.521	70.0%	0.415	72.2%
10	15	0.0005	10^7	0.697	73.3%	0.689	65.6%	0.718	63.3%
		0.001		0.242	78.9%	0.527	82.2%	0.388	78.9%
		0.002		0.164	78.9%	0.461	80.0%	0.473	80.0%
10	20	0.0005	10^7	0.219	80.0%	0.207	90.0%	0.750	77.8%
		0.001		0.247	80.0%	0.150	97.8%	0.261	77.8%
		0.002		0.142	92.2%	0.312	85.6%	0.532	73.3%

เริ่มฝึกสอนที่ 10 อินพุตโนด เปลี่ยนโนดซ่อนเร้นที่ 12 15 และ 20 โนด อัตราการเรียนรู้ใช้ 3 ระดับ 0.0005 0.001 และ 0.002 ข้อมูลฝึกสอน

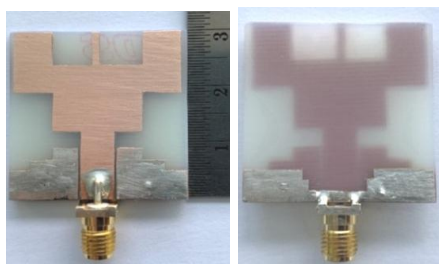
แบ่งอย่างเป็นเชิงเส้น 3 กลุ่ม ที่ 33%, 44% และ 56% ของข้อมูลทั้งหมด จำลองการเรียนรู้จากการเขียนบรรยายข้อสัคด้วยโปรแกรมไซแนล

(SCILAB) เวอร์ชัน 6.0.2 (64-bit) ปรับค่าถ่วงน้ำหนักด้วยการวนซ้ำแบบมีเงื่อนไข (While loop) มากที่สุดไม่เกิน 10^7 รอบ หรือเมื่ออัตราความผิดพลาดต่ำกว่า 10^{-3}

การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมด้วยข้อมูล 33% ค่าความผิดพลาดต่ำสุดอยู่ที่ 0.142 ที่จำนวน 20 โหนดซ่อนเร้น ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.002 ให้ความแม่นยำ 92.2% เมื่อฝึกสอนด้วยข้อมูล 44% ค่าความผิดพลาดต่ำสุด 0.152 ที่อัตราการเรียนรู้ 0.001 ใช้ 20 โหนดซ่อนเร้น ให้ความแม่นยำ 97.8% แต่เมื่อใช้ข้อมูลฝึกสอนเพิ่มเป็น 56% ค่าความแม่นยำสูงสุดลดลงอยู่ที่ 80% ที่ใช้อัตราการเรียนรู้ 0.002 และใช้ 15 โหนดซ่อนเร้น และค่าความผิดพลาดต่ำสุดเพิ่มขึ้นเป็น 0.261 ที่ 20 โหนดซ่อนเร้น การฝึกสอนด้วยข้อมูล 56% การเรียนรู้ได้ทำได้ ไม่ครอบคลุมเนื่องจากรอบการวนซ้ำถูกจำกัด ดังนั้นการใช้จำนวนข้อมูล 44% ที่อัตราการเรียนรู้ 0.001 ที่ 20 โหนดซ่อนเร้นจึงเหมาะสมสำหรับตัดสินใจ ดังแสดงในตารางที่ 2

4. สายอากาศโมโนโพลบนแผ่นวงจรพิมพ์

จากการจำลองแสดงถึงความสามารถของสายอากาศโมโนโพลในการตรวจสอบน้ำยาปนเปื้อน ดังนั้นจึงถูกพัฒนาเป็นต้นแบบบนแผ่นวงจรพิมพ์ FR4 ขนาด 36x30 มิลลิเมตรหนา 1.414 มิลลิเมตร ป้อนสัญญาณแบบสตริปไลน์ มีระนาบกราวด์ 2 ด้าน เจาะทะลุถึงกัน แสดงได้ดังในรูปที่ 4

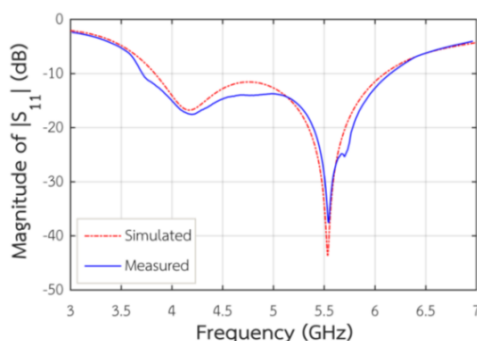


(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านหลัง

รูปที่ 4 สายอากาศต้นแบบ

สายอากาศต้นแบบได้รับการทดสอบสมรรถนะด้วยเครื่องวิเคราะห์หิโครข่าย (Network analyzer) ของบริษัท Keysight รุ่น Fieldfox N9916A ทดสอบในช่วงความถี่ 3-7 กิกะเฮิรตซ์ ค่าพารามิเตอร์ S_{11} ที่ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วงความถี่ที่ 3.7-6.1 กิกะเฮิรตซ์ จากนั้นเปรียบเทียบคุณสมบัติของสายอากาศต้นแบบกับผลการจำลอง ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการจำลอง แสดงดังในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบสายอากาศต้นแบบ

สายอากาศทำงานตามที่ออกแบบและมีความกว้างแบนด์ 48.98% Rama Sastry et al. (2014) โครงสร้างไม่ซับซ้อน ขนาดเล็ก ทำงานในช่วงความถี่กว้างทำให้เพิ่มข้อมูลการวัด เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบเซนเซอร์

สรุปและอภิปรายผล

สายอากาศโมโนโพลถูกพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้ตรวจสอบน้ำยาปนเปื้อน ได้รับการคำนวณและจำลองการปรับขนาดอย่างละเอียดเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะและขนาด S_{11} รวมถึงจำลองการตรวจวัดน้ำยา ศึกษาความเป็นไปได้ในการแบ่งระดับการปนเปื้อนและเรียนรู้ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สายอากาศถูกพัฒนาบนแผ่นวงจรพิมพ์ 2 หน้าชนิด FR4 ใช้การป้อนสัญญาณแบบสตริปไลน์ ระนาบกราวด์ทั้ง 2 ด้านเชื่อมต่อถึงกัน ผลการจำลองค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ตลอดช่วงความถี่ 3.8 ถึง 6.0 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศถูกจำลองเข้ากับระบบวัด

ในลักษณะเสมือนจริง เพื่อตรวจวัดโมเดลน้ำยางปนเปื้อนที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกต่างกันทั้งหมด 9 ตัวอย่าง ขนาด S_{11} ที่วัดได้แตกต่างกันชัดเจน ในช่วงความถี่ 5.5-5.9 กิกะเฮิร์ตซ์ ข้อมูลการวัดถูกใช้เป็นอินพุตฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมเป้าหมาย คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกน้ำยางปนเปื้อน การฝึกสอนที่เหมาะสม คือ ใช้ข้อมูล 44% ที่ 10 โนตอินพุต 20 โนตซ่อนเร้น อัตราการเรียนรู้ 0.001 อัตราความผิดพลาด 0.15 ความแม่นยำ 97.8% ดังนั้นสายอากาศจึงได้ถูกพัฒนาเป็นต้นแบบ ทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย ค่า S_{11} ต่ำกว่า -10 เดซิเบล ในช่วง 3.7-6.1 กิกะเฮิร์ตซ์ ความกว้างแบนด์ 48.98%

สายอากาศที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับประยุกต์ในระบบตรวจสอบน้ำยางปนเปื้อน เนื่องจากทำงานในช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการวัดยางพาราพรทิลฉายแสง และ ประพจน์ ลี้กุล (2561) และสามารถวัดได้หลายความถี่จึงทำให้มีความแม่นยำกว่าการวัดด้วยความถี่เดียว Julrat et al. (2012) รวมถึงโครงสร้างไม่ซับซ้อน สร้างง่าย และราคาถูก

References

- Chaisaeng, P., & Leekul, P. (2018). The study of dielectric properties of cup lump rubber at 1.5 to 5.5 GHz. *Proceeding of The 18th Graduate Studies of Northern Rajabhat University Network Conference and the 4th Lampang Research*, pp. 109-119.
- Julrat, S., Chongcheawchamnan, M., Khaorapapong, T., Patarapiboolchai, O., Kririksh, M., & Robertson, I. D. (2012). Single-frequency-based dry rubber content determination technique for in-field measurement application. *IEEE Sensors Journal*, Vol.12 (10), pp.3019-3030.
- Khan, I., tian, Y. I., Ullah, H., Rahman, U., & kamal, M. M. (2018). Design annular ring microstrip antenna based on artificial neural network. *2nd IEEE Advanced Information Management, communicates, Electronic and Automation Control Conference*, pp.2033-2037.
- Lakrit, S., Ammor, H., Terhzaz, J., Chaibi, M., & Sánchez, M. (2015). A new compact circular patch antenna for UWB communication. *Journal of Communications Software and Systems*, Vol.11 (4), pp.210-214.
- Office of Agricultural Economics. (2017). *Agricultural statistics of Thailand 2106*. Bangkok.
- Office of Permanent Secretary Ministry of Commerce. (2018). *Exporting important products of Thailand by value 2013 - 2017 (January - December)*.
- Pizzaia, J. P. L., Salcides, I. R., Almeida, G. M., Rodrigo, C., & Almeida, R. (2018). Arabica coffee samples classification using a multilayer perceptron network. *13th IEEE International Conference on Industry Application*, Vol.18, pp.80-84
- Pozar, D. M. (2012). *Microwave engineering*. 4th ed. John Wiley & Sons. USA.
- Rama Sastry, I. V. S., & Jaya Sankar, K. (2014). Proximity coupled rectangular microstrip antenna with X-slot for WLAN application. *Global. Journal of Researches in Engineering: Electrical and Electronics Engineering*, Vol. 14 (1), pp. 15-18.

- Ray, K. P., & Ranga, Y. (2006). Printed rectangular monopole antennas. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 1693-1696.
- Somwong, S., Wunchum, P., & Chongcheawchamnan, M. (2015). Effects of contaminations in rubber latex on relative permittivity at 0.5–2.0 GHz. *12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*.
- Somwong, S., Wouchoum, P., & Chongcheawchamnan, M. (2017). Contamination detection in fresh natural rubber latex by a dry rubber content measurement system using microwave reflectometer. *Biosystems Engineering*, Vol.164, pp. 181-188.
- Vyas K., & Singhal, P. K. (2014). Bandwidth enhancement in CPW fed compact rectangular patch antenna. World Academy of Science, Engineering and Technology International *Journal of Electronics and Communication Engineering*. Vol.8 (2), pp. 378-381.

การพัฒนาแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมด้วย กระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

สมเกียรติ กอบัวแก้ว

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: somkiat.ko@ssru.ac.th

Received: Aug 16, 2019

Revised: Sep 11, 2019

Accepted: Sep 25, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 2) เพื่อศึกษาดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมของนักศึกษาปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 และ 3) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังการใช้แบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 30 คน ใช้การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มอย่างง่าย เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ แบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม และแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน สถิติที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประสิทธิภาพ (E_1/E_2) ค่าดัชนีประสิทธิผล (E.I.) และทดสอบสมมติฐานโดยใช้ Dependent Sample t – test

ผลการศึกษาพบว่า

1. ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบฝึกทักษะฯ ที่สร้างขึ้น พบว่า มีความเหมาะสมอยู่ที่ระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.68$) และแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.81/82.89 ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 80/80
2. ผลการศึกษาดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.6969 แสดงว่า ผู้เรียนมีทักษะและความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 69.69
3. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนด้วยแบบฝึกทักษะฯ พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

คำสำคัญ : แบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ, การจัดการอุตสาหกรรม, กระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง

The Development of Information Technology Skills for Industrial Management with the Process of Self-Directed Learning for the First Year Undergraduate Students of Suan Sunandha Rajabhat University

Somkiat Korbuakaew

Industrial Management Faculty of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University

Email: somkiat.ko@ssru.ac.th

Received: Aug 16, 2019

Revised: Sep 11, 2019

Accepted: Sep 25, 2019

Abstract

The purpose of this research were; 1) to develop information technology skills exercise in industrial management by self-learning process for first year undergraduate students 2) to investigate the effectiveness index of skills exercise information technology in industrial management of first year undergraduates and 3) to compare academic achievement before and after using the skills exercise. The samples were 30 first year undergraduate students in Industrial Management, Suan Sunandha Rajabhat University who were used by simple random method. The study tools included: 1) information technology skills exercise 2) Achievement Test. The statistics used for analyzing the data were percentage, mean, standard deviation, E_1/E_2 , E.I. The hypothesis was tested by using dependent samples t-test.

The results of the study were as follows:

1. The results of the assessment of the appropriateness of the skill set created were found to be at the highest level ($\bar{X}=4.68$) and the skill set that was created that was effective 84.81 / 82.89, with efficiency higher than the criteria set at 80/80.

2. The results of the effectiveness index of the skills set showed that the effectiveness index of its that was 0.6969, indicating that learners had more skills and abilities in using the skills set of information technology in industrial management. 69.69 percent.

3. Comparison of learning achievement before and after using the developed skills training model, it was found that the posttest scores were significantly higher than before learning at the level of .05.

Keywords : Information Technology Skills, Industrial Management, Self-Directed Learning

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสารสนเทศเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาประเทศ จะเห็นได้จากที่ผู้เรียนจำเป็นต้องรู้จักการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาตนเองและสังคมอย่างต่อเนื่อง ดังพระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ. 2542 มาตรา 66 กำหนดให้ผู้เรียนมีสิทธิ์ได้รับการพัฒนาขีดความสามารถในการใช้เทคโนโลยีเพื่อการศึกษา (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ, 2545) ดังนั้น การศึกษาในระดับอุดมศึกษา จึงได้กำหนดกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับปริญญาตรีไว้ 5 ด้าน คือ 1) ด้านคุณธรรม จริยธรรม 2) ด้านความรู้ 3) ด้านทักษะทางปัญญา 4) ด้านทักษะความสัมพันธ์ระหว่างบุคคลและความรับผิดชอบ และ 5) ด้านทักษะการวิเคราะห์เชิงตัวเลขการสื่อสารและการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา, 2552) ซึ่งทุกสถาบันการศึกษารวมถึงมหาวิทยาลัยราชภัฏ ก็ได้ส่งเสริมให้ผู้เรียนมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิ แต่ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศพบว่า ผู้เรียนยังต้องได้รับการส่งเสริมให้มีความรู้ความสามารถในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศด้วย

จากการศึกษาของกลุ่มนโยบายการเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขัน สำนักนโยบายด้านการศึกษามหาภาค สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา (2554) ได้รายงานไว้ว่า สถาบัน การศึกษาในระดับอุดมศึกษาส่วนใหญ่กำลังประสบปัญหาอย่างมากในด้านการผลิตและพัฒนากำลังคนให้มีคุณภาพเนื่องจากบัณฑิตที่สำเร็จการศึกษาออกไปนั้นไม่สามารถปฏิบัติงานได้ตรงกับลักษณะงาน และส่วนใหญ่ขาดคุณลักษณะทั้งด้านความรู้ และทักษะการทำงานที่จำเป็นโดยเฉพาะทักษะการใช้ ICT ทักษะด้านการสื่อสาร รวมทั้งคุณลักษณะอื่นที่สำคัญ เช่น การคิดวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ

การแก้ปัญหาในงาน การทำงานเป็นทีม ความรับผิดชอบ ความมีวินัย ตรงต่อเวลา เป็นต้น

ในสังคมแห่งการเปลี่ยนแปลงที่ทั่วโลกเต็มไปด้วยข่าวสารและข้อมูลต่างๆ ที่ล้นส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตและการตัดสินใจของผู้คนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ผู้ที่สามารถเข้าถึงและมีความแม่นยำของข่าวสารและข้อมูลมากกว่า ย่อมตัดสินใจในสิ่งต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง การรับรู้ข่าวสารและข้อมูลเหล่านี้เกี่ยวข้องกับโดยตรงกับการเรียนรู้ตลอดชีวิตบนพื้นฐานของการเรียนรู้ด้วยตนเอง ทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง เป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับนักศึกษาระดับอุดมศึกษา ซึ่งจะ เป็นทรัพยากรมนุษย์ที่สำคัญในการพัฒนาสังคม ในอนาคต ยิ่งกว่านั้นทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง ยังเป็นทักษะจำเป็นสำหรับสังคมโลกปัจจุบัน ซึ่งเป็นสังคมแห่งการเรียนรู้ที่มีองค์ความรู้ใหม่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และสามารถเผยแพร่ไปอย่างรวดเร็วด้วยเทคโนโลยีการสื่อสารที่ก้าวหน้าอย่างไม่หยุดยั้ง ทรัพยากรมนุษย์ในสังคมไทยยังมีข้อจำกัดเรื่องการศึกษาติดตามไม่ทันความรู้ใหม่ ๆ ความเปลี่ยนแปลงที่เข้ามาตลอดเวลา สนิมศาสตร์ และ ดิน ปรัชญาพหุทธิ (2550) ซึ่งปัจจุบันต้องให้ความสำคัญกับคำถามที่น่าสนใจว่า ทำไม่ต้องพัฒนาให้ผู้เรียนมี “การเรียนรู้ด้วยตนเอง” (Self-directed learning) และจะจัดการเรียนการสอนอย่างไร เพื่อพัฒนาให้ผู้เรียนมีการเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง เพราะโลกไร้พรมแดนในปัจจุบันนี้ ความสามารถที่สำคัญที่สุดกลายเป็นความสามารถในการเรียนรู้ กรอบแนวคิดทางการศึกษาเดิมเปลี่ยนแปลงไป จากโครงสร้างการศึกษาเดิมที่ยึดติดกับเวลา สถานที่ ใช้กรอบของห้องเรียนและโรงเรียนเป็นหลัก แหล่งข้อมูลหลักคือตำรา คาทห้วงในเนื้อหาความรู้ที่แน่นอน ผู้เรียนเป็นผู้รับ ครูเล่านบทนำบนเวที ครูคาดหวังให้ผู้เรียนทุกคนได้รับเนื้อหาเหมือนกันหมดในความเร็วเท่ากัน โรงเรียนเป็นโรงงานผลิต และวัดผลด้วยการสอบครั้งสุดท้าย โดยได้เปลี่ยน

มาใช้กรอบแนวคิดใหม่ที่ส่งเสริมผู้เรียนเป็นผู้ค้นหา แสวงหา และสร้างความรู้ด้วยตนเอง ที่เรียกว่า การเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-directed learning) เป็นการเรียนรู้ที่ผู้เรียนต้องมีความรับผิดชอบ ในการวางแผน การปฏิบัติและการประเมินผล ความก้าวหน้าในการเรียนของตนเอง ผู้เรียน จะต้องมีลักษณะนี้อยู่ในสถานการณ์การเรียนรู้ และสามารถถ่ายโอนการเรียนรู้และทักษะที่เกิดจากการเรียนจากสถานการณ์หนึ่งไปยังอีก สถานการณ์หนึ่งได้ (วิภาดา วัฒนนามกุล, 2551)

เนื่องจากในปัจจุบันการศึกษาไทยต้องการ เตรียมพร้อมเพื่อให้เท่าเทียมกับประเทศในกลุ่ม อาเซียน เทคโนโลยีสารสนเทศจึงมีบทบาทสำคัญ อย่างยิ่งในการเรียนการสอนต่อนักศึกษาจาก ความสำคัญของการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ดังกล่าวนั้น เพื่อการแก้ไขปัญหาอุปสรรคใน การพัฒนาศักยภาพของเยาวชนที่สำคัญของชาติ และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการศึกษารวมถึง การยกระดับคุณภาพการศึกษาอันเป็นเครื่องมือ สำคัญในการพัฒนาประเทศให้เจริญก้าวหน้า จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะ พัฒนาแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศใน การจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เพื่อ ส่งเสริมทักษะการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศของ นักศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาและหาประสิทธิภาพแบบฝึกทักษะ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1
2. เพื่อวิเคราะห์ดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการ อุตสาหกรรมของนักศึกษาปริญญาตรีชั้นปีที่ 1

3. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังการใช้แบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้น

ระเบียบวิธีวิจัย

ผู้วิจัยได้กำหนดระเบียบวิธีวิจัยไว้ดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ นักศึกษาระดับ ปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 34 คน สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ นักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 สาขาวิชาการจัดการ อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา จำนวน 30 คน ผู้วิจัยใช้การกำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง ตามวิธีของเครซีและมอร์แกน และใช้การคัดเลือก กลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (simple random sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างเครื่องมือและดำเนินการ ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือจากผู้เชี่ยวชาญและ ทำการปรับปรุงแก้ไขแล้วเสร็จ เครื่องมือที่ใช้ใน การวิจัยมีดังนี้

1. แบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศใน การจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ ด้วยตนเอง เป็นแบบฝึกที่เน้นกระบวนการเรียนรู้ ด้วยตนเอง มีจำนวนทั้งหมด 6 ชุดตามแผนการเรียนรู้ โดยในแต่ละชุดจะมีขั้นตอนที่สำคัญ 4 ขั้นตอน ได้แก่ 1) ขั้นตอนบอกความสำคัญของเรื่อง 2) ขั้นให้ ความรู้ 3) ขั้นฝึกปฏิบัติ 4) ตรวจสอบ
2. แบบประเมินแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยี สารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการ เรียนรู้ด้วยตนเอง เป็นแบบประเมิน 5 ด้าน โดยใน แต่ละด้านมีลักษณะเป็นการประเมินโดยใช้แบบ มาตรฐานประมาณค่า (Rating Scale) โดย กำหนดเกณฑ์ เป็น 5 ระดับ

3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน มีลักษณะเป็นแบบเลือกตอบชนิด 4 ตัวเลือก โดยข้อคำถามตามวัตถุประสงค์จำนวน 30 ข้อ

4. แบบวัดทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง มีลักษณะเป็นแบบประเมินผู้เรียนเป็นรายบุคคล โดยรายการประเมินมีจำนวน 6 รายการที่เท่ากับจำนวนแบบฝึกทักษะ สำหรับเกณฑ์การให้คะแนนผู้วิจัยสร้างเป็นเกณฑ์รูบริค 3 ระดับ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจัดการเรียนรู้ให้กับกลุ่มตัวอย่างตามแผนการจัดการเรียนรู้และแบบฝึกทักษะที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีวิธีการดำเนินการดังนี้

1. ทำการทดสอบก่อนเรียนกับกลุ่มตัวอย่างโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

2. ดำเนินการทดลองใช้แบบฝึกทักษะตามกระบวนการและกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ที่ได้กำหนดไว้ตามแผนการจัดการเรียนรู้ทั้ง 6 แผน โดยผู้วิจัยชี้แจงให้กลุ่มตัวอย่างให้เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้แบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้น โดยใช้เวลาในการทดลอง 6 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน วันละ 4 ชั่วโมง รวมทั้งหมด 24 ชั่วโมง ซึ่งในแต่ละสัปดาห์หลังจากที่ผู้เรียนได้ฝึกทักษะตามแบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้นแล้ว ผู้สอนดำเนินการประเมินทักษะของผู้เรียนด้วยแบบวัดทักษะฯ ที่สร้างขึ้น

3. เมื่อดำเนินการทดลองตามกระบวนการจัดการเรียนรู้ครบทั้ง 6 แผนการจัดการเรียนรู้แล้วให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบหลังเรียนโดยใช้แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

4. นำคะแนนที่ได้จากการทดสอบก่อนเรียนและหลังเรียนของกลุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการวิจัยและอภิปรายผล

5. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ 1) ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ใช้วิเคราะห์ความเหมาะสมของแบบฝึกทักษะฯ ที่

สร้างขึ้น 2) วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยแบบทักษะที่สร้างขึ้นด้วยสถิติ E_1/E_2 3) ค่าดัชนีประสิทธิภาพ (E.I.) ใช้วิเคราะห์พัฒนาการด้านทักษะของกลุ่มตัวอย่าง 4) วิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยสถิติ t-test

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. ผลการประเมินความเหมาะสมของแบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน พบว่า มีความเหมาะสมอยู่ที่ระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.68$, S.D.= 0.52)

2. การทดลองใช้แบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักเรียนระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูล โดยพัฒนาแผนการจัดการเรียนรู้ที่ออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง ซึ่งมีจำนวนทั้งหมด 6 แผนการจัดการเรียนรู้ ซึ่งผลการวิจัย พบว่า ประสิทธิภาพของแบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงประสิทธิภาพแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง

รายการ	คะแนนเต็ม	คะแนนเฉลี่ย	ร้อยละ
แบบฝึกระหว่างเรียน	30	24.14	84.81(E_1)
แบบทดสอบหลังเรียน	30	23.87	82.89(E_2)

จากตารางที่ 1 พบว่า คะแนนเฉลี่ยของแบบฝึกหัดระหว่างเรียนคิดเป็นร้อยละได้เท่ากับ 84.81 คะแนนเฉลี่ยของแบบทดสอบหลังเรียน คิดเป็นร้อยละได้เท่ากับ 82.89 แสดงว่า แบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพ 84.81/82.89 ซึ่งผลการทดลอง

