

วารสารวิชาการ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม



JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND ENGINEERING

Pibulsongkram Rajabhat University

ณัฐติ ถึงสุข, ทวีศักดิ์ ดันธะราม, ชีรพงษ์ แสงบุญ, ปัญญา สุณาเลา, อัครกิตติ์ ไชยอนกุลวัฒน์
The Surface Study of Indium Tin Oxide (ITO) Thin Film on Silicon Wafer with Sparking Voltage.
ไพฑูรย์ ทองทรัพย์ The creation of molding on plaster, ณัฐติ ถึงสุข, ธนโชติ เข้มศรี, ชีรวัฒน์
นิพนธ์ เขื่อนเพชร, วิสิทธิ์ ศรีศักดิ์