ถือว่าแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

1. การทดสอบหาค่าดัชนีประสิทธิผลของการใช้แบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น โดยพิจารณาจากพัฒนาการของผู้เรียนจากคะแนนก่อนเรียน และคะแนนหลังเรียน พบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.6969 แสดงว่า ผู้เรียนมีทักษะและความสามารถด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 69.69 ซึ่งทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมของกลุ่มตัวอย่างที่เกิดขึ้นจากการเรียนรู้ด้วยแบบฝึกทักษะที่สร้างขึ้น

แบบฝึกทักษะ	ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม
เรื่องที่ 1 การออกแบบระบบงานฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมตารางการทำงาน (MS Excel)	ทักษะการใช้โปรแกรมตารางการทำงาน (MS Excel) ในการสร้างฐานข้อมูล
เรื่องที่ 2 การกำหนดสูตรสมการเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล	ทักษะการสร้างสูตรสมการเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมตารางการทำงาน (MS Excel)
เรื่องที่ 3 การอ้างอิงและเชื่อมโยงข้อมูลด้วยฟังก์ชัน Vlookup	ทักษะการใช้งานโปรแกรมตารางการทำงาน (MS Excel) ในการอ้างอิงและเชื่อมโยงข้อมูลในฐานข้อมูลต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์กัน
เรื่องที่ 4 การเรียกใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ในโปรแกรมตารางการทำงานเพื่อการคำนวณ	ทักษะการใช้ฟังก์ชันต่าง ๆ ในโปรแกรมตารางการทำงานในการคำนวณประมวลผล เช่น ฟังก์ชันหาค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ ค่าวงเงินกู้สวัสดิการ เป็นต้น

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เรื่องที่ 5 การสร้างแบบรายงาน (Report)	ทักษะการสร้างแบบรายงาน (Report) ด้วยโปรแกรมตารางการทำงาน
เรื่องที่ 6 การประยุกต์ใช้งานโปรแกรมตารางการทำงานเพื่อการจัดการงานด้านอุตสาหกรรม	ทักษะการประยุกต์ใช้โปรแกรมตารางการทำงาน (MS Excel) เพื่อการจัดการงานด้านอุตสาหกรรม เช่น การสร้างใบเสนอราคาสินค้าจากข้อมูลในฐานข้อมูล เป็นต้น

2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ด้วยสถิติ t-test พบว่า คะแนนทดสอบหลังเรียน (Posttest) สูงกว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pretest) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนด้วยแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้นด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง

รายการ	n	($\bar{X}$)	(S.D.)	t-test	Sig
(Pretest)	30	9.77	2.25	27.324*	0.00
(Posttest)	30	25.00	3.11		

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบคะแนนทดสอบก่อนเรียน (Pretest) กับคะแนนทดสอบหลังเรียน (Posttest) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า ค่า t-test มีค่าเท่ากับ 27.324 ซึ่งมากกว่า ค่า t ที่ได้จากตารางที่ตำแหน่ง $\alpha = .05$ และ $df = 30-1$ ค่า t มีค่า 1.6991 และค่า Sig ที่ได้จากการคำนวณมีค่าเท่ากับ .00 ซึ่งน้อยกว่าค่า $\alpha = .05$ ดังนั้นยอมรับ H_1 แสดงว่าการเรียนรู้ตามรูปแบบฯ ที่พัฒนาขึ้น สามารถทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดการเรียนรู้และมีทักษะและความสามารถด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น

สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยเรื่อง พัฒนาแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษา ระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา สามารถสรุปผลและอภิปรายผลได้ดังนี้

1. จากผลการประเมินความเหมาะสมของแบบฝึกทักษะฯ ที่สร้างขึ้น พบว่า มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X} = 4.68$) อาจเนื่องมาจากแบบฝึกทักษะฯ ที่สร้างขึ้นได้ผ่านกระบวนการขั้นตอนการสร้างอย่างเป็นระบบและใช้วิธีการจัดการเรียนรู้ที่เหมาะสม คือ ศึกษาหลักสูตร หลักการทฤษฎี เทคนิค วิธีการปฏิบัติ ที่เป็นแนวทางและประโยชน์ต่อการสร้างแบบฝึกทักษะ โดยคำนึงถึงหลักการสร้างและความสัมพันธ์ สอดคล้องและส่งเสริมซึ่งกันและกัน เช่น จุดประสงค์การเรียนรู้ กิจกรรมการเรียนรู้ เนื้อหาสาระ ตัวอย่าง การวัดและประเมินผล เป็นต้น นอกจากนี้ การดำเนินการสร้างยังได้รับข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญทุกขั้นตอนและปรับปรุงแก้ไขตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

2. ประสิทธิภาพของแบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีประสิทธิภาพ 84.81/82.89 ซึ่งผลการทดลองถือว่าแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ มีประสิทธิภาพสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ตามเกณฑ์ 80/80 ซึ่งผลการวิจัย สอดคล้องกับ วารุณี สุขชูเจริญกิจ (2556) ได้ทำการศึกษาผลการใช้แบบฝึกทักษะการเขียนภาษาอังกฤษโดยใช้แผนผังความคิด สำหรับนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 4 พบว่า แบบฝึกทักษะฯ ที่สร้างขึ้น มีประสิทธิภาพ 81.58/78.33 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่ตั้งไว้ คือ 75/75

3. ผลการวิเคราะห์ดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าดัชนีประสิทธิผลของแบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น มีค่าเท่ากับ 0.6969 แสดงว่า ผู้เรียนมีทักษะและความสามารถด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 69.69 ดังนั้น แสดงว่า แบบฝึกทักษะฯ ที่พัฒนาขึ้น ทำให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้และมีทักษะในด้านการปฏิบัติการด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าแบบฝึกทักษะฯ มีประโยชน์ต่อการเรียนรู้เป็นอย่างมากทำให้ผู้เรียนเกิดผลสำเร็จได้ สอดคล้องกับแนวคิดของ มณฑกร เจริญรักษา (2552) ที่กล่าวว่า แบบฝึกเป็นประโยชน์ทั้งต่อผู้เรียนและครู ในด้านครูจะช่วยลดภาระในการสอน ช่วยประหยัดเวลา เป็นเครื่องมือวัดผลการเรียนหลังจากเรียนจบบทเรียนแต่ละครั้ง ช่วยให้ครูมองเห็นปัญหาของผู้เรียนแต่ละคน ข้อบกพร่องในการสอน ทางด้านผู้เรียนนั้น แบบฝึกช่วยแก้ปัญหาความแตกต่างระหว่างบุคคล ช่วยในการฝึกทักษะต่าง ๆ ให้เกิดความชำนาญ และแก้ปัญหาการขาดแคลนสื่อ แบบฝึกจะช่วยให้ผู้เรียน ได้แก้ไขข้อบกพร่องของตนเอง เป็นสิ่งสำคัญในการให้ผู้เรียนได้ทบทวนความรู้ ช่วยให้ผู้เรียนทราบความสามารถในการเรียน และตรวจสอบความก้าวหน้าในการเรียน และเป็นแรงจูงใจที่จะทำให้ผู้เรียนประสบผลสำเร็จในการเรียน

4. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนโดยใช้แบบฝึกทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรม ด้วยกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเอง สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่า คะแนนสอบหลังเรียนมากกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แสดงว่าการเรียนรู้ตามรูปแบบฯ ที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้กลุ่มตัวอย่างเกิดการเรียนรู้และมี

ทักษะและความสามารถด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการจัดการอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยในครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์จากผู้บริหาร คณาจารย์ และบุคลากรหลาย ๆ ฝ่ายในคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ขอขอบพระคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ตลอดจนผู้บริหารสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2562

References

Montanakorn Charoenkit. (2009). *Development of creative writing skills training for grade 6 students*. (Master's thesis). Curriculum and supervision Graduate School: Silpakorn University.

Sineemas Chokiri and Tintapa Ratchapreut (2007). Human Development Strategy for the Office of the Public Sector Development Commission (Public Organization). *SDU Research Journal*, 3(3), 82- 94.

The Office of the Education Council. (2011). *The country's manpower development and development strategy during the education reform in the second decade 2009-2018*. Bangkok: ONEC.

The Office of the Higher Education Commission. (2009). *Ministry of Education Announcement regarding the National Higher Education Qualifications Framework 2009*.

The Office of the National Education Commission. (2002). *National Education Act BE. 1999 and amended (No. 2) 2002*. Bangkok: Graphic Sweet Pepper.

Warunee Sukchucharoenkit. (2013). *The results of using English writing skills training using conceptual maps for grade 4 students*. (Master of Education thesis). In Curriculum and Instruction Buriram Rajabhat University.

Wipada Wattanamanakul. (2008). *Personnel development guidelines and raise the potential of personnel in the Office of the Medical Services System Emergency Ministry of Public Health and the collateral office National Health Principles of emergency medical service system development*. Khon Kaen: Khon Kaen.

การเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต

วรัญ วงศ์ประชุม

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

Email : warun.w@rmutsb.ac.th

Received: Aug 28, 2019

Revised: Oct 25, 2019

Accepted: Nov 7, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและตรวจหาคุณสมบัติการทำงานของสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ ชนิดคริสตัลไลเซชัน โดยขอบเขตในงานวิจัยนี้ได้แก่ การตรวจหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร จากวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะทาลงที่ผิวด้านบนสุดของคอนกรีต และทำการทดสอบหาค่าการดูดซึมของน้ำในเนื้อคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ เพื่อประเมินและตรวจวัดคุณสมบัติของวัสดุกันซึม ผลการทดสอบพบว่า การเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีตจึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นโดยการลดช่องว่างในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย

คำสำคัญ : วัสดุกันซึมแบบซีเมนต์, คริสตัลไลเซชัน, การต้านทานการซึมผ่านของน้ำ, การดูดซึมน้ำ, ความคงทนของคอนกรีต

The Crystallization of Cement Waterproofing Coated on Concrete Surface

Warun Wongprachum

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

Email: warun.w@rmutsb.ac.th

Received: Aug 28, 2019

Revised: Oct 25, 2019

Accepted: Nov 7, 2019

Abstract

This study aims to evaluate and detect the chemical properties in the crystallization of cement waterproofing material. The scope of this study is to examine the properties of the crystalline layers underneath 1 m of structural concrete which uses crystallization cement waterproofing by coating on the concrete surface. The water absorption of concrete at different depths were tested to evaluate and measure the waterproofing properties. From the test, the crystallization occurred to fill voids and small cracks in the concrete. Therefore, water cannot permeate through the concrete specimen via voids and cracks, which increases the density of the concrete specimen. As a result, the water absorption property is decreased.

Keywords : Cement Waterproofing, Crystallization, Waterproofing, Water Absorption, Durability of Concrete

บทนำ

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเชิงกลตามต้องการ สามารถทำได้ง่ายและให้ผลที่ค่อนข้างชัดเจนต่อความมั่นใจในการออกแบบใช้งาน แต่คุณสมบัติด้านความคงทนของคอนกรีตค่อนข้างมีความซับซ้อน เนื่องจากสภาพแวดล้อมจริงที่คอนกรีตสัมผัสมีปัจจัยหลายอย่างส่งผลต่อการทำลายและไม่สามารถควบคุมได้ (F.Q. Zhao, H. Li and S.J. Liu, 2011, pp. 2635-2638) เช่น โครงสร้างคอนกรีตที่สัมผัสกับน้ำและความชื้นสูง ส่งผลให้ความคงทนของคอนกรีตลดลง เนื่องจากการซึมผ่านของน้ำที่จะเข้าทำลายเหล็กเสริมส่งผลให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างได้ (S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin, 2002) การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยการใช้วัสดุปอซโซลานที่มีคุณภาพดี เช่น เถ้าถ่านหินซิลิกาฟูม หรือเถ้าชีวมวลบดละเอียด ให้ผลไปในทิศทางที่ดีและสามารถเพิ่มการป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ ดังตัวอย่างงานวิจัย N. Benthia and S. Mindess, (1989, pp. 727-736) ได้ศึกษาหาค่าการซึมผ่านน้ำของซีเมนต์เพสต์โดยการศึกษาใช้ ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และ 3 โดยจะมีการเปรียบเทียบการผสมซิลิกาฟูม การให้ความดันน้ำเป็นลักษณะแรงอัดสามแกน การหาการซึมผ่านน้ำจะแสดงในรูป ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต จากสมการของดาร์ซี สามารถสรุปได้ว่าค่าการซึมผ่านน้ำจะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปฏิกิริยาไฮเดรชัน หรือระยะเวลาการบ่ม และการผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 10-15 สามารถลดค่าการซึมผ่านน้ำได้ และในปีเดียวกัน D. Ludirdja, R.L. Berger and J.F. Young, (1989, pp. 433-439) ได้ศึกษาวิธีการและเครื่องมือในการหาค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีต โดยผลการศึกษาการหาค่าการซึมผ่านน้ำจะแสดงในรูปของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำของคอนกรีต สามารถสรุปได้ว่าผลของการซึมผ่านน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจาก

ตัวอย่างรับกำลังอัด ร้อยละ 75 ของกำลังอัดประลัย และผลของการผสมซิลิกาฟูมจะลดค่าการซึมผ่านน้ำได้

ในปัจจุบันการใช้สารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมก็เป็นอีกทางเลือกที่มีอยู่แพร่หลายในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย แต่หากผลของการศึกษาด้านคุณสมบัติสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดมากนัก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินและตรวจหาการเกิดผลึกคริสตัลไลเซชันของสารเคมีในรูปแบบวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต
2. เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของวัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ในลักษณะการทาลงบนพื้นผิวคอนกรีต

ระเบียบวิธีวิจัย

1. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

ส่วนนี้กล่าวถึงวัสดุและเครื่องมือทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงขั้นตอนการทดสอบการตรวจหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร

- 1.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยและสัดส่วนผสมคอนกรีต

วัสดุกันซึมที่นำมาวิจัย ชนิดตกผลึก (Integral Crystalline Concrete Waterproofing) สำหรับทาลงบนพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยอัตราส่วนที่ใช้ 1.6 กิโลกรัม ต่อ ตารางเมตร ทาลงที่ผิวด้านบนสุดของตัวอย่างคอนกรีตที่มีอายุ 3 วัน



รูปที่ 1 วัสดุกันซึม ชนิด ตกผลึก

การออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต โดยกำหนดค่ากำลังอัดประลัยที่ 28 วัน เท่ากับ 32 MPa ทรงกระบอก อัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.54 ค่าการยุบตัวอยู่ที่ 7.5 - 12.5 เซนติเมตร ตลอดการวิจัย และแสดงส่วนผสมคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 1

โดยกำหนดชื่อเรียกตัวอย่าง ดังนี้ ตัวอย่างที่ไม่ได้ทาวาสตูกันซึมจะเรียกว่า ตัวอย่างควบคุม (Control) และตัวอย่างที่ทาวาสตูกันซึมจะเรียกว่า ตัวอย่างคริสตัลไลเซชัน (Crystallization)

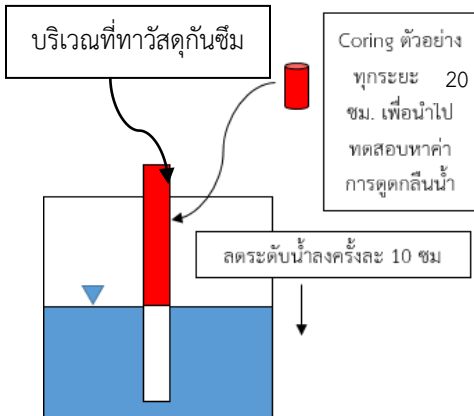
ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมคอนกรีต

Mix Proportion (kg/m ³)			
Cement	Water	Aggregate	
		Fine	Coarse
362	196	870	1,010

1.2 ขั้นตอนการวิจัย

หลังจากที่ทาวาสตูกันซึมบริเวณผิวด้านบนสุดของตัวอย่างทดสอบขนาด กว้าง 20 เซนติเมตร หนา 20 เซนติเมตร และ สูง 120 เซนติเมตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมงแล้ว ให้นำตัวอย่างไปแช่น้ำ ตามรูปที่ 2 และรูปที่ 3 แล้วทำการลดระดับน้ำลงชั้นละ 10 เซนติเมตร โดยแต่ละชั้นจะใช้เวลา ห่างกันประมาณ 4 วัน เพื่อให้เกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชัน (ตาม

ทฤษฎีกลไกการสร้างชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันจะเคลื่อนตัวตามระดับน้ำ (C. Michael, B.H.G. Zhang and X. Jun. 2016, pp. 1-37) ในแต่ละชั้นที่ลดระดับน้ำลงจะวัดค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ที่ระยะทาง 20 เซนติเมตร เท่ากับความหนาของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C597 ตามรูปที่ 3 เพื่อตรวจสอบสภาวะการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชัน เทียบกับตัวอย่างควบคุม (Control) จนไปถึงระยะ 100 เซนติเมตร โดยจะควบคุมสภาวะของตัวอย่างให้อยู่ในลักษณะอิมมัวผิวแห้ง และอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส ในขณะที่ทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกทุกชั้นตัวอย่างทดสอบ เพื่อลดผลกระทบในการอ่านค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกให้น้อยที่สุด และหลังจากนั้นจะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต ด้วยเครื่องคว้านเจาะ (Coring) ทุก ๆ 20 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร และมีความยาว 20 เซนติเมตร ตามรูปที่ 4 หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยนำตัวอย่างมาแช่ในภาชนะที่มีน้ำสะอาดทิ้งไว้อย่างน้อย 48 ชั่วโมง เช็ดตัวอย่างให้อยู่ในสภาพอิมมัวผิวแห้งแล้วนำมาชั่งเป็นค่าน้ำหนักเปียก จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างมาชั่งได้ ค่าน้ำหนักอบแห้ง แล้วคำนวณหา ปริมาณและอัตราการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 2 การเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่ทาวัดคลื่นซึ่มแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลน์



รูปที่ 3 แท่งคอนกรีตที่ทาวัดคลื่นซึ่มที่ผิวบน ในขณะที่แช่น้ำและวัดค่าความหนาแน่นด้วย UPV ที่ระยะทาง 20 เซนติเมตร



รูปที่ 4 แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่คว้านเจาะ (Coring) ทุก ๆ 20 เซนติเมตร

2. มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

2.1 การตรวจสอบความหนาแน่นของคอนกรีตด้วยวิธี Ultrasonic Pulse Velocity Test
วิธีการนี้ เป็นการตรวจสอบคุณภาพคอนกรีต โดยค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกในคอนกรีตมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของคอนกรีต ถ้าคอนกรีตมีความหนาแน่นสูงคลื่นจะสามารถเดินทางผ่านคอนกรีตได้เร็ว และจากการวัดความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก ผลของความเร็วคลื่นอัลตราโซนิกสามารถนำมาเปรียบเทียบถึงคุณภาพคอนกรีตได้ ซึ่งจะอาศัยหลักการของการส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ผ่านเข้าไปในตัวกลางเนื้อคอนกรีตที่ต้องการทดสอบ แล้ววัดเวลาที่คลื่นความถี่สูงใช้ในการเคลื่อนที่จากหัวส่งสัญญาณไปยังหัวรับสัญญาณ นำมาคำนวณหาค่าความเร็วคลื่น (Pulse Velocity) ในตัวกลางนั้น ๆ โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C597 หรือ BS1881 Part 203

2.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำในคอนกรีตเป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C642 โดยนำตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะเก็บด้วยเครื่อง Coring ทุก ๆ 20 เซนติเมตร ไปแช่น้ำเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก จดบันทึกค่าไว้ จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักบันทึกค่า

2.3 การทดสอบลักษณะพื้นฐานของวัสดุวิจัย

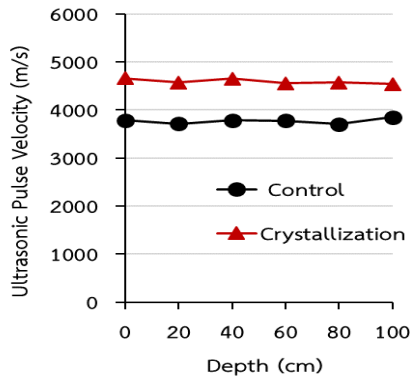
การถ่ายภาพขยายกำลังสูงโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เป็นการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของ ตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยเทคนิค Energy Dispersive Spectrometry (EDS) เป็นเครื่องมือตัวหนึ่งที่อยู่ในระบบของ SEM สำหรับใช้วิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณ X-Ray จากสารตัวอย่าง

ผลการวิจัย

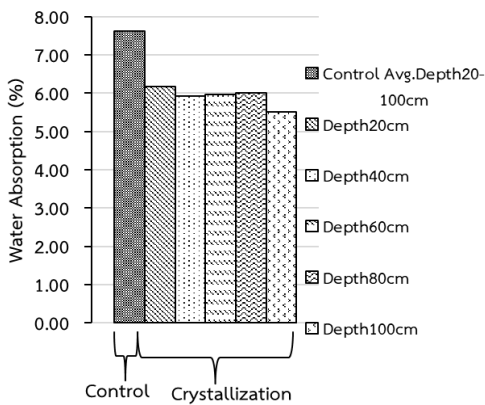
ผลทดสอบหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลโลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร หลังจากนำแท่งคอนกรีตที่ท้าวสดก้นซิมที่ผิวด้านบนสุดของตัวอย่างทดสอบไปแช่น้ำ แล้วทำการลดระดับน้ำลงชั้นละ 10 เซนติเมตร (โดยแต่ละชั้นจะใช้เวลาในการสร้างผลึกประมาณ 4 วัน) เพื่อให้เกิดชั้นผลึกคริสตัลโลเซชันในแต่ละชั้นที่ลดระดับน้ำลง และจะวัดค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) หลังจากการสร้างผลึกแล้วประมาณ 4 วัน พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่ท้าวสดก้นซิมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชัน (Crystallization) มีค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกมากกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control) ทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกอยู่ที่ 4,584 m/s และ 3,769 m/s ตามลำดับ ในอัตราที่เร็วกว่า 1.21 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นผลมาจากกลไกการเกิดชั้นผลึกคริสตัลโลเซชันในเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (CH) จะถูกชะล้างให้ละลายตัวออกมาในช่องว่างโพรงอากาศ (Air Voids) โพรงคาพิลลารี (Capillary Pores) รอยร้าวขนาดเล็กระดับไมโคร (Micro Crack) และเมื่อวัสดุกันซึมที่มีสารประกอบในรูปแบบโพลิเมอร์เข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กที่มีสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายตัวอยู่ จะเกิดการจับตัวทำปฏิกิริยารสร้างผลึกคริสตัลโลเซชันอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตบริเวณที่สร้างขึ้นผลึกคริสตัลโลเซชันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น (Z.M. Nasiru, K.M. Ali, Z.A.M. Majid and S. Arezou,

2015, pp. 80-90) ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกมีความรวดเร็วในวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงกว่า (U.M. Tarek and R. Nafiur, 2016, pp. 832-841) และการสร้างขึ้นผลึกคริสตัลโลเซชันสามารถสร้างได้ถึงที่ระยะ 1 เมตร ตามการลดระดับของน้ำ

เมื่อทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกเสร็จสิ้นแล้วก็ได้ทราบผลการเกิดชั้นผลึกคริสตัลโลเซชันในเนื้อคอนกรีตเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยเครื่อง Coring ทุก ๆ 20 เซนติเมตร นำตัวอย่างคอนกรีตไปทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ ผลการทดสอบ พบว่า ตัวอย่างคอนกรีตที่ท้าวสดก้นซิมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชัน มีค่าการดูดซึมน้ำที่น้อยกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม ทุกระดับความลึก โดยมีค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 5.91% (Crystallization) และ 7.61% (Control) ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่างคอนกรีตควบคุมจะมีค่าการดูดซึมน้ำที่ระดับความลึก 20 - 100 เซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำไม่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นผลมาจากการเกิดชั้นผลึกคริสตัลโลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีตจึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย (M. Ernesto, G. Guillermo, R. Pedro and C. Erick, 2019, pp. 210-218) จากผลการทดสอบในส่วนนี้มีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก การเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกมีความเร็วในวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำต่ำเช่นกัน

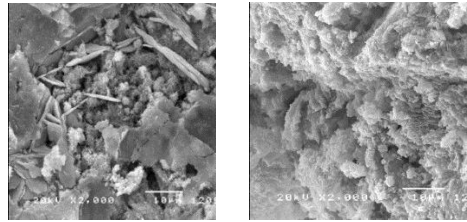


รูปที่ 5 ผลการทดสอบค่าความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ



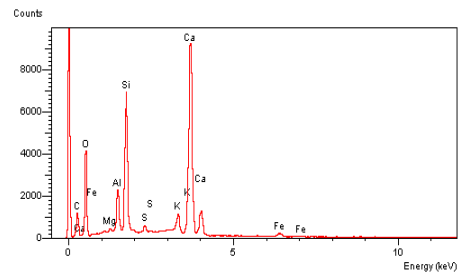
รูปที่ 6 ผลการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ

การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบการถ่ายภาพขยายกำลังสูงโดยใช้เครื่อง SEM และการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS โดยจะเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์แบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชัน ที่ระยะ 1 เมตร มีผลึกคริสตัลโลเซชัน และผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) เกิดขึ้นหนาแน่นกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 7

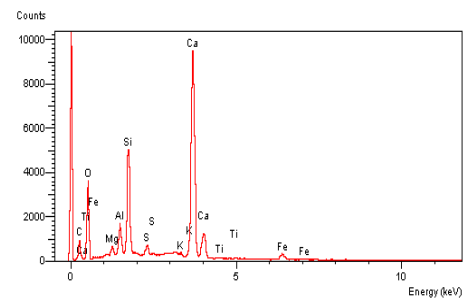


รูปที่ 7 ภาพถ่ายขยายกำลังสูง

(ก) Control (ข) Crystallization @ 1 m



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 ผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค (EDS)

(ก) Control (ข) Crystallization @ 1 m.

จากผลการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDS พบว่า คอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์แบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชัน (Crystallization) ที่ระยะ 1 เมตร พบสารประกอบไทเทเนียม (Ti) ซึ่งเป็นสารประกอบโลหะทรานสิชันในปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์ (วัสดุกันซึมแบบซีเมนต์ชนิดคริสตัลโลเซชันจัดอยู่ในรูปแบบพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่ง) (L. Mandelkern, 1964), (C. Michael, B.H.G. Zhang

and X. Jun, 2016, pp. 1-37), (P. Vanessa et al., 2016, pp. 3671-3679) แต่ในตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control) ไม่พบสารประกอบไทเทเนียม (Ti) ดังแสดงในรูปที่ 8 จึงสามารถพิจารณาผลทดสอบได้ว่าตัวอย่างคอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน มีการสร้างผลึกคริสตัลไลเซชันขึ้นจริงในเนื้อคอนกรีต และมีผลที่สอดคล้องกับผลทดสอบความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) ผลทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำ และจากผลการทดสอบคุณสมบัติการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตของวัสดูกันซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชันนั้น

สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบหาคุณสมบัติชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันในเนื้อโครงสร้างคอนกรีตถึงระยะ 1 เมตร ผลมาจากการเกิดชั้นผลึกคริสตัลไลเซชันที่สร้างผลึกอุดปิดช่องว่างโพรงและรอยร้าวขนาดเล็กในเนื้อคอนกรีต จึงทำให้น้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในเนื้อตัวอย่างคอนกรีตผ่านทางช่องว่างโพรงและรอยร้าวได้ ซึ่งเป็นการเพิ่มความหนาแน่นในเนื้อตัวอย่างคอนกรีต ส่งผลให้มีปริมาณการดูดซึมน้ำต่ำไปด้วย และมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับการทดสอบหาค่าความหนาแน่นด้วยความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก (UPV) เมื่อการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกมีความรวดเร็วในวัสดูกันซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้อัตราการดูดซึมน้ำต่ำเช่นกัน ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นเพิ่มขึ้นในเนื้อตัวอย่างคอนกรีต และจากภาพถ่าย SEM และ EDS ของคอนกรีตที่ทาว์สดูกันซีเมนต์ชนิดคริสตัลไลเซชัน ที่ระยะ 1 เมตร มีการสร้างผลึกคริสตัลไลเซชัน และผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (CSH) เกิดขึ้นหนาแน่นกว่าตัวอย่างคอนกรีตควบคุม (Control)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัท เพนตรอน (ไทยแลนด์) จำกัด และ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี พระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัย

References

- ASTM C597 – 16. *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.*
- ASTM C642 – 13. *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete.*
- C. Michael, B.H.G. Zhang and X. Jun. (2016). A Review on Polymer Crystallization Theories. *Crystals Journal.* 2016(7), pp. 1-37.
- D. Ludirdja, R.L. Berger and J.F. Young. (1989). Simple Method for Measuring Water Permeability of Concrete. *ACI Materials Journal*, 1989 (86), pp. 433-439.
- F.Q. Zhao, H. Li and S.J. Liu. (2011). Preparation and Properties of an Environment Friendly Polymer-Modified Waterproof Mortar. *Construction and Building Materials.* 2011 (25), pp. 2635-2638.
- L. Mandelkern. (1964). *Crystallization of Polymers*, New York : Mc Graw – Hill.
- M. Ernesto, G. Guillermo, R. Pedro and C. (2019). Control of Water Absorption in Concrete Materials by Modification With Hybrid Hydrophobic Silica Particles. *Construction and Building Materials.* 2019 (221), pp.210-218.

- N. Benthia and S. Mindess. (1989). Water Permeability of Cement Paste. *Cement and Concrete Research*, 1989 (19), pp. 727-736.
- P. Vanessa, C.B. Mirna, G. Rudy, F.B. Marie, M. Philippe and B. Samuel. (2016). Polymer-Derived Si-C-Ti Systems : From Titanium Nanoparticle-Filled Polycarbosilanes to Dense Monolithic Multi-Phase Components With High Hardness. *Journal of the European Ceramic Society*. 2016 (36), pp. 3671-3679.
- S. Mindess, J. F. Young and D. Darwin. (2002). *Concrete* (2nd ed). New Jersey : Pearson Education.
- U.M. Tarek and R. Nafiur. (2016). Effect of Types of Aggregate and Sand-to-Aggregate Volume Ratio on UPV in Concrete. *Construction and Building Materials*. 2016 (125), pp. 832-841.
- Z.M. Nasiru, K.M. Ali, Z.A.M. Majid and S. Arezou. (2015). Waterproof Performance of Concrete : A Critical Review on Implemented Approaches. *Construction and Building Materials*. 2015 (101), pp. 80-90.

The Study on Physical Characteristics of Water Hyacinth Fibers by Scanning Electron Microscopy

Apichote Urantinon

School Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of
Technology Suvarnabhumi, Thailand.

Email : apichote.u@rmutsb.ac.th

Received: Oct 7, 2019

Revised: Dec 11, 2019

Accepted: Dec 17, 2019

Abstract

This study investigated the physical properties of water hyacinth fibers. The sources of samples in this study are 3 areas: (1) Klong-Rangsit Pathumthani Province, (2) Klong-Phasicharoen Bangkok and (3) Khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province. The steps of study are carving water hyacinth by mechanical methods and investigate the physical properties of water hyacinth fibers by scanning electron microscopy (SEM). For a primary study, the water hyacinth fiber extraction was done using the mechanical method. It combined with the preliminary method using the semi-automatic mechanical extraction machine. The sizes of water hyacinth fibers in three sources are similar since this method using mechanical force was roller grinding; this allowed successful production. Next, the water hyacinth fiber was examined by microscopy at 150x, 500x, 750x and 1,000x. The mechanical extraction method is a group of fibers that are clustered together. The surfaces of fiber were uneven distribution and fiber-like tubular pipe several thousand units per single fiber. In addition, a hollow porous massively complex and the surface of the fiber is similar to a group of tubes with a cluster on a single fiber unit. Furthermore, the surface of the fiber by the similar pipes arranged in an orderly manner. When viewing the image in single transverse fibers, visual appearance across the single fiber is hollow, porous, high density complex. This is a great feature of the fibers in which can retain air better. From the above results gave a clearly visual.

Keywords : Water hyacinth Fibers; Scanning Electron Microscopy; Mechanical extraction Method; Tubular Pipe

Introduction

Water hyacinth is one of the fastest growing plants which commonly spread within streams and water areas. It is the native plant of South America Continent that was brought for cultivating in various places in North America, Australia, Africa, and Europe on an occasion of ornamental plants and flowers exhibition. In 1901, it was brought from Indonesia to Thailand since it has beautiful flowers Prapaiwong and Ruanteetep (1995) as shown in Figure 1. Later, it has been drastically spread in rivers and all water bodies around the country. Due to its ability in adaptation and reproduction, it causes various problems to the waterway, both the hydraulics and water quality issues (Saknimit, 1976).

Several researchers have investigated the effects of the aquatic plant on the flow, such as Urantinon et al. (2014) studied effect of water hyacinth density on flow velocity and suspended solid transport in open channel. Urantinon et al. (2015) studied effect of Water Hyacinth on Open-Channel Water Flow Behavior. Ghisalberti and Nepf (1997) investigated the effect of circular wooden submerged cylinders on the flow velocity. Urantinon (2019) studied ability of water hyacinth to absorb heavy metals. But, presently, the natural plant is likely to develop for green production by the technology of natural fibers for economic development. Natural fibers also have attracted attention as promising for use in

many fields as Chaichana (2012) studied effects of fiber types and weaving structures on the puncture resistance, Chand, N. and M. Fahim (2008) studied tribology of natural fiber polymer composites, Chonsakorn et al. (2018) investigated effects of different extraction methods on some properties of water hyacinth fiber, (Techapermphon, 2007) examined polymer composites with treated natural fibers from coconut Siengchin et al. (2017) applied Green Composites Use for Automotive Applications at KMUTNB. Sundari (2012) examined isolation and characterization of cellulose nano-fibers from the aquatic weed water hyacinth - Eichhornia Crassipes. From the above, all research is focusing on the natural fiber, from agricultural production, but aquatic plant as water hyacinth have not been studied widely since it seems not received attention. The development of natural fibers will add value to the waste material, and create products that are environmentally friendly. Thus, the objective of this study is to study physical characteristics of water hyacinth fibers by scanning electron microscopy (SEM).

Materials and Methodology

The materials is water hyacinth, the material resources were carried in 3 sources as (1) Khlong Rangsit, Pathum Thani Province (2) khlong Phasi-Charoen, Bangkok and (3) khlong Leb-Khlong-Papa,

Nonthaburi Province. The primary method was to remove water hyacinth from the sources, selected maturity materials, as shown in Figure 1, separated the roots and the leaves, and then cutting off the stems about 50 centimeter in length. The remaining part is the stem in which are separated the fibers by the semi-automatic mechanical extraction machine, as shown in Figure 2 and the mechanically extracted water hyacinth fiber bundles, as shown in Figure 3, were air dried at room temperature for 24 hours, as shown in Figure 4. The extraction mechanical method involves five-step process, as follows: (1) placing the stems in the machine, (2) fiber collection, (3) fiber tightening, (4) fiber scouring, and (5) fiber drying. One positive way of using mechanical force was roller grinding, in which produced fast and efficient results with low cost. Next, the physical properties were studied by scanning electron microscopy (SEM), as shown in Figure 5. The sample preparation for the SEM analysis was performed by coating the fiber with 10 nm of gold-colored sputtering coater using an Edward Sputter Coater apparatus for 5 minutes. The SEM image of fiber sample was recorded using a JEOL (Model 6390) electron micro-scope, with an accelerating voltage of 20 kv and a working distance of 15 mm. Next, the process of this microscope is studying and testing materials by sweeping the

electron beam on the surface and taking the signal to create an image. The images from the camera on SEM is high magnification and be able to distinguish the details examined microscopy at 150x, 500x, 750x and 1,000x in which is similar to virtual 3-dimensional depth-high. According to this process, it is possible to identify the characteristic of the surface clearly.



(a)



(b)

Figure 1 Preparation of fresh water hyacinth stems; (a) fresh water hyacinth from material sources, (b) the fresh water hyacinth stems.



Figure 2 The semi-automatic mechanical extraction machine.



Figure 3 The mechanically extracted water hyacinth fiber bundles.



Figure 4 The fresh water hyacinth fiber bundles, dried at room temperature for 24 hours.



Figure 5 Scanning Electron Microscopy (SEM).

Results

3.1 The primary results for the water hyacinth fiber extraction using the mechanical method

The primary results for the water hyacinth fiber extraction using the mechanical method, combined with the preliminary method using the semi-automatic mechanical extraction machine, the fiber size was reduced. Ordinarily, the fibers from 3 sources as, (1) Khlong Rangsit, Pathum Thani Province is about 0.74 mm, (2) Khlong Phasi-Charoen, Bangkok is about 0.68 mm and (3) Khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province is about 0.91 mm, respectively. The sizes of water hyacinth fibers in three sources are similar since this method using mechanical force was roller grinding; this allowed successful production, with the benefit of low cost. The water hyacinth fibers produced parallel fiber bundles, as shown in Figure 6a, 6b and 6c, respectively.



(a)



(b)



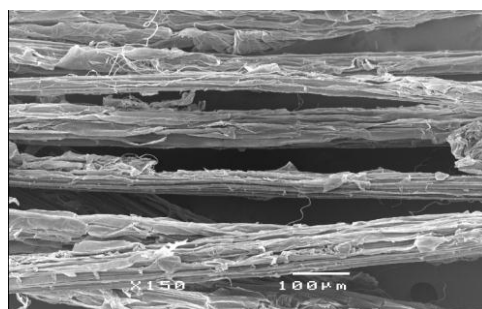
(c)

Figure 6 The dried water hyacinth fiber bundles, (a) The samples from Khlong Rangsit, Pathum Thani Province, (b) from Khlong Phasi-Charoen, Bangkok and (c) from Khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province.

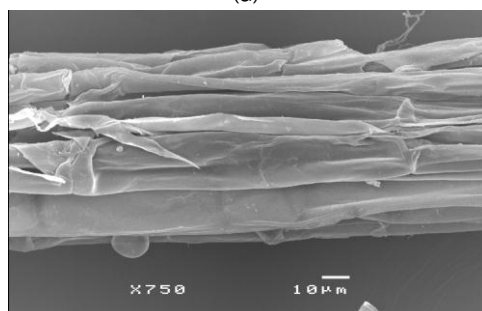
3.2 The secondary results for the physical characteristics of water hyacinth fibers by scanning electron microscopy (SEM)

The secondary results were studied the physical characteristics of water hyacinth fibers by scanning electron microscopy (SEM) at 150x, 500x, 750x and 1,000x. Next, ordinarily, the physical characteristics fibers from 3 sources are examined, as detail.

(1) Khlong Rangsit, Pathum Thani Province is shown in Figure 7a, 7b, 8a and 8b.

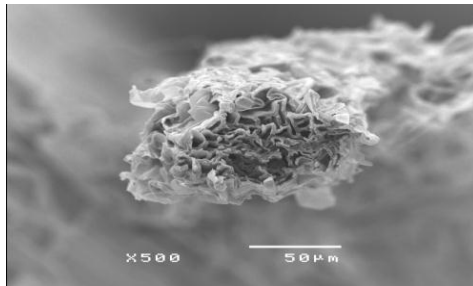


(a)

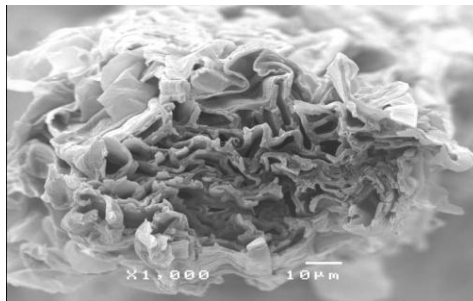


(b)

Figure 7 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) images of the length of the fiber (150X) and (b) image of the length of a single fiber (750X).



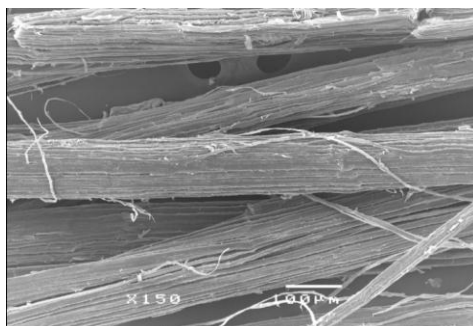
(a)



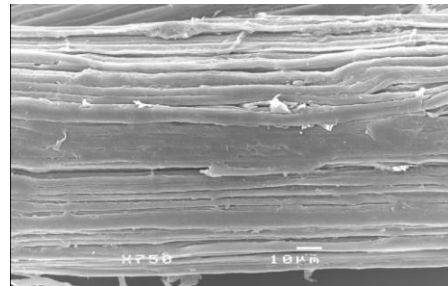
(b)

Figure 8 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) Cross section of fiber (500X) and (b) a cross section of the fiber (1,000X).

(2) Khlong Phasi-Charoen, Bangkok is shown in Figure 9a, 9b, 10a and 10b.

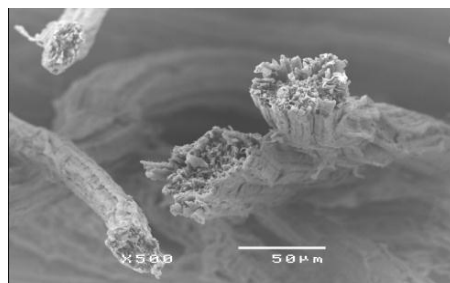


(a)

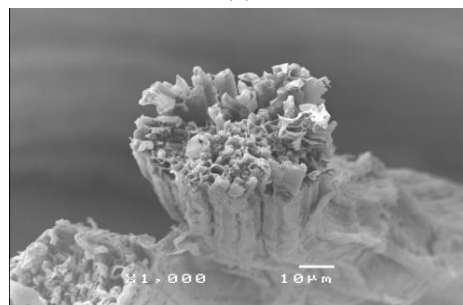


(b)

Figure 9 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) images of the length of the fiber (150X) and (b) image of the length of a single fiber (750X).



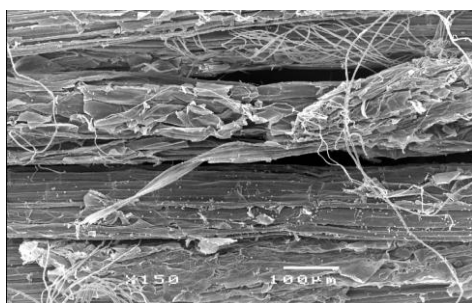
(a)



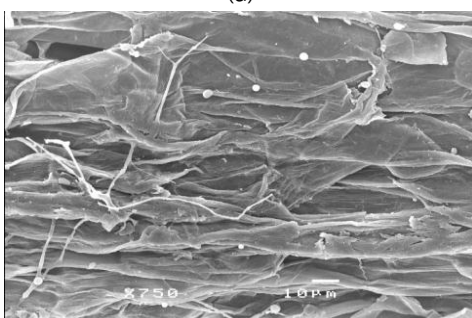
(b)

Figure 10 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) Cross section of fiber (500X) and (b) a cross section of the fiber (1,000X).

(3) Khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province is shown in Figure 11a, 11b, 12a and 12b, respectively.

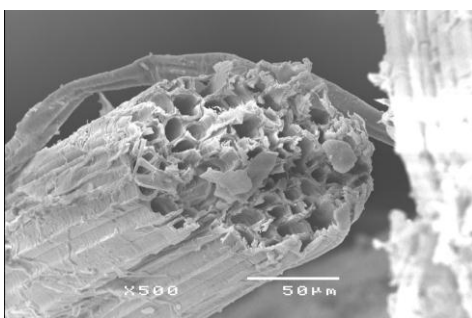


(a)

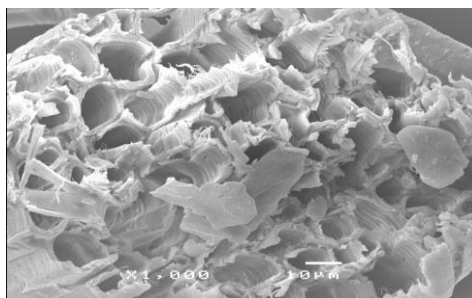


(b)

Figure 11 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) images of the length of the fiber (150X) and (b) image of the length of a single fiber (750X).



(a)



(b)

Figure 12 The physical characteristics of the water hyacinth fibers through extraction with the mechanical method characteristics of the image SEM (a) Cross section of fiber (500X) and (b) a cross section of the fiber (1,000X).

Discussions

The primary results for the water hyacinth fiber extraction using the mechanical method, combined with the preliminary method using the semi-automatic mechanical extraction machine, the fiber size was reduced. Ordinarily, the fibers from 3 sources as, (1) Khlong Rangsit, Pathum Thani Province, (2) khlong Phasi-Charoen, Bangkok and (3) khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province. The sizes of water hyacinth fibers in three sources are similar since this method using mechanical force was roller grinding; this allowed successful production, with the benefit of low cost.

The secondary results were studied the physical characteristics of water hyacinth fibers by scanning electron microscopy (SEM) at 150x, 500x, 750x and 1,000x. Next, ordinarily, the physical

characteristics fibers from 3 sources are examined.

The samples from Khlong Rangsit, Pathum Thani Province, shown in Figure 7 and Figure 8, the water hyacinth fibers through mechanical extraction methods were as showing the size of the fibers that are very detailed and very small and a group of fibers that are cluster in Figure 7 (a) fiber surface uneven distribution of natural fibers from plants and image of a single fiber in Figure 7 (b) the surface of the fiber by a clear tube that resembles a tangle of pipes per unit single fiber, as shown in Figure 8 (a). The image feature of a single fiber crosswise in Figure 8 (b) is a cavernous porous high-density complex. This is a great feature of the fibers can retain air better. The characteristics of water hyacinth fibers were large lumens representing air holes (Chonsakorn S et al., 2018).

The samples from Khlong Phasi-Charoen, Bangkok, shown in Figure 9 and Figure 10, the water hyacinth fibers were as a group of fibers that are clustered together in image 9 (a), the fiber surface is relatively smooth fibers with a beautiful arrangement of fibers in the same direction as possible and a single strand of a longitudinal image in Figure 9 (b), the surface of the fiber by the similar pipes arranged in an orderly manner. When viewing the image in single transverse fibers, as shown in Figure 10 (a) and 10 (b), a hollow porous massively complex.

The surface of the fiber is similar to a group of tubes with a cluster on a single fiber unit.

The sample from Khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province, shown in Figure 11 and Figure 12. The water hyacinth fibers were as a group of fibers that are clustered, as shown in Figure 11 (a), and similar together in image 7 (a) and 9 (a). The surface fibers are not smooth and quite rough. A longitudinal image of monofilaments in Figure 11 (b). The surface of the fiber as a pipe with a mess of overlapping units per single fiber, as shown in Figure 12 (a), is disorderly. When viewing the image across the monofilaments in Figure 12 (b) is a cavernous hole that is quite large and complexity.

Conclusions

The water hyacinth fiber extraction using the mechanical method, combined with the preliminary method using the semi-automatic mechanical extraction machine. The sizes of water hyacinth fibers are similar since this method using mechanical force was roller grinding; this allowed successful production, with the benefit of low cost.

The study of the physical properties of water hyacinth fibers, shows a result that 3 sources as, (1) Khlong Rangsit, Pathum Thani Province, (2) khlong Phasi-Charoen, Bangkok and (3) khlong Leb-Khlong-Papa, Nonthaburi Province. The

mechanical extraction method is a group of fibers that are clustered together. The surfaces of fiber were uneven distribution and fiber-like tubular pipe several thousand units per single fiber. In addition, a hollow porous massively complex and the surface of the fiber is similar to a group of tubes with a cluster on a single fiber unit. The surface of the fiber by the similar pipes arranged in an orderly manner. When viewing the image in single transverse fibers, visual appearance across the single fiber is hollow, porous, high density complex. This is a great feature of the fibers in which can retain air better. The fibers skin gave relatively smooth fibers with a beautiful arrangement of fibers in the same direction as possible and were uneven and quite rough with large hole. From the above results gave a clearly visual.

Funding

We would like to thanks to National Research council of Thailand for the financial support research “The ability of water hyacinth to absorb heavy metals”. Last, a researcher thanks Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi for providing us the place to study and research.

References

- Chand N. and Fahim M. (2008). *Tribology of Natural Fiber Polymer Composites*. (1st Edition). England: Woodhead Publisher.
- Chonsakorn S. Srivorradatpaisan S & Mongkholrattanasit R. (2018). Effects of different extraction methods on some properties of water hyacinth fiber: *Journal of Natural Fibers*. 2018 (15), p.1-11.
- Chaichana J. (2012). *Effects of Fiber Types and Weaving Structures on the Puncture Resistance*. (Master dissertation). Department of Materials Engineering. Faculty of Engineering. Prince of Songkla University.
- Ghisalberti M. & Nepf H M. (1997). The limited growth of vegetated shear-layers: *Journal of Water Resource Engineering*. 1997 (40). p.1-12.
- Prapaiwong C. & Ruanteetep R. (1995). Biology and ecology of water hyacinth. In *proceeding of 2nd National Plant Protection*. (p.14-22.) Chiangmai Province: Chiangmai University.
- Saknimit C. (1976). *The Study of Productivity of Water Hyacinth*. (Master dissertation). Department of Plant Science. Faculty of Science. Chulalongkorn University.
- Sundari M. (2012). Isolation and characterization of cellulose nano-fibers from the aquatic weed water hyacinth - Eichhornia Crassipes: *Journal of Natural Fibers*. 2012 (10): 625-35.
- Techapermphol S. (2007). *Polymer Composites with Treated Natural Fibers from Coconut*. (Master dissertation). Department of Materials Science and Engineering. Faculty of Engineering. Silpakorn University.

- Siengchin S. & Srisuk R. (2017). Applied Green Composites Use for Automotive Applications at KMUTNB. *Journal of KMUTNB*. 2017 (27). p.405-418.
- Urantinon A. & Pilailar S. (2014). Study of effect of water hyacinth density on flow velocity and suspended solid transport in open channel Laboratory scale. *In proceeding of 19th National Convention on Civil Engineering*. (p.301 – 315.) Khonkean Province: Khonkean University.
- Urantinon A. & Pilailar, S (2015). Effect of Water Hyacinth on Open-Channel Water Flow Behavior Laboratory Scale: *Kasetsart University Journal (Nature Science)*. 2015 (49), p.1 – 11.
- Urantinon A. (2019). The ability of water hyacinth to absorb heavy metals. *In proceeding of 6th National and International Research Conference*. (p.9-16). Pathumthani Province: Pathumthani University.

การพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

มานะ โสภ^{1*}, วรจักษ์ แสนโคตร¹, วัฒนา อิศาสตร์¹

สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

Email: manasopa@udru.ac.th

Received: Oct 20, 2019

Revised: Nov 19, 2019

Accepted: Nov 28, 2019

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท (2) เพื่อประเมินคุณภาพแอปพลิเคชัน โดยผู้เชี่ยวชาญ และ (3) เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือนักท่องเที่ยวในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท โดยการเลือกแบบบังเอิญ จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย แบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันจากผู้เชี่ยวชาญ และแบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชัน สถิติที่ใช้ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า (1) แอปพลิเคชันนำเที่ยวที่พัฒนาขึ้น มีฟังก์ชันหลักในการทำงาน ประกอบด้วย ฟังก์ชันการนำทาง, ฟังก์ชันกล้อง AR, ฟังก์ชันบริการข้อมูลจุดสำคัญ และฟังก์ชันติดต่อ/สอบถาม (2) ระดับคุณภาพของแอปพลิเคชันจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.54$, S.D. = 0.55) และ (3) ระดับความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อแอปพลิเคชันอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.65)

คำสำคัญ : แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน, แอปพลิเคชันระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์, เทคโนโลยีความจริงเสริม, เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่ง, อุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

Development of Travel Application on Smartphone Android Operating System: A Case Study of Phu Phrabat Historical Park

Mana Sopa^{1*}, Worrachak Saenkhot¹, Watthana Aisat¹

Department of Computer Education, Faculty of Education, Udon Thani Rajabhat University

Email: manasopa@udru.ac.th

Received: Oct 20, 2019

Revised: Nov 19, 2019

Accepted: Nov 28, 2019

Abstract

The purposes of this research were to (1) develop travel application using location-based service and augmented reality technology on smartphone android operating system, case study of Phu Phrabat Historical Park, (2) assess quality of the application by experts and (3) evaluate user satisfaction with the developed application. The samples used in this research were 30 tourists in Phu Phrabat Historical Park chosen accidentally. The research instruments consist of the quality assessment report for the experts and the questionnaire on user satisfaction with the application. Statistics used are the mean and standard deviation

The results found that (1) main functions of the developed application are navigation function, AR camera function, important point's data service and contact function, (2) assessed quality of this application from the experts was at a very good level ($\bar{X} = 4.54$, S.D. = 0.55) and (3) satisfaction of the sampled users was also at a very good level ($\bar{X} = 4.56$, S.D. = 0.65).

Keywords : Smartphone Application, Android Application, Augmented Reality Technology, Location-Based Service, Phu Phrabat Historical Park

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพในด้านการท่องเที่ยว จึงได้มีการส่งเสริมและเชิญชวนให้ชาวต่างชาติมาเที่ยวเมืองไทยมากกว่า 60 ปีที่ผ่านมา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยเป็นภูมิภาคที่มีความหลากหลายทางศิลปวัฒนธรรมประเพณี และภูมิปัญญาท้องถิ่นที่หลากหลาย ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละท้องที่ (Navarat Boonpila, 2011) โดยจังหวัดอุดรธานีเปรียบเสมือนเป็นศูนย์กลางการท่องเที่ยวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในทางประวัติศาสตร์ เป็นที่ตั้งของแหล่งอารยธรรมบ้านเชียงซึ่งเป็นร่องรอยของอารยธรรมมนุษย์ที่เก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก อีกทั้งยังมีแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติ อุทยานประวัติศาสตร์ที่สำคัญ และมีการทำหัตถกรรมที่น่าสนใจหลายอย่าง อุตสาหกรรมการท่องเที่ยวถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก แต่การให้บริการข้อมูลแก่นักท่องเที่ยวในปัจจุบัน ยังใช้รูปแบบเดิมที่ใช้มายาวนาน เช่น การติดป้ายบอกทาง การติดประกาศ หรือแจกโบรชัวร์ เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้ก็มีปัญหาหลายด้าน เช่น ป้ายบอกทาง และการติดประกาศ ซึ่งอาจจะเสียหายชำรุดตามกาลเวลา การแจกแผ่นพับโฆษณาอาจได้ผลในวงแคบ และขาดความน่าสนใจในการดึงดูดนักท่องเที่ยว หากมีการนำเอาเทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่ง (Location-Based Services) (Thanadech Wansuk, 2013) และเทคโนโลยีความจริงเสริม (Augmented Reality) มาใช้ในการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบเสมือนจริงผ่านกล้องสมาร์ตโฟนได้ จะทำให้การนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยวเป็นที่น่าสนใจและสะดวกสบายมากขึ้น (Panida Tansiri, 2010)

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชันโดยใช้เทคโนโลยีความจริงเสริมร่วมกับเทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่ง ในการนำเสนอข้อมูลสถานที่ท่องเที่ยว และเป็นไกด์นำทางให้กับนักท่องเที่ยว

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท
2. เพื่อประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

ขอบเขตการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1.1 ประชากร คือ นักท่องเที่ยวที่ใช้สมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ที่มาท่องเที่ยวในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ นักท่องเที่ยวในเขตอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท จำนวน 30 คน โดยการเลือกแบบบังเอิญ (Accidental Sampling) เป็นการเลือกโดยกลุ่มตัวอย่างอาจจะเป็นใครก็ได้ที่สามารถให้ข้อมูลแก่ผู้วิจัยได้ ตัวอย่างที่ได้จึงเป็นกรณีที่เผลอหรือยินดีให้ความร่วมมือหรืออยู่ในสถานที่หรือตกอยู่ในสภาวะดังกล่าวตามจำนวนที่ต้องการ

2. เครื่องมือการวิจัย

2.1 แบบประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

2.2 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบบตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

3. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ และกำหนดปัญหาของการวิจัยเพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันและการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในขั้นที่ 1.1 โดยวิเคราะห์ปัญหา กลุ่มตัวอย่างและสถานที่ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3 ออกแบบระบบโดยทำการออกแบบตามขั้นตอนการพัฒนาแบบน้ำตกประยุกต์ (Adapted Waterfall) มีขั้นตอนดังนี้ (Namfon Assawamekin, 2015)

- 1) การวางแผน
- 2) การออกแบบ
- 3) การพัฒนาระบบ
- 4) การทดสอบระบบ
- 5) การนำไปใช้งาน

โดยขั้นตอนการพัฒนาสามารถวนหรือย้อนกลับไปแก้ไขได้ หรือที่เรียกว่า Adapted Waterfall

3.4 พัฒนาแอปพลิเคชันโดยเริ่มจาก ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วทำการพัฒนาแอปพลิเคชันตามขั้นตอนการพัฒนาแบบน้ำตกประยุกต์

3.5 เก็บรวบรวมข้อมูล สรุป วิเคราะห์ และจัดทำคู่มือการใช้งานแอปพลิเคชัน

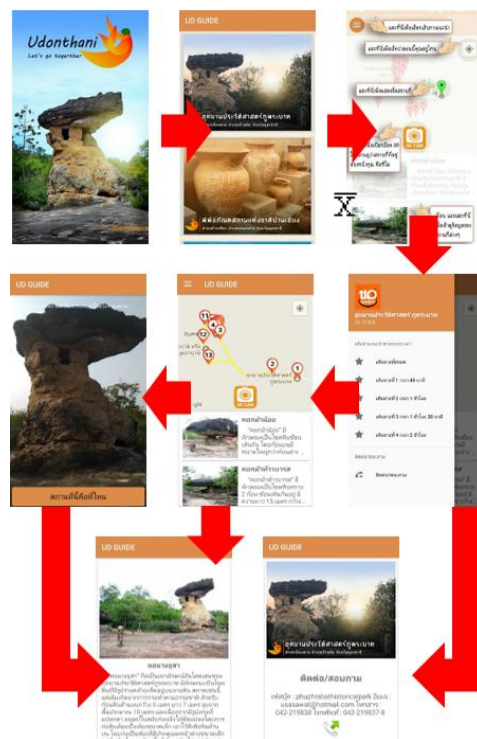
4. สถิติที่ใช้ในการวิจัย

สถิติที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ ใช้สถิติในการวัดค่ากลางของข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) และการวัดการกระจายของข้อมูลโดยใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบบตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

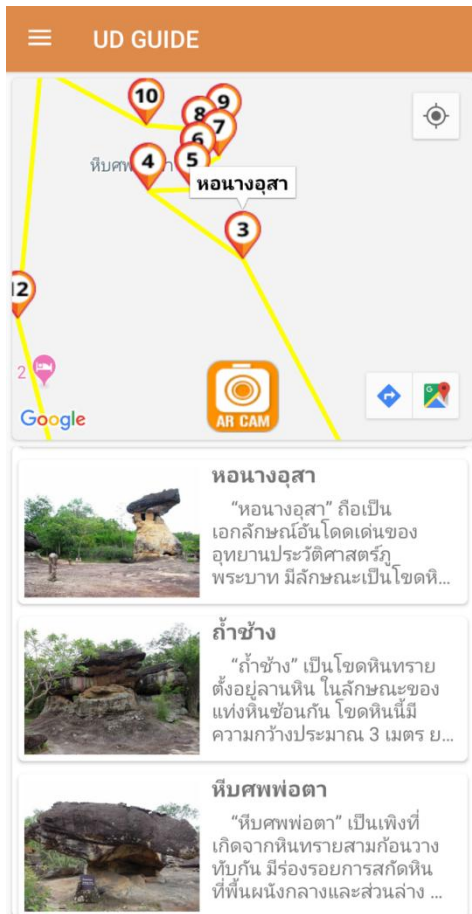
ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาแอปพลิเคชันและเครื่องมือ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แอปพลิเคชัน UD Guide

จากรูปที่ 1 แอปพลิเคชันประกอบไปด้วย หน้าต้อนรับ หน้าแสดงเมนูสถานที่ท่องเที่ยวในจังหวัดอุดรธานี หน้าแนะนำการใช้งาน หน้าแผนที่ในอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท หน้าแสดงข้อมูลภาพ เสียง และข้อความเกี่ยวกับจุดต่าง ๆ หน้ากล้องความจริงเสริม หน้าแสดงเส้นทาง

ท่องเที่ยวในอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท และ
หน้าติดต่อสอบถามเจ้าหน้าที่



รูปที่ 2 พิกัด GPS สถานที่

จากรูปที่ 2 เมื่อผู้ใช้แอปพลิเคชัน เดินทาง
เข้าใกล้สถานที่ที่กำหนดพิกัด GPS ไว้ สามารถ
เรียกใช้ฟังก์ชันกล้อง AR (AR CAM)



รูปที่ 3 การแสดงผลฟังก์ชันกล้อง AR

จากรูปที่ 3 เมื่อผู้ใช้เรียกใช้ฟังก์ชันกล้อง AR
แอปพลิเคชันจะคำนวณระยะห่างระหว่างสมาร์ท
โฟนกับจุดพิกัด GPS โดย AR CAM จะขึ้นข้อความ
เตือนให้ผู้ใช้พยายามเข้าใกล้สถานที่ในระยะ 5
เมตร และจะแสดงปุ่ม "สถานที่นี้คือที่ไหน" ผู้ใช้
สามารถกดเรียกดูข้อมูล ข้อความ ภาพและเสียง
บรรยายเกี่ยวกับสถานที่นั้น ๆ

2. ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชันนำ
เที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและ
เทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ทโฟน
ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยาน
ประวัติศาสตร์ภูพระบาท

ผลการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญ 3
ท่าน สรุปได้ดังนี้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินคุณภาพแอปพลิเคชัน

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
ด้านการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน			
1. ความสามารถของแอปพลิเคชันในการนำ เสนอข้อมูล	4.33	0.57	ดี
2. ความสามารถของแอปพลิเคชันในการนำทางผู้ใช้ไปยังสถานที่ท่องเที่ยว	5.00	0	ดีมาก
3. ความสามารถของระบบช่วยเหลือผู้ใช้	4.66	0.57	ดีมาก
4. ความสามารถแอปพลิเคชันในการสร้างความสนใจ	4.33	0.57	ดี
5. ความสามารถของแอปพลิเคชันในขั้นตอนการให้เนื้อหาสาระ	5.00	0	ดีมาก
โดยรวม	4.66	0.48	ดีมาก
ด้านการทดสอบสมรรถนะ			
6. ความถูกต้องของระบบการจัดการเมนู	4.66	0.57	ดีมาก
7. ความถูกต้องในการแสดงผลภาพ เสียง และข้อความ	4.33	0.57	ดี
8. ความถูกต้องของระบบการช่วยเหลือผู้ใช้งาน	4.66	0.57	ดีมาก
9. ความสามารถของแอปพลิเคชันในการเชื่อมโยงกับแหล่งข้อมูลภายนอก	4.66	0.57	ดีมาก
10. ความเร็วในการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.66	0.57	ดีมาก
โดยรวม	4.60	0.50	ดีมาก
ด้านความเหมาะสมต่อการใช้งานแอปพลิเคชัน			
11. ความง่ายในการติดตั้งแอปพลิเคชัน	4.33	0.57	ดี
12. ความง่ายในการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.66	0.57	ดีมาก
13. ความชัดเจนของข้อความที่แสดงบนจอภาพ	5.00	0	ดีมาก
14. ความเหมาะสมของการใช้สีโดยภาพรวม	5.00	0	ดีมาก
15. ความเหมาะสมของการใช้รูปแบบตัวอักษร	4.33	0.57	ดี
16. ความเหมาะสมของขนาดตัวอักษรที่นำเสนอ	4.00	1.00	ดี
17. ความเหมาะสมของภาพพื้นหลัง	4.66	0.57	ดีมาก
18. ความเหมาะสมของภาพนิ่ง	4.33	0.57	ดี
19. ความเหมาะสมของเสียง	4.00	1.00	ดี
20. ความเหมาะสมของความรู้ที่ได้รับ	4.66	0.57	ดีมาก
โดยรวม	4.50	0.62	ดี
ด้านการรักษาความปลอดภัยในการใช้งานระบบ			
21. ความปลอดภัยในการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันอื่น	4.33	0.57	ดี
22. มีการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลตัวเครื่อง	4.33	0.57	ดี
โดยรวม	4.33	0.51	ดี
โดยรวมทั้งหมด	4.54	0.55	ดีมาก

จากตารางที่ 1 ผลการศึกษาคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า แอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาทมีความคุณภาพในระดับดีมาก โดยมี

ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.55 เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยพบว่าในด้านการทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน มีภาพรวมอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.66 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.48 ด้านการทดสอบสมรรถนะ มีภาพรวมอยู่ใน

ระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.50 ด้านความเหมาะสมต่อการใช้งาน มีภาพรวมอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.50 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.62 และด้านการรักษาความปลอดภัยในการใช้งานมีภาพรวมอยู่ในระดับดี โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.33 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.51 ตามลำดับ

3. ผลการศึกษาความพึงพอใจแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและ

เทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟน ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท

ผู้วิจัยได้ดำเนินการสอบถามความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวจำนวน 30 คน ที่มีต่อแอปพลิเคชัน หลังจากการดำเนินการทดลอง จากนั้นนำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยค่าสถิติพื้นฐานเทียบกับเกณฑ์และสรุปผล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจ

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. แอปพลิเคชันสามารถนำเที่ยวได้จริง	4.70	0.53	มากที่สุด
2. แอปพลิเคชันให้ข้อมูลที่ครบถ้วน ชัดเจน	4.66	0.47	มากที่สุด
3. ความรู้ที่ได้รับเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยว	4.60	0.49	มากที่สุด
4. ความสะดวกในการเลือกคำสั่งต่างๆ	4.36	0.88	มาก
5. การใช้เสียงบรรยาย	4.56	0.77	มากที่สุด
6. ความถูกต้องในการแสดง ผลภาพ เสียง และข้อความ	4.63	0.66	มากที่สุด
7. การเลือกใช้ ขนาด สีตัวอักษรบนจอภาพ	4.30	0.95	มาก
8. ข้อความอธิบายสื่อความหมายชัดเจน	4.70	0.53	มากที่สุด
9. สัญลักษณ์และภาพประกอบสื่อความหมายถูกต้อง ชัดเจน	4.63	0.55	มากที่สุด
10. การวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพ	4.50	0.73	มากที่สุด
11. การแสดงผลเข้าใจง่าย สื่อสารได้ถูกต้องเหมาะสม	4.60	0.62	มากที่สุด
12. การทำงานแอปพลิเคชันโดยรวม	4.56	0.77	มากที่สุด
โดยรวมทั้งหมด	4.56	0.65	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 ผลการศึกษาความพึงพอใจพบว่าโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.65 ข้อที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ แอปพลิเคชันสามารถนำเที่ยวได้จริง โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.70 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.53 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดคือ การเลือกใช้ ขนาด สีตัวอักษรบนจอภาพ โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.30 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.95

อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยโดยมีประเด็นการอภิปราย ดังนี้

1. การศึกษาคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญพบว่า แอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท มีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.55 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแอปพลิเคชัน

สามารถนำทางได้จริงและให้ข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวได้ครบถ้วน จึงส่งผลให้แอปพลิเคชันมีคุณภาพอยู่ในระดับดีมาก สอดคล้องกับ Punyarat Punya, Pongpipat Saitong and Manasawee Kaenampompan (2014) ได้ทำวิจัยเรื่องการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แผนที่นำทาง 3 มิติ สำหรับการเดินทางในมหาวิทยาลัยมหาสารคาม จากการประเมินคุณภาพพบว่าอยู่ในระดับดี เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการค้นหาเส้นทางได้อย่างอัจฉริยะ โดยค้นหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดกับระหว่างจุดปัจจุบันของผู้ใช้ไปยังจุดหมายที่ผู้ใช้ต้องการได้

2. ผลการศึกษาความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อแอปพลิเคชันนำเที่ยวโดยใช้เทคโนโลยีบริการระบุตำแหน่งและเทคโนโลยีความจริงเสริมบนสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ กรณีศึกษาอุทยานประวัติศาสตร์ภูพระบาท พบว่านักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันในระดับมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 4.56 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.65 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแอปพลิเคชันสามารถนำเที่ยวได้จริงให้ข้อมูลครบถ้วน สื่อความหมายชัดเจน มีการใช้เสียงบรรยายประกอบกับการใช้สัญลักษณ์และภาพ รวมถึงการวางตำแหน่งของส่วนประกอบบนจอภาพจึงส่งผลให้เข้าใจง่าย สื่อสารได้ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Todsapon Banklongsi and Peerapon Vateekul (2016) ได้ทำวิจัยเรื่องโปรแกรมประยุกต์บนอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อนำทัวร์ผ่านพิกัดที่ตั้งและเทคโนโลยีความจริงเสริม กรณีศึกษามหาวิทยาลัยกรุงเทพ ผลการวิจัยพบว่า โดยภาพรวมความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก เนื่องจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำทางไปยังสถานที่สำคัญต่าง ๆ ในมหาวิทยาลัยได้อย่างถูกต้อง ได้ข้อมูลครบถ้วน

ดาวน์โหลดแอปพลิเคชัน



ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะเพื่อการนำไปใช้
 - 1.1 ควรใช้กับสมาร์ตโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 6.0 ขึ้นไป
 - 1.2 ควรเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและเปิด GPS ขณะใช้งานแอปพลิเคชัน
2. ข้อเสนอแนะเพื่อทำการวิจัยครั้งต่อไป
 - 2.1 ควรมีการแนะนำสถานที่ท่องเที่ยวทันที เมื่อเข้าใกล้จุดสำคัญ
 - 2.2 ควรมีการแสดงผลโมเดล ภาพ หรือข้อความเกี่ยวกับสถานที่นั้น ๆ ในขณะที่เปิดกล้อง AR อยู่

References

- Namfon Assawamekin. (2015). *Fundamentals of Software Engineering*. Bangkok: SE-ED Education.
- Navarat Boonpila. (2011). *Wisdom of Udon Thani*. Udon Thani: Udon Thani Rajabhat University book center.
- Panida Tansiri. (2010). Augmented Reality. *Executive Journal*. 30(2). pp. 169-175.
- Punyarat Punya, Pongpipat Saitong and Manasawee Kaenampompan. (2014). Development of 3D Navigation Map Application Navigating in Mahasarakham University (MSU-GPS). *UBU Engineering Journal*. 7(2). pp. 45-54.

- Sasithorn Rattanaungrot. (2008). *Development web services with mobile device for location based services* (master's thesis). Walailak University, Thailand.
- Surasak Naraparit. (2012). *GPS and vision-based navigation for intelligent vehicle* (master's thesis). King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand.
- Suttikan Prommanop. (2017). Development of The telephone number search application for government office in Phitsanulok province. *The Journal of Industrial Technology: Suan Sunandha Rajabhat University*. 6(1). pp. 55-65.
- Thanadech Wansuk. (2013). *A technician travel tracking system using smart phone GPS* (master's thesis). King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand.
- Todsapon Banklongsi and Peerapon Vateekul. (2016). Automatic Tour Guide Application on Mobile Using Location Detection and Augmented Reality Technology. *Rajamangala University of Technology ISAN Journal*. 9(3). pp. 190-201.
- Udon Thani Municipality. (2012). *Inside eat stay and traveling in Udon Thani*. Udon Thani: Udon Thani Municipality.

การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ศุภชัย แก้วจันทร์¹, ชูชาติ พยอม², เอกราช นาคนวน³

^{1,2,3}สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

E-mail : supachai_2518@hotmail.co.th

Received: Nov 1, 2019

Revised: Dec 11, 2019

Accepted: Dec 16, 2019

บทคัดย่อ

วิจัยเรื่องนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง และหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ และเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ และเทคโนโลยี เครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ โดยใช้ กระบวนการวิจัยและพัฒนา และการวิจัยเชิงปฏิบัติการ อย่างมีขั้นตอนตั้งแต่ศึกษาภูมิปัญญาเดิมแบบมี ส่วนร่วมในการออกแบบของกลุ่มชุมชน และศึกษาข้อมูลพื้นฐานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางใน การออกแบบดำเนินการสร้าง และหาประสิทธิภาพ ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหม พุ่งแบบ 2 หัวปั่น โดยใช้เส้นไหมทดสอบที่ 120 กรัม หรือ(1ใจ) ความเร็วรอบอ้ากรอ 72 รอบต่อนาที เครื่องสามารถ“ก๊วก”เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก“กง”เข้าอ้ากรอเพื่อเตรียมนำไปตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง ใช้เวลาเฉลี่ย 128.18 นาทีต่อ 120 กรัม หมุนแบบต่อเนื่อง ผลทดสอบการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน”และตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอ้ากรอ ใช้เวลาเฉลี่ย 162 นาทีต่อ 120 กรัม ความถี่ระยะเกลียว เส้นไหมเฉลี่ย 8-12 เกลียว ต่อนิ้ว ผลทดสอบการดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอดใช้เวลาเฉลี่ย 62.9 นาที ต่อ 120 กรัม ได้เส้นไหมพุ่งพร้อมใช้เฉลี่ย 40 หลอด จากผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยี เครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ พบว่า ภาพรวมมีคิดเห็น และความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.37 S.D.= 0.41)

คำสำคัญ : การควบเส้นไหมสองสีเข้าเหล็กไน, ตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง, ความถี่ระยะเกลียวเส้นไหม

Construction and Efficiency of Twisting Silk Machine with 2 Spinning Heads for Silk Weaving Group in Surin

Suphachai Kaeochan¹, Choochart Phayom², Aekkarath Naknual³

^{1,2,3} Program in Production Technology, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University

E-mail : supachai_2518@hotmail.co.th

Received: Nov 1, 2019

Revised: Dec 11, 2019

Accepted: Dec 16, 2019

Abstract

This research aims to construction and efficiency of silk twisting machine with 2 spinning heads for silk weaving group in Surin and knowledge transfer of technology. This research using research and development process and operation research with steps by step since studying the original wisdom by community groups are involved in the design and literature review basic data for guidelines to design of construction and efficiency. The results found that the efficiency found that when testing at 120 grams or (1 Jai) of silk tread and 72 rounds per minute of speed round, the machine take the silk threads from “Gong” into “Aggror” for preparing the silk twisting that using average time at 128.18 minute per 120 grams with continuous spinning. The testing results of lining up of two color threads into “Leknai” and twisting into “Aggror” that using time at 162 minute per 120 grams and frequency of silk twisting distance at 8-12 spiral per inch. The testing results of pulling silk into the silk tube that using average time at 62.9minute per 120 grams that average product for using at 40 tubes. The results of the knowledge transfer and twisting silk machine technology it was found that the opinions and satisfaction at high level on the average ($\bar{X} = 4.37$ S.D.= 0.41)

Keywords : Lining up of two color threads, Silk twisting, Frequency of silk twisting distance

บทนำ

การผลิตเส้นไหมเริ่มตั้งแต่กระบวนการปลูกหม่อนเลี้ยงไหมจนได้รังไหมที่พร้อมจะนำมาสสาวเป็นเส้นใยไหม ทำการตีเกลียวเส้นไหมจะช่วยให้ผ้าที่ทอมีความหนา มีความเหนียว มั่นยาว กลมเนียน มีขนาดสม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นไหม ซึ่งจะมีผลต่อกระบวนการเตรียมเส้นไหมในกระบวนการเตรียมเส้นไหมนั้นมีขั้นตอนที่สำคัญที่ใช้เป็นประเด็นปัญหา คือ ขั้นตอนการตีเกลียวไหม ขั้นตอนการตีเกลียวไหมจะใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ไน ตามภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวบ้านจะมีลักษณะเป็นหัวเตี้ย มีแกนเหล็กสำหรับตีเกลียวเส้นไหม 1 หัว ทำทีละหลอดเล็ก ๆ กรอเก็บเส้นไหมได้ความยาวประมาณ 10-12 เมตร จากนั้นนำเส้นไหมมากรอควบ 2 เส้น ไว้ในหลอดเดียวกัน ระยะเกลียวเส้นไหมที่ควบสองเส้นมีตั้งแต่ 8-12 เกลียวต่อ 1 นิ้ว แล้วแต่ความต้องการ ระยะของเกลียวเส้นไหมจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของปลายแกนเหล็กตีเกลียวกับหัวตุ้มเหล็กที่กดเส้นไหม ขั้นตอนการตีเกลียวเส้นไหมจำทำได้เฉพาะช่างที่ชำนาญเพียงคนเดียว โดยเส้นไหม 1 กิโลกรัม จะใช้ระยะเวลาในการตีเกลียวทั้งสิ้นอยู่ที่ 24-36 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชำนาญ ความแข็งแรงและความสัมพันธ์กับเครื่องมือตีเกลียวของช่าง หลังจากนั้นจะเอาไหมที่ตีเกลียวไปทำการกรอใส่หลอดกระสวยเป็นหลอดไหมเส้นพุ่งต่อไป ขั้นตอนการกรอไหมเส้นพุ่งด้วย เครื่องมือที่เรียกว่า ไน ที่เป็นเครื่องมือในการเก็บไหมใส่หลอด เพื่อนำไปใส่กระสวย ซึ่งมีกัน 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นหลักสำหรับหมุนโซ่ต่อติดกับแกนหมุนอีกด้านเป็นเหล็กแหลมสำหรับใส่หลอดหมุนเก็บไหมใส่หลอด การกรอไหมเส้นพุ่งให้มีคุณภาพเป็นเรื่องที่สำคัญหากกรอด้วยความเร็วมากจะทำให้เส้นไหมขาดได้ ลวดลายผ้าไม่ต่อเนื่องหากกรอใส่หลอดไม่แน่น การเรียงตัวของเส้นไหมไม่เป็นลำดับ จะมีผลทำให้เส้นไหมวิ่งออกจากกระสวยไม่สม่ำเสมอในขณะทอผ้า ทำให้การพุ่งตัวของกระสวยผิดทิศทางและกระสวยตกวาง

จะทำให้เนื้อผ้าที่ทอไม่สม่ำเสมอตลอดผืนเส้นไหม ยืนขาดหลุดลุ่ยต้องมาซ่อมหรือตกแต่งให้ดูสวยงาม ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการทอผ้า หรือทำให้ลูกค้าปฏิเสธงานได้ การกรอด้วยเครื่องละ 1 หลอด ใช้เวลาหลอดละ 3-5 นาที ช่างทอผ้า 1 คน ใช้หลอดไหมมัดหมี่เส้นพุ่ง 13 หลอด ต่อผ้า 1 เมตรถ้าทอผ้า 10 เมตร ช่างทอผ้า 1 คนจะต้องใช้หลอดไหมเส้นพุ่งทั้งหมด 130 หลอด ซึ่งจะใช้เวลาในการกรอไหมเส้นพุ่งประมาณ 7-10 ชั่วโมง ต่อการเตรียมหลอดไหมมัดหมี่เส้นพุ่งให้กับช่างทอผ้า 1 คนซึ่งในขั้นตอนนี้จะต้องใช้เวลานานและใช้หลอดกระสวยจำนวนมาก ทั้งยังมีความยุ่งยากในการจัดเก็บรักษาอีกด้วย (ดำรงฤทธิ์ วิบูลกิจธนากร และคณะ, 2555)

จากการศึกษาผลงานวิจัยเครื่องสานรังไหมและเครื่องตีเกลียวสำหรับรังไหมอีรี่ โดยเครื่องสานไหมทำหน้าที่สานรังไหมที่ลอกกาแล้วให้แตกตัวและทำให้เกาะกันเป็นแผ่นใยไหม ใยไหมที่ได้จากเครื่องสานรังไหมจะถูกนำไปปั่นและตีเกลียวในเครื่องตีเกลียวผลิตเป็นเส้นไหมอีรี่ จากการทดลองเครื่องสานไหมพบว่ารังไหมมีการแตกตัวมากที่สุดเมื่อใช้ฟันของชุดสานที่ทำมุม 45 องศา โดยฟันของชุดสานเรียงตัวแบบสลับฟันปลา ความเร็วของป้อนรังไหมคือ 0.0053 เมตร/นาที่ การทดสอบเครื่องตีเกลียวที่ความเร็วของชุดป้อนแผ่นไหมที่ 0.0079 เมตร/นาที่ และความเร็วชุดตีเกลียว 1.33 เมตร/นาที่ ให้เส้นไหมที่มีเส้นสม่ำเสมอ และค่าแรงดึง คือ 5.72 นิวตัน ซึ่งใกล้เคียงกับไหมอีรี่ที่ผลิตจากวิธีดั้งเดิม (ฐริพงศ์ อักษรพิมพ์ และคณะ, 2556)

จากการศึกษาผลงานวิจัยการตีเกลียวที่เหมาะสมคือ 230-250 เกลียวต่อเมตรส่งผลให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการทอผ้าสูงขึ้น โดยการหาค่าความแตกต่างของความเร็วรอบชุดเก็บเส้นด้าย 164 และ 384 รอบต่อนาทีและระยะการดึงเส้นด้ายสำหรับการใช้ทดสอบมีดังนี้ 0.8

1.0 และ 1.2 เมตร ทำการสร้างเครื่องตีเกลียวเส้นด้ายทำให้สามารถพัฒนาเครื่องตีเกลียวเส้นด้ายให้มีความแข็งแรง ลักษณะการทำงานสามารถลดความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงานและเพิ่มผลผลิตเนื่องจากในการตีเกลียวหนึ่งครั้งจะได้เส้นด้ายที่ตีเกลียวครั้งละ 2 หลอด ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบทางสถิติวิเคราะห์หาความเร็วรอบชุดเก็บเส้นด้ายและระยะการดึงเส้นด้ายที่เหมาะสมสำหรับการตีเกลียวเส้นด้าย ผลการดำเนินงานพบว่าความเร็วรอบชุดเก็บเส้นด้ายที่ 384 รอบต่อนาทีและระยะการดึงเส้นด้ายที่ 1 เมตร ซึ่งมีจำนวนเกลียวเฉลี่ยอยู่ที่ 239.86 เกลียวต่อเมตร (จิตติวิวัฒน์ นิธิกาญจนธำ และมาโนช ริทิโน, 2558)

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยพอสรุปได้ว่า ในการศึกษาผลงานวิจัยพบว่ากระบวนการตีเกลียวไม่เหมือนแบบภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวบ้าน ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งานและบำรุงรักษา อีกทั้งปัญหากระบวนการเตรียมเส้นไหมฟุ้งรูปแบบดั้งเดิม กำลังการผลิตที่ได้ และการใช้ความชำนาญของชาวบ้านซึ่งจะส่งผลถึงคุณภาพของเกลียวไหม คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะช่วยแก้ไขปัญหากลุ่มกระบวนการตีเกลียวเส้นไหมเพื่อลดขั้นตอนที่มีความสลับซับซ้อนที่ทำให้ล่าช้าสูญเสียเวลาในการทำงานในกระบวนการผลิตผ้าไหมด้วยกระบวนการ วิจัยและพัฒนาในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมฟุ้งแบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ที่มีอุปกรณ์ดั้งเดิม และกระบวนการตีเกลียวดั้งเดิม สามารถควบคุมความเร็วรอบทิศทางการหมุนได้ มีกระบวนการทำงานเสร็จในขั้นตอนเดียว ซึ่งจะช่วยลดเวลาในกระบวนการเตรียมเส้นไหมในการตีเกลียวไหมฟุ้งได้และยังเพิ่มกำลังการผลิตเส้นไหมฟุ้ง ทำให้ชาวบ้านมีเวลาในการทอผ้ามากยิ่งขึ้น กลุ่มทอผ้าในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์สามารถยกระดับการผลิตเส้นไหมฟุ้งและการจัดการ

ของเศรษฐกิจชุมชนรวมถึงการสร้างมูลค่าเพิ่มของผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่องเพิ่มโอกาสในการสร้างอาชีพรายได้และการพึ่งพาตนเอง และคุณภาพชีวิตของชาวบ้านให้ดีขึ้น และนำไปสู่การส่งเสริมและถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนอื่น สร้างความเข้มแข็งทางสังคมอย่างยั่งยืนนำไปสู่การพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนตามลำดับต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมฟุ้งแบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์
2. เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมฟุ้งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมฟุ้ง แบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ คณะผู้วิจัยดำเนินการวิจัยตามกระบวนการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) และการวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Operational Research) ซึ่งมีการดำเนินการวิจัยและรายละเอียดตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาข้อมูลพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการ “กวัก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมฟุ้งแบบภูมิปัญญาชาวบ้าน หลักการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กใน” ควบเส้นไหม และการตีเกลียวเส้นไหมฟุ้งเข้าอัครกอ การดึงเส้นไหมฟุ้งเก็บเข้าหลอด และวัดความถี่ของระยะเกลียวไหมต่อนิวที่ชาวบ้านนิยมเพื่อมาเป็นไหมฟุ้งใช้ในการทอผ้าลายต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ เครื่องตีเกลียว

เส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกร
ทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

พบว่า ภูมิปัญญาชาวบ้านใช้เครื่องมือที่เรียกว่า
“กง” เป็นอุปกรณ์เก็บเส้นไหมหลังการย้อมแล้วใช้
ล้อหมุนอัครอ “กวั๊ก” เส้นไหมเข้าเก็บไว้ในอัครอ
เพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ
ภูมิปัญญาชาวบ้านดังรูปที่ 1 กระบวนการ “กวั๊ก”
เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครอ
เพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ
ภูมิปัญญา ใช้เวลาประมาณ 7-8 ชั่วโมงต่อ 1 ใจ
หรือประมาณ 120 กรัม



รูปที่ 1 กระบวนการ “กวั๊ก” เส้นไหมหลังการย้อม
ออกจาก “กง” เข้าอัครอ

การควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กไน” และ
การตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครอแบบภูมิปัญญา
ชาวบ้าน ใช้เวลาประมาณ 15-16 ชั่วโมง ต่อ 1 ใจ
หรือ 120 กรัม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กไน”

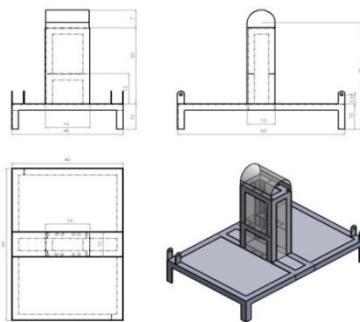
การดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอดจะใช้เวลา
ประมาณ 20-24 ชั่วโมงต่อ 1 ใจ หรือ 120 กรัม
และความถี่ของระยะเกลียวไหมต่อนิ้วที่ชาวบ้าน
นิยมเพื่อมาเป็นไหมพุ่งใช้ในการทอผ้าที่ความถี่
ของระยะเกลียวเส้นไหม 7-10 เกลียวต่อนิ้ว ดัง
รูปที่ 3



รูปที่ 3 การดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด

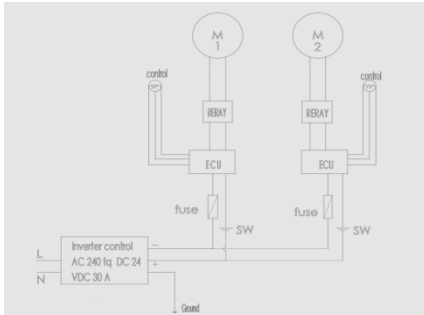
ขั้นตอนที่ 2 การออกแบบเครื่องตีเกลียว
เส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกร
ทอผ้าในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษา
ข้อมูลพื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาเป็น
แนวทางในการออกแบบ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

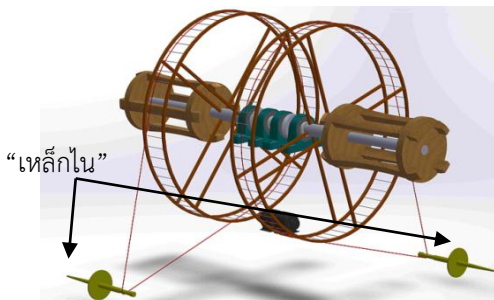


รูปที่ 4 แบบภาพชุดโครงสร้างเครื่องตีเกลียวเส้น
ไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น

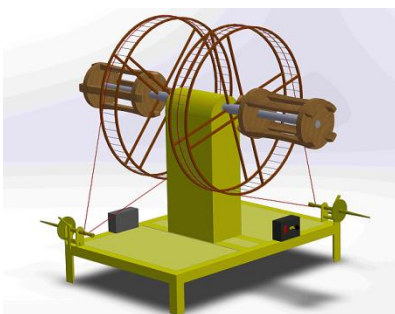
ชุดควบคุมการทำงานใช้ระบบไฟ AC แปลงเป็น DC ขับเคลื่อนมอเตอร์ DC 24 V. เพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยต้องจรมานชุดควบคุมการทำงานมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วรอบ และทิศทางการหมุนซ้าย หมุนขวา เพื่อให้เหมาะสมกับเส้นไหมแต่ละชนิด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบภาพชุดควบคุมการทำงานและชุดอีก เครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น



รูปที่ 6 แบบภาพชุด “เหล็กไน” ตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น



รูปที่ 7 แบบภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยนำผลการออกแบบและเขียนแบบมาเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องต้นแบบที่กำหนด



รูปที่ 8 เครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น

ขั้นตอนที่ 4 การหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่นสำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยทำการหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่นโดยจะพิจารณาประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาจากประสิทธิภาพการ “กวัก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง

2. พิจารณาจากประสิทธิภาพการควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครกอ วัดความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง

3. พิจารณาจากประสิทธิภาพการดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด

ขั้นตอนที่ 5 การถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2

หัวบ้าน ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ในขั้นตอนนี้ คณะผู้วิจัยได้การถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ บ้านยาง หมู่ 12 ตำบลเมืองลิง อำเภोजอมพระ จังหวัดสุรินทร์ ในครั้งคณะผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่าง 50 คน ซึ่งเป็นกลุ่มเลี้ยงไหมและผลิตเส้นไหม เพื่อตอบความเหมาะสมของเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุง แบบ 2 หัวปั่น ในด้านชุด “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุง ชุดการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุงเข้าอัครกอ ว่ามีความคิดเห็นและความพึงพอใจอยู่ในระดับดี คือ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3.50 ขึ้นไป จะถือว่าเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น มีประสิทธิภาพ โดยวิเคราะห์ด้วยค่าเฉลี่ย (Arithmetic Mean: $\bar{X}$) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) การแปลความหมายค่าเฉลี่ยของการตอบแบบสอบถามความคิดเห็นตามมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale)

เพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน ในการนำเสนอผลการวิจัย ดังนั้นจึงภาษาที่ใช้ในการเรียกเส้นไหมของชาวบ้านไว้ ดังนี้

คำอธิบายภาษาชาวบ้านที่ใช้เรียกเส้นไหม

- 1 ไจ มีจำนวนเส้นไหม 20 ปอย
- 1 ไจ มีน้ำหนักประมาณ 120 กรัม
- 1 ปอย มีจำนวนเส้นไหม 100 เส้น
- 1 ปอย มีน้ำหนักประมาณ 6 กรัม
- 1 ปอยเมื่อวัดความยาวเส้นไหม จะมีความยาวเฉลี่ย 280 เมตร

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุง แบบ 2 หัวปั่น สำหรับ

กลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนการรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลไว้ดังนี้

1. ผลการทดสอบการ “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุง

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการ “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุง

ครั้งที่	เส้นไหมที่ใช้ใน การทดสอบ/ การกวกเส้นไหม (1 ไจ)	ระยะเวลาที่ใช้ใน การกวกเส้นไหม เข้าอัครกอ/นาที่	ความเร็วรอบของ อัครกอ/นาที่
1	120 กรัม	127.22 /นาที่	72 รอบ/นาที่
2	120 กรัม	128.11 /นาที่	72 รอบ/นาที่
3	120 กรัม	128.03 /นาที่	72 รอบ/นาที่
ค่าเฉลี่ย	120 กรัม	128.18 /นาที่	72 รอบ/นาที่

จากตารางที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพการ “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุง โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1ไจ) ที่ความเร็วรอบ 72 รอบต่อนาที จะใช้เวลาในการดึงเส้นไหมเข้าอัครกอ เฉลี่ย 128.18 นาที่ หมุนแบบต่อเนื่องดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การ “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกอ

2. ผลการทดสอบการควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กไน” ตีเกลียวเส้นไหมพุงเข้าอัครกอและความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการควบเส้นไหมสองสีผ่าน“เหล็กไน”ที่เกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอ้ากรอและความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง

ครั้งที่	เส้นไหมที่ใช้ในการ ทดสอบ/กรัม (1 ไจ)	ระยะเวลาที่ใช้ในควบเส้นไหม และตีเกลียว	ระยะเกลียวไหม/นิ้ว
1	120 กรัม	162 นาที	8-12 เกลียว/นิ้ว
2	120 กรัม	165 นาที	8-12 เกลียว/นิ้ว
3	120 กรัม	160 นาที	8-12 เกลียว/นิ้ว
ค่าเฉลี่ย	120 กรัม	162 นาที	8-12 เกลียว/นิ้ว

จากตารางที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพการควบเส้นไหมสองสีผ่าน“เหล็กไน” (ดังรูปที่ 10) ที่เกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอ้ากรอ ” (ดังรูปที่ 11) และความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1ไจ) ที่ความเร็วรอบ 72 รอบต่อนาที ใช้ระยะเวลาที่ใช้ในควบเส้นไหมและตีเกลียว โดยเฉลี่ย 162 นาทีต่อ 120 กรัม ความถี่ระยะเกลียว เฉลี่ย 8-12 เกลียว/นิ้ว (ดังรูปที่ 12)



รูปที่ 10 การควบเส้นไหมสองสีผ่าน“เหล็กไน”



รูปที่ 11 การตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอ้ากรอ



รูปที่ 12 ความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้ว

3. ผลการทดสอบการดิ่งเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการดิ่งเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด

ครั้งที่	เส้นไหมที่ใช้ในการทดสอบ/กรัม (1 ไจ)	ระยะเวลาที่ใช้ในการดิ่งเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด	จำนวนหลอดที่ได้
1	120 กรัม	63.20 นาที	40 หลอด
2	120 กรัม	62.40 นาที	40 หลอด
3	120 กรัม	63.10 นาที	40 หลอด
ค่าเฉลี่ย	120 กรัม	62.9 นาที	40 หลอด

จากตารางที่ 3 พบว่าประสิทธิภาพการดิ่งเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด (ดังรูปที่ 13) โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1ไจ) เวลาที่ใช้ในการดิ่งเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอดเฉลี่ย 62.9 นาที ได้เส้นไหมพุ่งพร้อมใช้เฉลี่ย 40 หลอด ต่อ 120 กรัม หรือ (1ไจ)



รูปที่ 13 การดัดเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด

4. ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์

ตารางที่ 4 ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ กรณีภาพรวมรายด้าน

(N=50)			
ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1. ด้าน ชุมควบคุม “กวั๊ก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรอบเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น	4.44	0.37	ดี
2. ด้าน ชุมควบคุมการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครกรอบ แบบ 2 หัวปั่น	4.30	0.46	ดี
รวม	4.37	0.41	ดี

จากตารางที่ 4 พบว่าผลวิเคราะห์ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ภาพรวมรายด้านอยู่ในระดับดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.37 S.D. = 0.41) เมื่อพิจารณาเป็นด้าน พบว่า 1) ด้าน ชุมควบคุม “กวั๊ก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรอบเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น อยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.44 S.D. = 0.37) 2) ด้าน ชุมควบคุมการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครกรอบ แบบ 2 หัวปั่น อยู่ในระดับดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.30 S.D. = 0.46) ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ กรณีรายข้อ ด้าน ชุมควบคุม “กวั๊ก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรอบเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น

(N=50)		
ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.
โครงสร้างมีความแข็งแรงมีความเหมาะสม	4.60	0.57
ขนาดของอัครกรอบ “กวั๊ก” เส้นไหม	4.30	0.61
แข็งแรงมีความเหมาะสม		
ชุดควบคุมความเร็วรอบแบบ 2 หัวปั่น มีความเหมาะสม	4.36	0.36
ชุดจับยึดอัครกรอบแข็งแรงมีความเหมาะสม	4.42	0.61
สภาพโดยรวมท่านมีความพึงพอใจ	4.54	0.68
รวม	4.44	0.56

จากตารางที่ 5 พบว่าผลวิเคราะห์ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ภาพรวมรายชื่อ ด้านชุดควบคุม “กวก” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น อยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.44 S.D.=0.56) เมื่อพิจารณาเป็นข้อ พบว่าสามารถเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1) โครงสร้างมีความแข็งแรงเหมาะสมอยู่ในระดับ ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.60 S.D.=0.57) 2) สภาพโดยรวมท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดีมาก ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.54 S.D.=0.68) 3) ชุดจับยึดอัครกรแข็งแรงมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.42 S.D.=0.61) 4) ชุดควบคุมความเร็วรอบแบบ 2 หัวปั่นมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.36 S.D.=0.36) 5) ขนาดของอัครกร “กวก” เส้นไหมแข็งแรงมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.30 S.D.=0.61) ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ กรณีรายชื่อ ด้าน ชุดควบคุมการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครกร แบบ 2 หัวปั่น

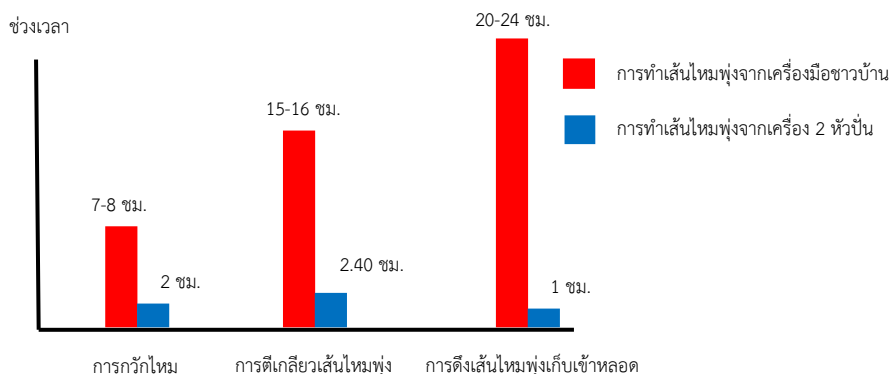
(N=50)		
ความคิดเห็น	$\bar{X}$	S.D.
ชุดวัสดุที่นำมาใช้ทำ “เหล็กไน” มีความเหมาะสม	4.34	0.69
ชุดควบคุมความเร็วรอบที่ใช้ตีเกลียวมีความเหมาะสม	4.20	0.73
ความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่องมือมีความเหมาะสม	4.18	0.63
ชุดควบคุมการควบเส้นไหมสองสีมีความเหมาะสม	4.30	0.61

สภาพโดยรวมท่านมีความพึงพอใจ	4.44	0.70
รวม	4.29	0.67

จากตารางที่ 6 พบว่าผลวิเคราะห์ผลการถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ภาพรวมรายชื่อ ด้านชุดควบคุมการควบเส้นไหมสองสีเข้า “เหล็กไน” และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอัครกร แบบ 2 หัวปั่น อยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.29 S.D.=0.67) เมื่อพิจารณาเป็นข้อ พบว่าสามารถเรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อยได้ดังนี้ 1) สภาพโดยรวมท่านมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.44 S.D.= 0.70) 2) ชุดวัสดุที่นำมาใช้ทำ “เหล็กไน” มีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.34 S.D.=0.69) 3) ชุดควบคุมการควบเส้นไหมสองสีมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.30 S.D.=0.61) 4) ชุดควบคุมความเร็วรอบที่ใช้ตีเกลียวมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.20 S.D.=0.73) 5) ความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่องมือมีความเหมาะสมอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$ = 4.18 S.D.=0.61) ตามลำดับ



รูปที่ 14 การถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์



แผนภูมิที่ 1 เปรียบเทียบการทำเส้นไหมพุงแบบภูมิปัญญา กับเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุง แบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ คณะผู้วิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. สรุปผลการ “กวน” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุง โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1โจ) ที่ความเร็วรอบ 72 รอบต่อนาที จะใช้เวลาในการตังเส้นไหมเข้าอัครกร เฉลี่ย 128.18 นาที หมุนแบบต่อเนื่อง

2. สรุปผลการควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กโน” ตีเกลียวเส้นไหมพุงเข้าอัครกรและความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1โจ) ที่ความเร็วรอบ 72 ต่อนาที ใช้ระยะเวลาที่ใช้ในควบเส้นไหมและตีเกลียว โดยเฉลี่ย 162 นาทีต่อ 120 กรัม ความถี่ระยะเกลียว เฉลี่ย 8-12 เกลียว/นิ้ว

3. สรุปผลการตังเส้นไหมพุงเก็บเข้าหลอด โดยทดสอบ 3 ครั้ง ๆ ละ 120 กรัม หรือ (1โจ) เวลาที่ใช้ในการตังเส้นไหมพุงเก็บเข้าหลอดเฉลี่ย 62.9 นาที ได้เส้นไหมพุงพร้อมใช้เฉลี่ย 40 หลอด ต่อ 120 กรัม หรือ (1 โจ)

4. สรุปผลการสิ้นเปลืองพลังงานการใช้ไฟฟ้าและจุดคืนทุน เครื่องตีเกลียวใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 250 วัตต์ 12 โวลต์ 13.7 แอมป์ กรณีถ้าเปิดใช้งานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง อัตราการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 4 หน่วยต่อวันถ้าคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 9 บาทต่อวัน เมื่อคิดเป็นเดือนจะเสียค่าไฟฟ้า ประมาณ 276 บาทต่อเดือนรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้เป็นเส้นไหมพุงที่ผลิตจากเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น โดยเฉลี่ยจะสามารถทำเส้นไหมพุงได้วันละ 2-3 โจต่อวันซึ่งปัจจุบันขายได้ โจละ 300-500 บาท เฉลี่ยเดือนละ 9,000 - 15,000 ซึ่งมีความคุ้มค่าไฟฟ้าอยู่แล้ว ต้นทุนอยู่ที่ประมาณ 45,000 บาท ระยะเวลาคืนทุนถ้าผลิตเส้นไหมพุงต่อเนื่อง 6-7 เดือน ก็จะสามารถคืนทุน

5. สรุปผลวิเคราะห์การถ่ายทอดองค์ความรู้และเทคโนโลยีเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น ต่อกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ ภาพรวมมีความคิดเห็น และความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} = 4.37$ S.D. = 0.41) เมื่อพิจารณาเป็นด้าน พบว่า 1) ด้าน ชุมควบคุม “กวน” เส้นไหมหลังการย้อมออกจาก “กง” เข้าอัครกรเพื่อเตรียมนำไปใช้ในการตีเกลียวเส้นไหมพุงแบบ 2 หัวปั่น มีความคิดเห็น และความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี ที่ค่าเฉลี่ย ($\bar{X} = 4.44$ S.D. = 0.37) 2) ด้านชุดควบคุม

การควบเส้นไหมสองสีผ่าน“เหล็กไน”และการตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอกรอ แบบ 2 หัวปั่น มีความคิดเห็น และความพึงพอใจอยู่ในระดับ ดี ที่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}=4.30$ S.D. = 0.46) ตามลำดับ

อภิปรายผล

การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่ง แบบ 2 หัวปั่น สำหรับกลุ่มเกษตรกรทอผ้าไหมในเขตพื้นที่จังหวัดสุรินทร์ในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยได้อภิปรายผลจากการวิจัยไว้ดังต่อไปนี้

ผลการควบเส้นไหมสองสีผ่าน “เหล็กไน” ตีเกลียวเส้นไหมพุ่งเข้าอกรอและความถี่ระยะเกลียวต่อนิ้วที่ได้จากการใช้เครื่อง โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1 ใจ) ที่ความเร็วรอบ 72 ต่อนาที ใช้ระยะเวลาที่ใช้ในควบเส้นไหมและตีเกลียว โดยเฉลี่ย 162 นาทีต่อ 120 กรัม ความถี่ระยะเกลียว เฉลี่ย 8-12 เกลียว/นิ้ว การดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอด โดยทดสอบ 3 ครั้ง ครั้งละ 120 กรัม หรือ (1ใจ) เวลาที่ใช้ในการดึงเส้นไหมพุ่งเก็บเข้าหลอดเฉลี่ย 62.9 นาที ได้เส้นไหมพุ่งพร้อมใช้เฉลี่ย 40 หลอด ต่อ 120 กรัมหรือ (1 ใจ) การสิ้นเปลืองพลังงานการใช้ไฟฟ้า เครื่องมีมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 250 วัตต์ 12 โวลล์ 13.7 แอมป์ กรณีถ้าเปิดใช้งานต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง อัตราการใช้ไฟฟ้าอยู่ที่ 4 หน่วยต่อวันถ้าคิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 9 บาทต่อวัน เมื่อคิดเป็นเดือนจะเสียค่าไฟฟ้าประมาณ 276 บาทต่อเดือนรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตที่ได้เป็นเส้นไหมพุ่งที่ผลิตจากเครื่องตีเกลียวเส้นไหมพุ่งแบบ 2 หัวปั่น โดยเฉลี่ยจะสามารถทำเส้นไหมพุ่งได้วันละ 2-3 ใจต่อวันซึ่งปัจจุบันขายได้ ใจละ 300-500 บาท เฉลี่ยเดือนละ 9,000-15,000 ซึ่งมีความคุ้มค่าไฟฟ้าอยู่แล้วซึ่งสอดคล้องกับ (ดำรงฤทธิ์ วิบูลกิจธนากร และคณะ. 2554) การศึกษาและออกแบบวิธีการตีเกลียวไหมและกรอไหมเส้นพุ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องเดิมของชาวบ้านจากการทดสอบที่

ความยาวเส้นไหมเท่ากันเครื่องตีเกลียวไหมและกรอไหมเส้นพุ่งกึ่งอัตโนมัติใช้เวลาเฉลี่ย 5.11 นาทีและเครื่องตีเกลียวไหมและกรอไหมเส้นพุ่งของชาวบ้านใช้เวลาเฉลี่ย 17.8 นาทีแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาลดลงจากเดิม 3.48 เท่าความถี่ของระยะเกลียวเส้นไหมของเครื่องตีเกลียวไหมและกรอไหมเส้นพุ่งกึ่งอัตโนมัติมีค่าเฉลี่ย 12 เกลียวต่อนิ้วและเครื่องตีเกลียวไหมและกรอไหมเส้นพุ่งของชาวบ้านมีค่าเฉลี่ย 11.85 เกลียวต่อนิ้วประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องมีมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 496.396 วัตต์เมื่อในมาใช้ในการกระบวนการทอผ้าจะต้องชำระค่าใช้ไฟฟ้าต่อเดือน 295.864 บาท

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปีงบประมาณ 2560



รูปที่ 15 คณะผู้ตรวจเยี่ยมจากสำนักงานการอุดมศึกษา (สกอ.) และผู้ทรงคุณวุฒิได้มอบผลงานวิจัยให้ชุมชนบ้านยาง หมู่ 12ตำบลเมืองถึง อำเภोजอมพระ จังหวัดสุรินทร์ นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

References

- Dumrongrit Viboonkittanakorn. (2012). *The development of capability silk Twisting and Spinning Machine Ubon Ratchathani inhabitant process*. Faculty of Agriculture and Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University.
- Jittiwat Nithikarnjanatharnand Manote Rithinyo. (2015). *Design and Construction of Appropriate Variantfor Yam Twisting Machine*. Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan.
- Puripong Aksonpim and others. (2013). The Developmentof a Carding Machine and a Twisting Silk Machine for Eri Silk. *Journal of Science and Technology Mahasarakham university*. special Vol. 67-72 p.

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชัน

กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล^{1*}, อิศรี ศรีคุณ¹, ศักดิ์ศรี แก่นสม¹, พรหมพักตร์ ดาวรัตน์²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

Email: kaweeepott@gmail.com

Received: Nov 9, 2019

Revised: Dec 16, 2019

Accepted: Dec 20, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชัน อัลกอริทึมนี้จะทำหน้าที่ในการหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ (MPPT) ผลิตได้ เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าขาออกที่สูงสุดให้กับเครื่องบำบัดน้ำเสียพลังงานแสงอาทิตย์ แม้ในกรณีที่มีเงาบังบางส่วน หรือในกรณีที่ความเข้มแสงต่ำ จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันแบบอาร์เรย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชันแบบค่าเฉลี่ยมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งอัลกอริทึมนี้มีโครงสร้างที่ง่ายต่อการใช้งาน ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และมีการคำนวณที่แม่นยำ ระบบการทำงานจะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกันแบบอาร์เรย์ ซึ่งเป็นแหล่งจ่ายพลังงานผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ เพื่อทำการหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้า และมีการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรมใช้โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) และเพาเวอร์ซิม (POWERSIM) ในการจำลองการทำงานของอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชันแบบค่าเฉลี่ย มีการกำหนดให้เกิดเงาบังบางส่วน และได้ทำการทดลองจริงซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าสอดคล้องกับผลการจำลอง

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์, การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด, ประสิทธิภาพ, พาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชัน

Maximizing Solar Cell Power Output using in Solar Powered Water Treatment System by Particle Swarm Optimization Algorithm

Kaweepot Woranetsuttikul^{1*}, Isaree Srikun¹, Saksai Kaensom¹, Promphak Dawan²

¹ Department of Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

² Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Bangkokthonburi University

Email : kaweepott@gmail.com

Received: Nov 9, 2019

Revised: Dec 16, 2019

Accepted: Dec 20, 2019

Abstract

This research presents the optimization of solar powered water treatment system by Particle Swarm Optimization algorithm. This algorithm is used to find the maximum power point tracking (MPPT) of the solar cell to send the maximum power output to the of solar powered water treatment system. Even in the case of shadows obscure portions or in the case of low light intensity. Therefore, the efficiency of the solar powered water treatment system is more efficient. This research has applied the average particle swam optimization algorithm. This algorithm has a structure that is easy to use, uncomplicated and accuracy in calculations. The system consists of solar cells connected in an array which power supply through the inverter circuit. To find the peak of power output. The System simulation is performed using MATLAB and POWERSIM in the simulation of average Particle Swarm Optimization algorithm and Setting to cover some shadows. Conducted a real experiment, which the results of the experiment found to be consistent with the simulation results.

Keywords : Solar cell, Maximum Power Point Tracking, Efficiency, Particle Swarm Optimization

บทนำ

ในปัจจุบัน น้ำถือว่ามีความสำคัญอย่างมาก ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เพราะน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญทั้งใช้ในการอุปโภคและบริโภคของมนุษย์ เมื่อมีการใช้น้ำในรูปแบบต่าง ๆ จึงส่งผลให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งน้ำเสีย คือ น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ อีกส่วนหนึ่ง คือ น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater) คือ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมประจำวันของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน และกิจกรรมที่เป็นอาชีพ ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบอาหารและชำระล้างสิ่งสกปรกทั้งหลายภายในครัวเรือน และอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นต้น ปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยทิ้งจากบ้านเรือน อาคาร จะมีค่าประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ หรืออาจประเมินได้จากจำนวนประชากรหรือพื้นที่อาคาร (สุวิธนา จิตตลดาการ, 2556)

จากที่มาดังกล่าว ทั้งภาครัฐและเอกชนหลายแห่งได้มีการคิดค้นระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นอย่างมากมาย โดยส่วนมากที่อยู่ในรูปแบบกังหันตึน้ำ เพื่อให้ น้ำเกิดการเคลื่อนที่และเป็นการเติมออกซิเจนในน้ำอีกด้วย แต่ปัญหาโดยส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้น คือ ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีค่าใช้จ่ายที่สูง ไม่สามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้ตลอดเวลา หลังจากนั้นจึงได้มีการพัฒนาต่อยอดโดยการเลือกใช้พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามาเพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมแล้วยังสามารถที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ด้วยรังสีจากดวงอาทิตย์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลดน้อยลงหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ และสามารถที่จะบำบัดน้ำเสียได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่มีแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ตกกระทบ (นพ มหิษานนท์, 2560)

ระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการคิดค้นขึ้นอย่างแพร่หลาย แต่ประสิทธิภาพของระบบยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ เนื่องจากปัญหาหลักคือการเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงเป็นแหล่งต้นกำลัง ซึ่งมอเตอร์กระแสตรงมีประสิทธิภาพที่ต่ำ 40-60 % และการดึงกำลังไฟฟ้ามาใช้งานจากเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นที่จะต้องมีการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น (กฤตภาส ผินสันเทียะ, 2558), (ณัฐวรรษ จำปาศรี, 2557)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียโดยการเลือกใช้มอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น ประสิทธิภาพสูงถึง 80-95 % อายุการใช้งานยาวนาน การสูญเสียในมอเตอร์มีค่าน้อยกว่ามอเตอร์กระแสตรง ใช้พลังงานน้อยกว่าแต่ได้กำลังที่มากกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีก 10-20 % จากการคาดหวังของคณะผู้วิจัย และมีการเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด หรือ MPPT โดยการใช้ อัลกอริทึม พาร์ติเคิลสวอมมอปติมิเซชัน เข้ามาในการติดตามกำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากอัลกอริทึมนี้ถูกพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและมีความอัจฉริยะในการหาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว จึงทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีก 10-20 % (ภูมิ คงหัวรอบ, 2556) (วีระชัย ชื่นเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, 2557) การบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีประสิทธิภาพที่สูงคุ้มค่าต่อการลงทุนและมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ามาก

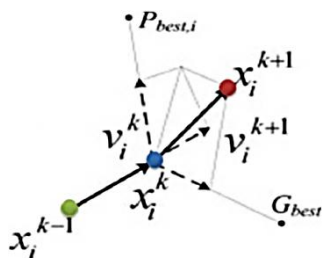
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในการบำบัดน้ำเสียตามแหล่งชุมชน
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้อัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชันในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าจากการใช้อัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมมอปติไมเซชันสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียด้วยพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

แนวคิดทฤษฎีและวรรณกรรม

1. PSO อัลกอริทึม

PSO อัลกอริทึม กล่าวคือ นกซึ่งเคลื่อนที่เปรียบได้กับอนุภาคหนึ่งตัว (d_i) และอนุภาคแต่ละตัวจะจดจำตำแหน่งในปัจจุบันของตนเองเอาไว้ (X_i) พร้อมกับทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค (v_i) เมื่ออนุภาคแต่ละตัวเคลื่อนที่อนุภาคแต่ละตัวจะเก็บข้อมูลที่ดีที่สุดของตนเอง ($Pbest_i$) และเปรียบเทียบเพื่อหาข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทุกตัว ($Gbest$) ทุก ๆ รอบการทำงานเวลา “t” ความเร็วของการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยใช้ข้อมูลของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคแต่ละตัวและตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมด (ณัฐวรราช จำปาศรี, 2557, น. 101-104)



รูปที่ 1 ตำแหน่งและทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวที่เปลี่ยนไปจะสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 1

$$v_i^{k+1} = wv_i^k + c_1r_1(Pbest_i - d_i) + c_2r_2(Gbest - d_i) \quad (1)$$

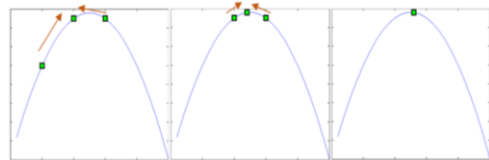
จากนั้นอนุภาคทุกตัวจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งด้วยความเร็วที่มีอยู่ดังสมการที่ 2

$$d_i^{k+1} = d_i^k + v_i^{k+1} \quad (2)$$

c_1, c_2 คือ สัมประสิทธิ์ความเร่ง

r_1, r_2 คือ ค่าจากการสุ่ม อยู่ในช่วง 0-1

เมื่อสิ้นสุดการทำงาน อนุภาคทุกตัวจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ณ จุดที่ดีที่สุดของอนุภาคทุกตัว



รูปที่ 2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคใน PSO อัลกอริทึม

จากรูปที่ 2 แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละตัว จะเห็นว่าอนุภาคที่อยู่ทางซ้ายและขวาจะเคลื่อนที่เข้าสู่จุดสูงสุด และอนุภาคที่อยู่กึ่งกลางจะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปเล็กน้อยเพื่อป้องกันการทำงานซ้ำซ้อนของอัลกอริทึม เมื่อจบการทำงานอนุภาคทุกตัวจะอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ณ จุดสูงสุด (ณัฐวรราช จำปาศรี, 2557, น. 363-366)

2. อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

การออกแบบสร้างอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์ BLDC จะประกอบไปด้วยวงจรต่าง ๆ เช่น วงจรไฟเลี้ยง วงจรควบคุมการทำงาน วงจรตรวจจับสัญญาณ วงจรเก็บผลและแสดงผล เป็นต้น ทุก ๆ วงจรมีความสำคัญแตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน เมื่อนำวงจรแต่ละวงจรมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เกิดเป็นระบบการทำงานขึ้น การทำงานของแต่ละวงจรมีความสำคัญมากในการติดตามกำลังไฟฟ้า

สูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (วีรเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, 2557)

อินเวอร์เตอร์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นนั้นเป็นอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์จะส่งกำลังไปที่ใบพัดเพื่อใช้ในการดีน้ำให้เกิดการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สำหรับควบคุมความเร็วมอเตอร์ BLDC

3. มอเตอร์ (Motor)

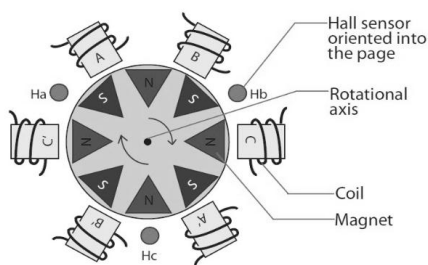
การทำงานปกติของมอเตอร์ไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างสนามแม่เหล็กของแม่เหล็กในตัวมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสในขดลวดทำให้เกิดแรงดูดและแรงผลักของสนามแม่เหล็กทั้งสอง ในการใช้งานตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมการขนส่งใช้มอเตอร์อุตสาหกรรม เป็นต้น

นอกจากนั้นแล้ว มอเตอร์ไฟฟ้ายังสามารถทำงานได้ถึงสองแบบ ได้แก่ การสร้างพลังงานกล และการผลิตพลังงานไฟฟ้ามอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า ปั่น เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ หรือ เครื่องปั่นไฟ มอเตอร์ขนาดเล็กอาจพบในนาฬิกาไฟฟ้า (ศิวัะ หงส์นา, 2547)

มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสูบน้ำซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้าหรือตามโครงสร้างภายในหรือตามการใช้งานหรือตามการเคลื่อนไหวของเอาต์พุต และอื่น ๆ (วีรเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์, 2557)

ส่วนมอเตอร์ที่เรานำมาใช้ในงานวิจัยนี้จะเป็นมอเตอร์ชนิด BLDC เป็นมอเตอร์ที่ใช้ตัวสับเปลี่ยนแบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือที่เรียกว่า Brushless DC electric motor (BLDC) บางส่วนของปัญหาของมอเตอร์ DC ที่ใช้แรงจะถูกตัดทิ้งไปในมอเตอร์แบบ BLDC ซึ่งแทนที่ "สวิตช์หมุน" หรือตัวสับเปลี่ยนแบบกลไก ไปเป็นแบบสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกที่จะ synchronise กับตำแหน่งของโรเตอร์ มอเตอร์แบบ BLDC มักจะมีประสิทธิภาพประมาณ 85-90% และสูงได้ถึง 96.5% ในขณะที่ มอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ brushgear มักจะมีประสิทธิภาพเพียง 75-80% เท่านั้น (กวีพจน์ วรรณเศรษฐิกุล, อิศรี ศรีคุณ และพรหมพักตร์ ดาวัลต์, 2562, น. 53-61)

BLDC มอเตอร์มักใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์และโดยทั่วไปจะใช้พัดลมในการกำจัดความร้อนที่ไม่พึงประสงค์ มันเสียงเงียบมาก ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบถ้าถูกนำไปใช้ในอุปกรณ์ที่จะมีผลกระทบถ้ามีการสั่นสะเทือน BLDC มอเตอร์ที่ทันสมัยจะมีขนาดกำลังตั้งแต่เศษเสี้ยวของวัตต์จนถึงหลายกิโลวัตต์ มอเตอร์ BLDC ขนาดใหญ่ที่มีกำลังสูงถึงประมาณ 100 กิโลวัตต์ ถูกใช้ในรถไฟ BLDC นั้นยังมีประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญกับเครื่องบินไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง แสดงส่วนประกอบภายในของมอเตอร์ BLDC 3-phase (เทวินทร์ นิลสาคร และ พรหมพักตร์ ดาวัลต์, 2559, น.79-91) ดังรูปที่ 4 (เทวินทร์ นิลสาคร, 2557)

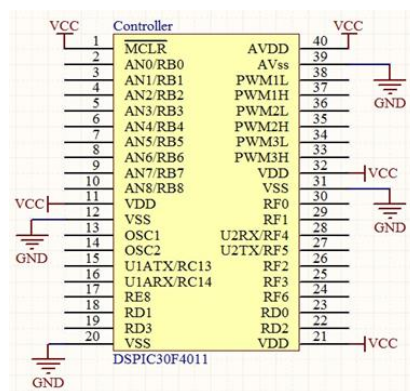


รูปที่ 4 ส่วนประกอบภายในของมอเตอร์
BLDC 3-phase

4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)
dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือรุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F2010/4011 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต จากค่าย Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 ผลิตโดยบริษัท Microchip Inc. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่รวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เข้ากับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้เป็นอย่างดี การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน สามารถเขียนด้วยภาษา C (MPLAB

IDE&MPLAB C30) ที่ครอบคลุมคุณสมบัติทั้งหมดของ dsPIC30F4011 รวมถึงการใช้งานโมดูล DSP ภายในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 มีโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีความละเอียด 10 บิต จำนวน 6 ช่องสัญญาณใช้การแปลงแบบประมาณค่า (Successive Approximation) แสดงโครงสร้างของบอร์ดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

Kashif Ishaque และ Zainal Salam (2012) ได้นำเสนอการหาค่าเหมาะที่สุดของการจับกลุ่มอนุภาค (PSO) แบบกำหนดจุดสูงสุดสำหรับระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์ภายใต้สภาพการบังแสงบางส่วนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการติดตามจุดสูงสุด (MPPT) สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขการแรเงาบางส่วน แนวคิดหลักคือการลบหมายเลขในปัจจัยเร่งของสมการความเร็ว PSO ผลการทดลองพบว่าแม้พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีความผันผวนของพลังงานอาเรียในช่วงกว้าง แต่ประสิทธิภาพเฉลี่ยสำหรับการทดสอบ 10 ชั่วโมงนั้นสูงถึง 99.5%

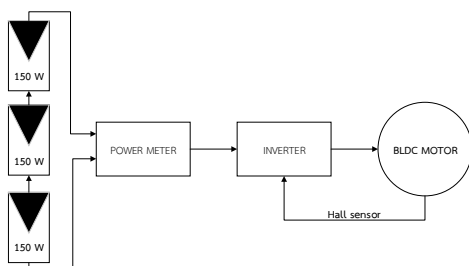
Yi-Hwa Liu , Shyh-Ching Huang, Jia-Wei Huang และ Wen-Cheng Liang (2012) ได้นำเสนออัลกอริธึม MPPT แบบจับกลุ่มอนุภาค (PSO) สำหรับการปฏิบัติการ PGS ภายใต้ PSC รุ่นมาตรฐาน

ของ PSO วิธีการที่นำเสนอมีข้อดีเช่นใช้งานง่าย ไม่ขึ้นกับระบบและมีประสิทธิภาพในการติดตามสูง

ระเบียบวิธีวิจัย

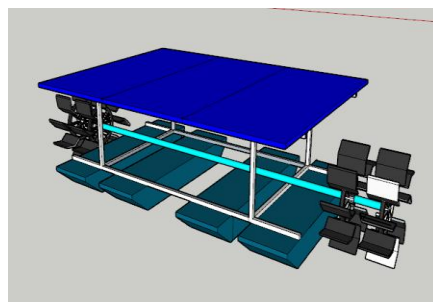
1. การออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นการออกแบบ ระบบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่ใช้ทั้งหมด ตั้งแต่แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ มอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ ใบพัด ทุ่นลอย และ ขั้นตอนการทำงานของระบบบำบัด น้ำเสียทั้งหมด โดยแบ่งรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจะ ประกอบไปด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด ผลึกเดี่ยว ขนาด 150 W ทั้งหมด 3 แผง โดยมีพิกัดกำลัง สูงสุด 450 W แรงดันไฟฟ้าสูงสุดโดยรวมไม่เกิน 60 V และ กระแสสูงสุดไม่เกิน 8 A ดังแสดงใน รูปที่ 6



รูปที่ 6 ระบบภาพรวมของชุดบำบัดน้ำเสียพลังงาน เซลล์แสงอาทิตย์

และทำการออกแบบโครงสร้างของชุดบำบัด น้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Sketch up 2016 แสดงดังรูปที่ 7 (ก) และรูปที่ 2 (ข) แสดงชุดบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์ แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น ตามลำดับ



รูปที่ 7 (ก) ออกแบบโครงสร้างชุดบำบัดน้ำเสีย พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Sketch up 2016



(ข) ชุดบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์

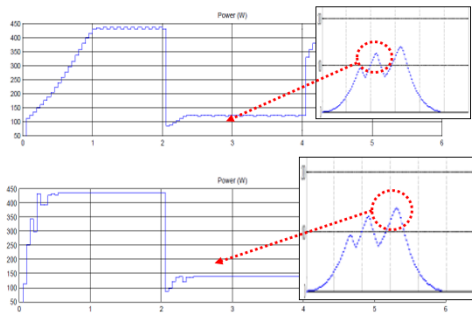
2. ทำการหาค่าเหมาะที่สุดของการจับกลุ่มอนุภาค (PSO) แบบกำหนดจุดสูงสุดสำหรับระบบไฟฟ้า โซลาร์เซลล์ภายใต้สภาพการบังแสงบางส่วนเพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพความสามารถในการติดตาม จุดสูงสุด (MPPT)

3. ทำการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย พลังงานแสงอาทิตย์โดยเปรียบเทียบผลการทดลอง อัลกอริทึม HC กับ อัลกอริทึม PSO

ผลการวิจัย

การจำลองการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ เซลล์แสงอาทิตย์ โดยการสร้างสัญญาณ PWM ที่ 20 kHz ซึ่งผลการจำลองการหาจุดสูงสุดในเซลล์ แสงอาทิตย์ที่มีการเชื่อมต่อแบบอาร์เรย์โดยใช้ อัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมออบติไมเซชันและทำการ เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมทั่วไป ดังรูปที่ 7 ซึ่งจาก การจำลองอัลกอริทึมพาร์ติเคิลสวอมออบติไมเซชัน

สามารถหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

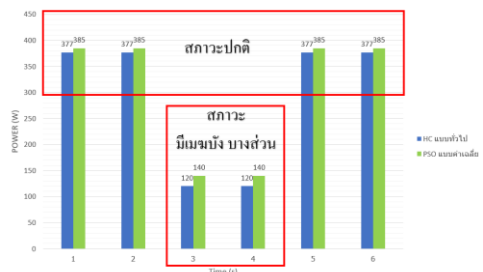


รูปที่ 8 ผลการจำลองการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

เปรียบเทียบการทำงานระหว่างอัลกอริทึม PSO แบบใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้นำเสนอไปแล้วข้างต้น กับอัลกอริทึม HC แบบทั่วไป ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าถ้าความเข้มแสงแดดมีการเปลี่ยนแปลงมาก อัลกอริทึม HC จะใช้เวลาในการหาจุดสูงสุดมากกว่าอัลกอริทึม PSO และในขณะที่มีเงาบางส่วนเกิดขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอาร์เรย์ อัลกอริทึม HC จะไม่สามารถหาจุดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่แท้จริงได้ (local maximum problem) อัลกอริทึม HC หาค่าสูงสุดได้ที่จุด 120 วัตต์ ซึ่งจุดสูงสุดแท้จริง คือ 140 วัตต์ สูญเสียพลังงานไป 20 วัตต์ ในสภาวะคงตัว (ความเข้มแสงแดดและอุณหภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลง) อัลกอริทึม HC จะทำให้เกิดการแกว่งของพลังงานเนื่องจากการทำงานของตัวอัลกอริทึมเอง ทำให้สูญเสียพลังงานไป 8 วัตต์ ส่วนวิธีการที่ได้นำเสนอไปนั้นสามารถหาจุดสูงสุดที่แท้จริงได้คือที่จุด 140 วัตต์ ทำให้สามารถแก้ปัญหา Local maximum problem และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพว่าความเข้มแสงแดดจะมีการเปลี่ยนแปลง และในสภาวะคงตัวอัลกอริทึม PSO แบบค่าเฉลี่ยจะไม่เกิดการสูญเสียของพลังงานเลย

จากรูปที่ 8 แสดงผลการจำลอง ที่เวลา 0 - 2 วินาที และความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ทั้ง 3 แผงมีค่า 1000 W/m^2 และ ที่เวลา 2 - 4 วินาที ใช้ฉากบังแสงแดดเพื่อให้เกิดเงาบางส่วนในเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มีค่าประมาณ 200, 400, 1000 W/m^2 ตามลำดับ ที่เวลา 4-6 วินาที ความเข้มแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มีค่าประมาณ 1000 W/m^2



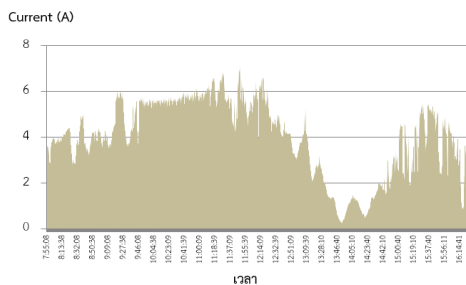
รูปที่ 9 เปรียบเทียบผลการทดลองการติดตามกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยอัลกอริทึม HC และ PSO

ในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอสามารถหาจุดสูงสุดที่แท้จริงได้และลดการแกว่งของพลังงานในสภาวะคงตัว สามารถสรุปได้ว่า PSO อัลกอริทึมแบบค่าเฉลี่ยสามารถหาค่าสูงสุดของพลังงานในเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อแบบอาร์เรย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีประสิทธิภาพสูงเพิ่มขึ้นถึง 17 เปอร์เซ็นต์

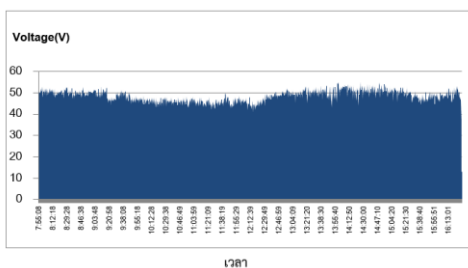
การทดลองระบบบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ การติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำการต่อมอเตอร์ผ่านชุดบำบัดน้ำเสียตลอดระยะเวลาการทำงาน โดยจะทำการเริ่มเก็บค่าพลังงานตั้งแต่ 8.00 น. จนถึง 16.00 น. ทำการเก็บค่าข้อมูลทุก ๆ 10 วินาที ส่งผ่านข้อมูลเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์ ทำให้สามารถทราบพฤติกรรมของจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดตลอดช่วงระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ จุดที่เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนไปตามความเข้มของแสงอาทิตย์ และจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้นำ

ข้อมูลมาทำการเขียนกราฟ ทั้งกระแสและแรงดันทางด้านขาเข้า รวมทั้งกำลังไฟฟ้าทางด้านขาเข้า ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามทฤษฎี การเกิดเงาบังเนื่องจากเมฆที่เกิดขึ้นหรือการเกิดฝนตก ความเข้มของแสงอาทิตย์จะมีค่าไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในแต่ละช่วงเวลา อุณหภูมิก็เช่นเดียวกัน การทดลองในแต่ละช่วงเวลาค่าที่ได้จะมีค่าที่ไม่เหมือนกัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมตัวแปรเหล่านี้ได้นั่นเอง

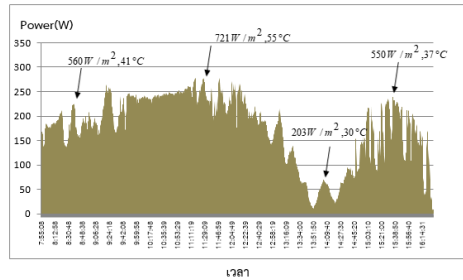
ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียจะแสดงในรูปที่ 10, 11 และ 12 ด้านล่างนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย กราฟกระแสไฟฟ้า กราฟแรงดันไฟฟ้า และกราฟกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ณ สภาวะต่าง ๆ ตลอดทั้งวัน



รูปที่ 10 กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เวลานั้น ๆ



รูปที่ 11 แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เวลานั้น ๆ



รูปที่ 12 ผลการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคนิคอัลกอริทึมพาดิเคิวนวมอฟติไมเซชันแบบค่าเฉลี่ย โดยการเลือกใช้ วงจรอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดลองต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรมทั้งหมด 3 แผง รวมพิกัดกำลัง 450 W ผ่านชุดติดตามกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผลการทดลอง สรุปได้ว่าในสภาวะปกติ PSO อัลกอริทึม จะให้กำลังไฟฟ้าที่มากกว่าเล็กน้อย ประมาณ 8 W อัตราการแกว่งของค่าพลังงานจะน้อยกว่า HC อัลกอริทึม เมื่อเกิดสภาวะเงาบังบางส่วน PSO อัลกอริทึม จะติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อยู่ที่ 140 W ซึ่งในขณะที่ HC อัลกอริทึม จะติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้อยู่ที่ 120 W จะเห็นได้ว่า PSO อัลกอริทึม จะติดตามกำลังไฟฟ้าได้มากกว่า HC อัลกอริทึม ถึง 20 W หรือมีประสิทธิภาพการติดตามกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมากกว่า HC อัลกอริทึม ถึง 17 เปอร์เซ็นต์ และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าได้เร็วกว่า HC อัลกอริทึมอีกด้วย ซึ่งจากการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้วงจรที่ถูกพัฒนาขึ้นทำให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงอยู่ในช่วง 90-95 % Efficiency และยังสามารถติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ตลอดช่วงระยะเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้

ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ค่าต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นมีเงาของเมฆหรือไม่ก็ตาม ยังคงสามารถทำงานได้ดี

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการใช้พื้นที่สำหรับการสร้างชิ้นงาน และขอขอบคุณสถาบันวิจัย และพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

References

- Kashif, I., & Zainal, S. (2012). Deterministic Particle Swarm Optimization Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 60 , Issue: 8.
- Kaweepoj Woranetsuttikul, Isaree Srikun, Promphak Dawan. (2019) .Design and Construction a brushless DC Motor control For small electric vehicles. *The journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University*, Vol 7 (No 1), Page 53-61.
- Krittapas Phinsuntea. (2015). *Design Technique of brushless DC motor control with Sensorless Back EMF Zero Crossing Detection*. (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Majoring in Electrical Engineering.
- Nattawat Jumpasri. (2014). *Improved particle swarm optimization algorithm using average model on PV array maximum power point tracking*. (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Majoring in Electrical Engineering.
- Nattawat Jumpasri. (2014). Improved Particle Swarm Optimization Algorithm using Average Model on MPPT for Partial Shading in PV Array” *IEEECON 2014*. Page 101-104
- Nattawat Jumpasri. (2014). “Comparison of Distributed and Centralized control for Partial Shading in PV Parallel Based on Particle Swarm Optimization Algorithm” *IEEECON 2014*. Page 363-366.
- Nop Mahisanon. (2017). *Solar system And self-produced energy*. (1) Bangkok: Core Function.
- Poom Konghuayrob. (2013). *A study on multiple step size incremental conductance technique and fuzzy logic control for MPPT in flyback PV inverter*. (Master's thesis). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Faculty of Engineering, Majoring in Electrical Engineering.
- Siwa Hongnapha. (2004). *Control and AC Drive Application*. Bangkok: Good View Collection Co.,L
- Suwattana Jitladakorn. (2013). *Decision Support System for Water Resources Engineering Management*. (1). Bangkok: Kasetsart University.

- 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.), Page 79 – 91.
- Tawin Nilsakhon. (2014). *Efficiency improvement on brushless DC motor drive systems*. Thesis Master of Engineering in Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- Weerachet khunngern and Wuttipol Tarateraset. (2014). *Power Electronics* (3). Bangkok: v-j-printing-limited-partnership.
- Yi-Hwa Liu ; Shyh-Ching Huang, Jia-Wei Huang & 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.

การเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่โหลดของระบบโครงข่ายอัจฉริยะ โดยใช้ระบบอนุমানตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว

นิธิกร จันทรหัตถ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

Email : Nitikorn.ju@gmail.com

Received: Nov 11, 2019

Revised: Dec 1, 2019

Accepted: Dec 11, 2019

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก แต่เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียนนั้นค่อนข้างมีความผันผวน ทำให้การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าและแหล่งพลังงานหมุนเวียนในระบบให้สมดุลกับโหลดหรือเรียกอีกอย่างว่าควบคุมความถี่โหลดนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่โหลดของระบบโครงข่ายอัจฉริยะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ เซลล์แสงอาทิตย์ และกังหันลม โดยใช้ระบบอนุমানตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว (ANFIS) เพื่อคาดการณ์กำลังไฟในระบบทั้งหมดและเลือกค่าอัตราขยายควบคุมที่เหมาะสมสำหรับระบบไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง ๆ และนำผลการควบคุมความถี่โหลดที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับวิธีการแบบเดิมที่นิยมใช้ คือ การควบคุมความถี่โหลดโดยใช้ตัวควบคุมพีไอ และการควบคุมความถี่โหลดที่ใช้ตัวควบคุมพีไอดี การจำลองจะถูกแบ่งเป็น 2 กรณี คือ 1) กำลังไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา 2) กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเพียงชั่วขณะ และการจำลองทั้งหมดถูกดำเนินการในโปรแกรม MATLAB/Simulink จากผลการจำลองทั้ง 2 กรณีพบว่าประสิทธิภาพของการคาดการณ์กำลังไฟฟ้ามีความแม่นยำสูง ส่งผลให้วิธีการควบคุมความถี่โหลดที่ใช้วิธีการที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในการทำให้ระบบกลับเข้าสู่เสถียรภาพเร็วที่สุดและมีแอมพลิจูดของการกวัดแกว่งต่ำสุด โดยสามารถลดค่าพุ่งเกินได้ถึง 86% ลดเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพได้ 27.5% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอ และลดค่าพุ่งเกินได้ถึง 35.4% ลดเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพได้ 15.8% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี

คำสำคัญ : ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ, การคาดการณ์กำลังไฟฟ้า, การควบคุมความถี่โหลด, ระบบอนุমানตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว

Improving Efficiency of load frequency control for smart grid using adaptive neuro-fuzzy inference system

Nitikorn Junhuathon

Electrical Engineering Faculty of Engineering Bangkok Thonburi University

Email: Nitikorn.ju@gmail.com

Received: Nov 11, 2019

Revised: Dec 1, 2019

Accepted: Dec 11, 2019

Abstract

This research presents the Improving Efficiency of a load frequency control for smart grid ANFIS. In this research, the smart grid that uses electrical energy from Steam turbine power plant PV arrays and wind turbines generator was controlled by ANFIS. Processes of ANFIS include 1) predicting the total power in the system by neuron network and 2) select the appropriate control gain for the power system in various situations by fuzzy logic. For validating the performance of the proposed method, the results from the proposed method are compared with the conventional method that is used to control the load frequency using the PI controller and load frequency control using PID controller. The simulation is divided into 2 cases: 1) the power is continuously changing, 2) the power is changed momentarily. Furthermore, all the simulations are performed in MATLAB/Simulink. From the simulation results, efficiencies of all cases have the same as the trend that the ANFIS controller is fastest effective in making the system back to the stability and has the lowest amplitude of the changed frequency. The proposed method decreases amplitude 86% and decreases settling time 27.5% from the PI controller. Furthermore, the proposed method decreases the amplitude 35.4% and decreases settling time 15.8% from the PID controller.

Keywords : smart grid, power forecasting, load frequency control, ANFIS

บทนำ

ระบบสมาร์ทกริดหรือโครงข่ายอัจฉริยะ กำลังเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งในประเทศไทยและทั่วโลก ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ คือ ระบบไฟฟ้าที่สามารถทำงานและจัดการตัวระบบเองได้แม้ไม่ได้เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าหลัก โดยจะมีการผลิตพลังงานใช้เองในระบบ และรับ-ส่งพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าหลักในกรณีที่ผลิตได้น้อยกว่าหรือมากกว่าโหลดในระบบ (Monteiro et al., 2019, pp. 1) แต่การใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานในระบบ ไม่สามารถกำหนดปริมาณการผลิตที่แน่นอนได้ จะส่งผลโดยตรงต่อกำลังไฟฟ้าจริงหรือความถี่ของระบบ และถ้าเกิดในปริมาณที่มากอาจจะทำให้ระบบสูญเสียเสถียรภาพได้ ทำให้จำเป็นต้องพิจารณาถึงการควบคุมสมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และโหลดเป็นอย่างดี การควบคุมสมดุลนี้เรียกอีกอย่างว่า “การควบคุมความถี่โหลด” (Sambariya & Fagna, 2017, pp. 1) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา วิธีการควบคุมความถี่โหลดที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก คือ วิธีการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีโอ และตัวควบคุมพีไอดี แต่สำหรับระบบโครงข่ายอัจฉริยะที่ใช้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียนทางธรรมชาติที่มีความผันผวน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมลดลง

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมความถี่โหลดของระบบโครงข่ายอัจฉริยะโดยใช้ระบบอนุমানตรกะศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว และเปรียบเทียบผลการจำลองกับวิธีควบคุมแบบพีโอ และพีไอดี

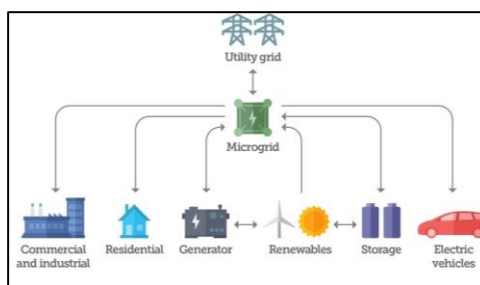
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองของระบบโครงข่ายอัจฉริยะที่ใช้พลังงานหมุนเวียน สำหรับทดสอบประสิทธิภาพของการควบคุมความถี่โหลด
2. สร้างระบบอนุমানตรกะศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัวที่สามารถควบคุมความถี่โหลดของระบบโครงข่ายอัจฉริยะได้ดีกว่าวิธีควบคุมแบบพีโอ และพีไอดี

ระเบียบวิธีวิจัย

1. ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ

ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ คือ ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กหรือขนาดกลาง ที่มีการรวมระบบผลิตไฟฟ้า ส่งจ่ายไฟฟ้าและควบคุมสั่งการเข้าไว้ด้วยกัน สามารถทำงานประสานเชื่อมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก หรือโครงข่ายอื่น ๆ และยังสามารถแยกตัวเป็นอิสระได้ โดยมีตัวควบคุมแบบอัตโนมัติสำหรับรักษาเสถียรภาพของระบบที่ใช้ข้อมูลสารสนเทศส่งผ่านโครงข่ายในระบบเป็นตัววิเคราะห์ แหล่งผลิตไฟฟ้าภายในระบบโครงข่ายอัจฉริยะสามารถเป็นได้ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน หรือพลังงานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานหมุนเวียน ดังแสดงในรูป 1

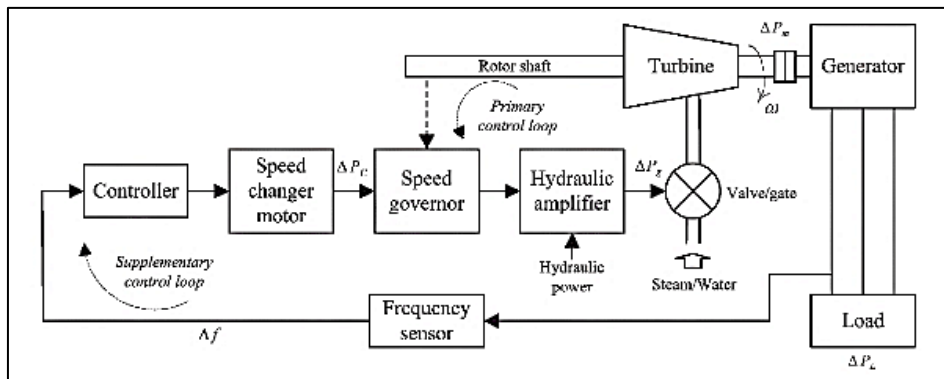


รูปที่ 1 ระบบโครงข่ายอัจฉริยะ

1.1 โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำเป็นโรงไฟฟ้าที่มีแนวโน้มการใช้งานในระบบโครงข่ายอัจฉริยะสูงสุด เนื่องจากการสั้นระยะเวลาใช้งานไม่มาก ทำให้การติดตั้งวางรากฐานเครื่องง่าย มีอัตราส่วนมวลน้ำหนักต่อตันกำลังน้อย ทำให้สร้างได้ขนาดกะทัดรัด ใช้พื้นที่บริเวณติดตั้งเครื่องไม่มาก ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องใช้งานต่ำ

(Yousef, 2017, pp. 3-32) มีความเร็วรอบในการทำงานสูง สามารถต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้โดยตรงกับเพลลาของเครื่องกังหันได้เลย มีอัตราการผลิตสูง โรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำมีส่วนการทำงานหลายส่วนประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนิส กังหัน และชุดควบคุมความเร็วของกังหัน (Shahgholian et al., 2010, pp. 50-54) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเชิงโครนิสของโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำ

ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าจริงต่อความถี่โหลดสามารถหาได้จากสมการที่ 1 กล่าวคือ เมื่อการเปลี่ยนแปลงกำลังทางไฟฟ้าและทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้ความถี่โหลดเกิดการเปลี่ยนแปลง

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = \frac{1}{2H}(\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (1)$$

เมื่อ $\Delta\omega$ คือ ความถี่โหลด (rad/s), H คือ ค่าความเฉื่อยคงที่, (MJ/MVA), P_m คือ กำลังทางกลของเครื่องกังหัน (W), P_e คือ กำลังการผลิตทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W)

$$P_e = P_L - P_{WG} + P_{PV} \quad (2)$$

เมื่อ P_{WG} คือ กำลังจากกังหันลม (W), P_{PV} คือ กำลังจากเซลล์แสงอาทิตย์ (W), P_L คือ กำลังไฟฟ้าโหลด (W),

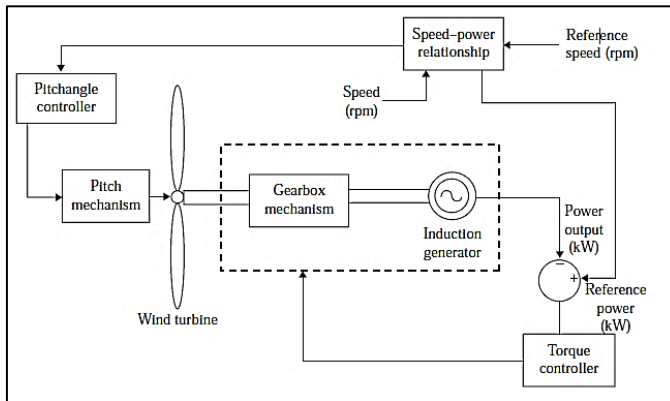
1.2 กังหันลม

กังหันลมหรือระบบแปลงพลังงานลมเป็นพลังงานไฟฟ้า มีส่วนประกอบหลักคือ กังหัน โดยเชื่อมแกนกังหันกับเพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผ่านระบบทดเกียร์ โดยจะแปลงพลังงานจลน์ที่ได้จากการหมุนที่ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดแสดงในรูปที่ 3 กำลังไฟฟ้าจากกังหันลมสามารถหาได้จากสมการที่ 3 (Chowdhury, 2009, pp. 26-29)

$$P_{wg} = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (3)$$

เมื่อ C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังงาน, ρ คือ ความหนาแน่นอากาศ (kg/m^3), A คือ

พื้นที่หน้าตัดรับลมของใบพัด (m^2), v คือ ความเร็วลม (m/s)



รูปที่ 3 ไดอะแกรมก้งหันลมผลิตไฟฟ้า

1.3 เซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานทางไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มแสงแดดเป็นหลัก (Chowdhury, 2009, pp. 227-238) โดยสามารถเขียนเป็นสมการ

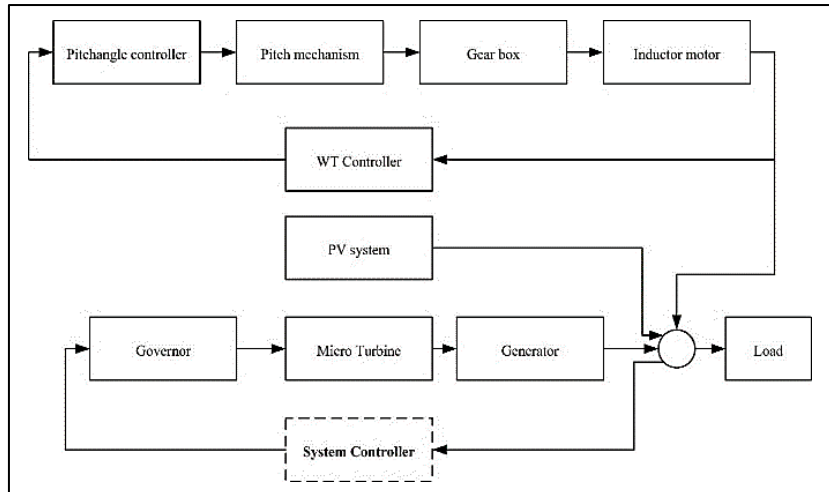
$$P_{PV} = P_{STC} \left(\frac{J}{J_{STC}} \right) [1 - \alpha \Delta T] \quad (4)$$

เมื่อ P_{STC} คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่ามาตรฐาน (W), J คือ ค่า

ความเข้มแสง (W/m^2), J_{STC} คือ ค่าความเข้มแสงที่ทดสอบในสภาวะมาตรฐาน (W/m^2), α คือ สัมประสิทธิ์ที่แสดงถึงการลดลงของกำลังไฟฟ้าที่ได้เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น, T คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

1.4 ระบบทดสอบ

ระบบโครงข่ายอัจฉริยะสำหรับทดสอบการควบคุมความถี่โวลต์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย โรงไฟฟ้าไอน้ำ กังหันลม และเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะทำการควบคุมโรงไฟฟ้ากังหันไอน้ำเป็นตัวควบคุม ความถี่โวลต์ของระบบ



รูปที่ 4 โครงสร้างของระบบทดสอบ

2. การควบคุมความถี่โหลด

การควบคุมความถี่โหลด คือการรักษาสมดุลระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ให้พอดีกับโหลด เนื่องจากถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เท่ากับโหลดแล้ว จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปไม่เท่ากับกำลังทางกลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทำให้ความถี่โหลดเปลี่ยนแปลง ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการควบคุมความถี่โหลดดังนี้

2.1 ตัวควบคุมพีไอและพีไอดี

วิธีคำนวณของ พีไอดี ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน (P) : ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน, ปริพันธ์ (I) : ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ซึ่งพ่วงผ่านกันไปและอนุพันธ์(D) : และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการโดยการปรับค่าคงที่ใน พีไอดี สมการสัญญาณควบคุมที่ได้จากตัวควบคุม พีไอ และ พีไอดี

สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 5 และสมการที่ 6 ตามลำดับ

$$G_{c,PI}(s) = P_{out} + I_{out} \quad (5)$$

เมื่อ $G_{c,PI}$ คือ สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมพีไอ, P_{OUT} คือ สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน, I_{OUT} คือ สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์

$$G_{c,PID}(s) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (6)$$

เมื่อ $G_{c,PI}$ คือ สัญญาณควบคุมของตัวควบคุมพีไอ, D_{OUT} คือ สัญญาณขาออกของเทอมอนุพันธ์

ในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบตัวควบคุมพีไอและพีไอดีเพื่อนำมาเปรียบเทียบโดยใช้ เครื่องมือ PID-Tuner ในโปรแกรม MATLAB/Simulink สำหรับออกแบบ เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับสำหรับนำมาหาค่าอัตราขยายที่เหมาะสมกัน (Yadav, 2018, pp.442-445)

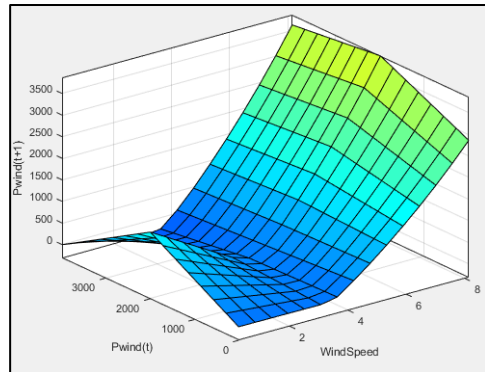
2.2 ตัวควบคุม ANFIS

ทฤษฎีอนุमानตรกระศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัว (Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems) เป็นการใช้ระบบโครงข่ายโครงข่ายเทียม (Neural Network) มาช่วยสร้างกฎเกณฑ์ตรกระศาสตร์คลุมเครือจากกลุ่มข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตเพื่อช่วยให้การสร้างระบบอนุमानตรกระศาสตร์คลุมเครือขึ้นง่ายขึ้นและการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบมีความแม่นยำมากขึ้น (Jagtap & Pillai, 2014, pp. 1190-1194)

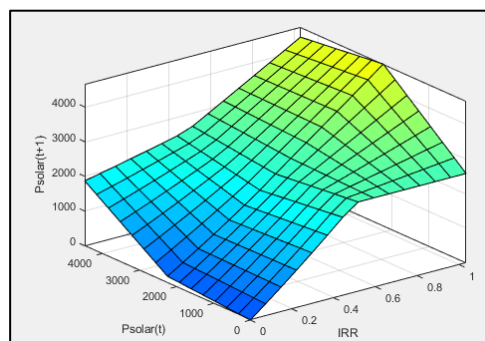
ในงานวิจัยนี้ระบบ ANFIS จะถูกนำมาใช้ปรับปรุงการควบคุมความถี่โหลด แทนตัวควบคุมพีไอและพีไอดี โดยการทำงานของ ANFIS จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่คาดการณ์กำลังไฟฟ้าสำหรับเป็นตัวแปรในการวินิจฉัยหาการปรับสัญญาณควบคุมที่เหมาะสม และส่วนที่วินิจฉัยหาค่าการควบคุมที่เหมาะสมโดยมีรายละเอียดดังนี้

1) การคาดการณ์กำลังไฟฟ้า

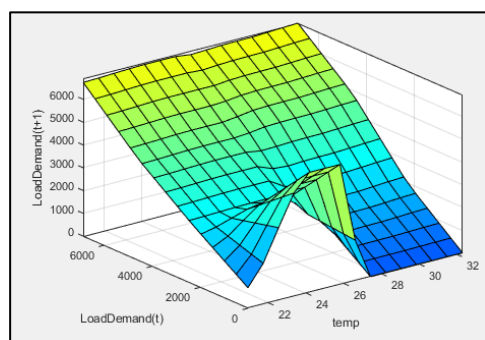
ในการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่จะนำเสนอ โดยแต่ละระบบจะใช้ตัวแปรต้นสำหรับคาดการณ์ ดังแสดงในรูปที่ 5 ถึง 7 ระบบการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากกังหันลมจะใช้ความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าที่ได้ในอดีตเป็นตัวแปรต้น ระบบคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ความเข้มแสงและกำลังไฟฟ้าที่ได้ในอดีตเป็นตัวแปรต้น และระบบคาดการณ์โหลดใช้อุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในอดีตเป็นตัวแปรต้น



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากกังหันลม



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

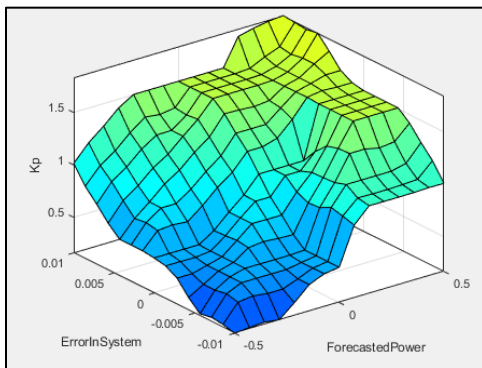


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของการคาดการณ์โหลด

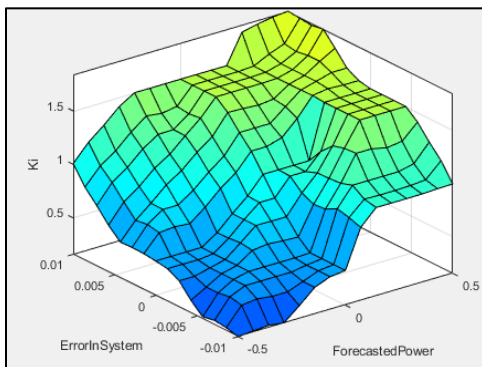
2) วินิจฉัยหาค่าการควบคุม

ในระบบควบคุมตรกระศาสตร์คลุมเครือ จะพิจารณาทั้งหมด 5 ตัวแปรด้วยกัน ประกอบด้วย

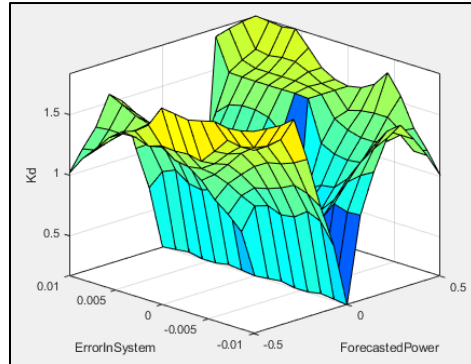
ผลตอบแทนค่าผิดพลาด (Error in system) กำลังไฟฟ้าที่คาดการณ์ (Forecasted power) เป็นสมาชิกในฟังก์ชันแปรผัน และขนาดการปรับอัตราขยาย K_p , K_i และ K_D เป็นตัวแปรตามและความสัมพันธ์ระหว่าง ผลตอบแทนค่าผิดพลาด กำลังไฟฟ้าที่คาดการณ์ และขนาดการปรับอัตราขยาย จะแสดงในรูปที่ 8 ถึง 10



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ในรูปแบบพื้นผิวของขนาดการปรับอัตราขยาย K_p



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ในรูปแบบพื้นผิวของขนาดการปรับอัตราขยาย K_i



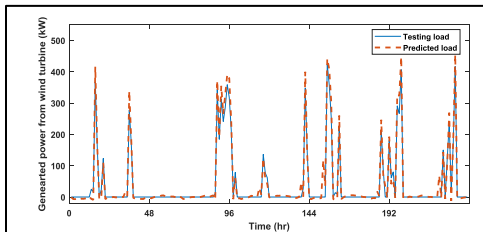
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ในรูปแบบพื้นผิวของขนาดการปรับอัตราขยาย K_D

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB /Simulink เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์และจำลอง เพื่อนำผลการควบคุมความถี่โหนดที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ ซึ่งระบบที่ถูกทดสอบจะเป็นระบบไฟฟ้าแบบหนึ่งพื้นที่ ที่มีโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งพลังงานประกอบด้วยกังหันลม และโซลาร์เซลล์ซึ่งกำหนดให้ ซึ่งวิธีที่นำเสนอคือ การควบคุมความถี่โหนดโดยใช้การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ ร่วมกับการคาดการณ์โหนด ทำการเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมอัตโนมัติแบบฟuzzy และกรณีที่ไม่มีการติดตั้งตัวควบคุมอัตโนมัติ โดยจะแสดงให้เห็นถึงทั้งกรณีที่มีการคาดการณ์ได้แม่นยำ และการคาดการณ์ที่เกิดความผิดพลาดเกินค่าที่กำหนด

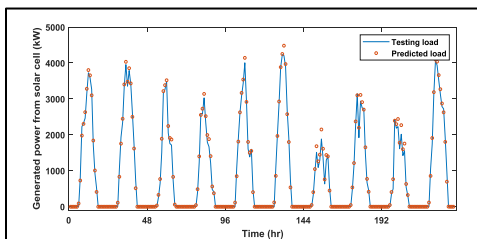
ผลการวิจัย

จากผลการจำลองเพื่อทดสอบและวิเคราะห์วิธีการควบคุมความถี่โหนดที่ใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือร่วมกับการคาดการณ์กำลังไฟฟ้า กับวิธีการควบคุมความถี่โหนดแบบฟuzzy และฟuzzy โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลการจำลองจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก

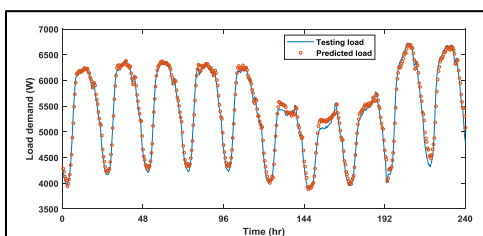
จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าในระบบก่อน และส่วนที่สองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่โวลต์ของระบบที่มีพลังงานหมุนเวียนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบจากค่าผลตอบแทนของเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัว และค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นในการแกว่ง ผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่ได้จะแสดงในรูปที่ 11 ถึง 13



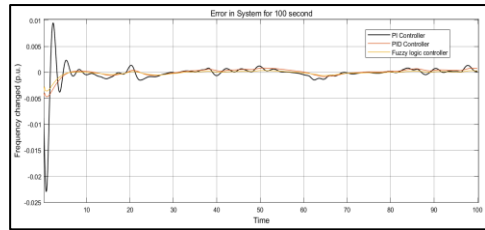
รูปที่ 11 ผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากกังหันลม



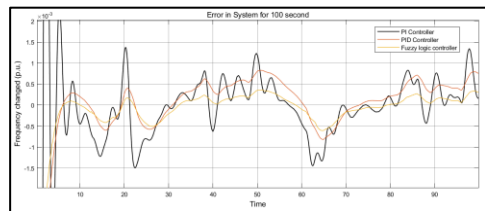
รูปที่ 12 ผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



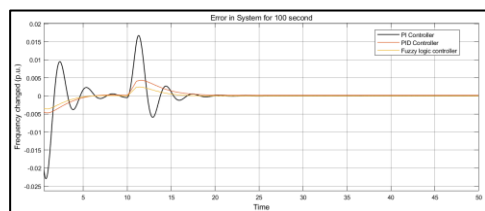
รูปที่ 13 ผลการคาดการณ์โหลด



รูปที่ 14 ผลการควบคุมความถี่โวลต์แบบพีไอพีไอดี และตรรกศาสตร์คลุมเครือ กรณีที่ 1



รูปที่ 15 ผลการควบคุมความถี่โวลต์แบบพีไอพีไอดี และตรรกศาสตร์คลุมเครือ กรณีที่ 1 (ขยาย)



รูปที่ 16 ผลการควบคุมความถี่โวลต์แบบพีไอพีไอดี และตรรกศาสตร์คลุมเครือ กรณีที่ 2

พบว่าประสิทธิภาพของการคาดการณ์กำลังไฟฟ้ามีความแม่นยำสูง ซึ่งผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมโดยใช้ระบบการคาดการณ์อนุกรมตรรกศาสตร์คลุมเครือแบบปรับตัวได้มีความผิดพลาดอยู่ที่ 8.4% ผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีความผิดพลาดอยู่ที่ 4.27% ผลการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่โวลต์มีความผิดพลาดอยู่ที่ 1.6% จากผลการคาดการณ์

ทั้งหมดพบว่าการคาดการณ์กำลังไฟฟ้าที่ได้จากกังหันลมมีค่าความผิดพลาดมากที่สุดเนื่องจากพฤติกรรมการทำงานของกังหันลมนั้นไม่มีรูปแบบที่ค่อนข้างตายตัวคล้ายกับเซลล์แสงอาทิตย์หรือโหนดทำให้คาดการณ์ได้ยากยิ่งขึ้น

จากผลการจำลองทั้ง 2 กรณี กรณีที่ 1 คือ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และกรณีที่ 2 คือ มีการเปลี่ยนแปลงเพียงในตอนเริ่มต้นดังแสดงในรูปที่ 14 ถึง 16 ผลการคาดการณ์ที่ค่อนข้างแม่นยำนี้ส่งผลให้การควบคุมความถี่ที่ใช้ระบบอนุমানตรักษาสถิติคลุ่มเครือแบบปรับตัวมีประสิทธิภาพในการควบคุมความถี่มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และแสดงให้เห็นว่าระบบอนุমানตรักษาสถิติคลุ่มเครือแบบปรับตัวมีประสิทธิภาพในการทำให้ระบบกลับเข้าสู่เสถียรภาพเร็วที่สุดและมีแอมพลิจูดของการกวัดแกว่งต่ำสุด โดยสามารถลดค่าพุ่งเกินได้ถึง 86% ลดเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพได้ 27.5% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอ และลดค่าพุ่งเกินได้ถึง 35.4% ลดเวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพได้ 15.8% เมื่อเทียบกับตัวควบคุมพีไอดี

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการจำลองการควบคุมความถี่โหนด 3 วิธีการคือ (1) ระบบแบบที่ใช้ตัวควบคุมความถี่โหนดแบบพีไอ (2) ระบบแบบที่ใช้ตัวควบคุมความถี่โหนดแบบพีไอดี และ (3) ระบบแบบที่ใช้ตัวควบคุมความถี่โหนด แบบตรรกศาสตร์คลุ่มเครือร่วมกับการคาดการณ์ นำไปจำลองควบคุมในระบบทดสอบที่เกิด การเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเปลี่ยนแปลงในช่วงเริ่มต้นพบว่าวิธีที่ได้นำเสนอนั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ทั้งในแง่ของเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่เสถียรภาพและแอมพลิจูดของการกวัดแกว่ง ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในวิธีการที่ได้นำเสนอนั้นได้มีการปรับขนาดสัญญาณควบคุมโดยใช้อัตรา การเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่กำลังจะเกิดขึ้นซึ่งได้มาจากการคาดการณ์และค่าความผิดพลาดในขณะนั้นเป็นอินพุตสำหรับวิเคราะห์ด้วยค่าตรรกศาสตร์คลุ่มเครือดังที่ได้กำหนดไว้ในตาราง ซึ่งต่างจากการควบคุมแบบพีไอ และพีไอดีที่คงที่อัตราขยายตลอดไม่ว่าจะเกิดการรบกวนแบบใดก็ตาม

References

- Chowdhury, S., Chowdhury, S. P., & Crossley, P. (2009). *Microgrids and active distribution networks*. Stevenage: Institution of Engineering and Technology.
- Jagtap, P., & Pillai, G. N. (2014). Comparison of extreme-ANFIS and ANFIS networks for regression problems. *2014 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*.
- Monteiro, V., Sousa, T. J. C., Sepulveda, M. J., Couto, C., Martins, J. S., & Afonso, J. L. (2019). A Novel Multilevel Converter for On-Grid Interface of Renewable Energy Sources in Smart Grids. *2019 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)*.

- Sambariya, D. K., & Fagna, R. (2017). A robust PID controller for load frequency control of single area re-heat thermal power plant using elephant herding optimization techniques. *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)*.
- Shahgholian, G., Shafaghi, P., & Mahdavi-Nasab, H. (2010). A comparative analysis and simulation of ALFC in single area power system for different turbines. *2010 2nd International Conference on Electronic Computer Technology*.
- Yadav, V., & Tayal, V. K. (2018). Optimal Controller Design for a DC Motor using PID Tuner. *2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC)*.
- Yousef, H. A. (2017). Load Frequency Control of Power Systems. *Power System Load Frequency Control*, 3-32.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ท่านต่อหนึ่งบทความ หากผู้ทรงคุณวุฒิ 2 ท่าน มีความคิดเห็นไม่ตรงกัน ทางวารสารจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิท่านที่ 3 เป็นผู้พิจารณา และต้องได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

การเตรียมต้นฉบับบทความ

ชื่อเรื่อง (Title)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษควรสั้น กระชับ ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ และสื่อความหมายของเรื่องที่ทําอย่างชัดเจน
ชื่อ นามสกุลของผู้เขียน	ระบุชื่อนามสกุลเต็ม ของผู้เขียนให้ครบทุกคน <u>โดยไม่ต้องใส่คำนำหน้านามใดๆ</u> ระบุสถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียน, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Email) 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 กระชับรัดกุมและชัดเจน
วิธีการวิจัย	อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย
ผลการวิจัย	อธิบายผลการทดลองที่พบอย่างชัดเจน ครบถ้วน
สรุปและอภิปรายผล	เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่างๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร โดยต้องมีการอ้างทฤษฎีหรือผลการศึกษาของผู้อื่นที่เกี่ยวข้องประกอบ
กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)	ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

เอกสารอ้างอิง (References) ให้เขียนเอกสารอ้างอิงตามรูปแบบ American Psychological Association (APA) ตามรูปแบบที่กำหนด **โดยแปลเอกสารอ้างอิง (References) จากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ**

**** ไม่รับอ้างอิงจากเว็บไซต์ ****

รูปภาพและตาราง

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

การเขียนเอกสารอ้างอิง

American Psychological Association (APA)

การอ้างอิงในเนื้อหา

กรณีที่ผู้เขียนต้องการระบุแหล่งที่มาของข้อมูลในเนื้อเรื่องให้ใช้วิธีการอ้างอิงแบบนาม-ปี (author-date in-text citation) มี 3 รูปแบบ ดังนี้

1. (ผู้แต่ง, ปีพิมพ์, เลขหน้า) ไว้ท้ายข้อความที่อ้างอิง เช่น (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2553, น. 35-40)

(McCartney & Phillips, 2006, pp. 498-499) (Murphy, 1999, p. 85)

กรณีที่ไม่มีปรากฏเลขหน้าให้ลงแค่ชื่อผู้แต่งกับปีพิมพ์ไว้ในวงเล็บเดียวกัน

เช่น (ธานินทร์ ศิลป์จารุ, 2553)

2. ผู้แต่ง (ปีพิมพ์, เลขหน้า) กรณีมีการระบุชื่อผู้แต่งในเนื้อหาแล้ว ไม่ต้องระบุ ไว้ในวงเล็บ

ท้ายข้อความที่อ้างอิง เช่น ยุทธ ไกยวรรณ (2557, น.45) ได้ศึกษาถึง.....

Kanokon Boonsangsuk (2002, p. 14) studied.....

กรณีที่ไม่มีปรากฏเลขหน้าให้ลงแค่ชื่อผู้แต่งกับปีพิมพ์โดยลงปีพิมพ์ไว้ในวงเล็บ

เช่น สายชล ทองคำ (2550)

3. ปีพิมพ์ ผู้แต่ง (เลขหน้า) กรณีมีการระบุปีพิมพ์และผู้แต่งในเนื้อหาแล้ว (ปีพิมพ์และผู้แต่งสามารถสลับที่กันได้) ให้ระบุเฉพาะเลขหน้าที่อ้างอิงถึงในวงเล็บเท่านั้น เช่น ในปี 2551 รัชสรรค์ ประเสริฐศรี ได้กล่าวว่า ผู้นำ คือ บุคคลที่ทำให้องค์กรประสบความสำเร็จ โดยเป็นผู้แสดงบทบาทความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล หรือผู้นำคือ บุคคลซึ่งก่อให้เกิดความมั่นคงและช่วยเหลือบุคคลต่างๆ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของกลุ่ม จากความหมายของผู้นำที่กล่าวข้างต้น พอสรุปได้ว่า ผู้นำเป็นบุคคลที่มีอำนาจหรืออิทธิพลเหนือบุคคลอื่นในกลุ่มหรือชุมชน เป็นที่ยอมรับและได้รับการเชื่อฟังจากสมาชิกของกลุ่มหรือชุมชนที่ต้องปฏิบัติตามเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์และเป้าหมายของกลุ่มที่ตั้งไว้ (น. 9)

การอ้างอิงท้ายบทความ

เป็นการรวบรวมเอกสารทั้งหมดที่ผู้เขียนบทความได้ใช้อ้างอิงในการเขียนบทความ ****โดยแปลเอกสารอ้างอิงจากภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ** และจัดเรียงรายการตามลำดับอักษรชื่อผู้แต่ง ตัวอย่างเช่น

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*. (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ, *ชื่อหนังสือ(ตัวเอียง)*. (เลขหน้าบทความ).

เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. *ชื่อวารสาร(ตัวเอียง)*. ปีที่พิมพ์ (ฉบับที่), เลขหน้าบทความ.

ชื่อผู้เขียนวิทยานิพนธ์. (ปีที่วิจัยสำเร็จ). *ชื่อวิทยานิพนธ์(ตัวเอียง)*. วิทยานิพนธ์ปริญญา(ระดับ)

ชื่อสาขาวิชา สังกัดของสาขาวิชา มหาวิทยาลัย.

การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <http://www.journal.fit.ssru.ac.th> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก แขวงวังชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit@ssru.ac.th



แบบฟอร์มส่งบทความวิจัยเพื่อพิจารณาตีพิมพ์
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย)
.....
(ภาษาอังกฤษ)

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ

ระดับการศึกษาสูงสุด ตำแหน่งทางวิชาการ

หน่วยงาน

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2)

เลขที่ ถนน แขวง/ตำบล

เขต/อำเภอ จังหวัด รหัสไปรษณีย์

โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ โทรสาร

E-mail.....

ข้าพเจ้า และผู้เขียนร่วม (ถ้ามี) ขอรับรองบทความที่เสนอตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ดังนี้

1. บทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่ได้อยู่ระหว่างกระบวนการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารใดๆ

2. เนื้อหาของบทความ ทั้งข้อความ รูปภาพ ทั้งหมดที่ปรากฏขอรับรองว่าเป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วม ในกรณีที่มีการอ้างอิงผลงานจากผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมได้ดำเนินการตามจรรยาบรรณทางการวิจัยทุกประการ กรณีมีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอรับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว

3. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมยอมรับเงื่อนไขของการพิจารณาบทความ และยินยอมปรับแก้บทความตามคำแนะนำของผู้ทรงคุณวุฒิหรือตามที่กองบรรณาธิการเห็นสมควร

4. ข้าพเจ้าและผู้เขียนร่วมขอมอบลิขสิทธิ์บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ให้แก่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ลงชื่อผู้ส่งบทความ
(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

หมายเหตุ : กองบรรณาธิการไม่รับพิจารณาบทความที่ไม่ดำเนินการตามรูปแบบที่กำหนด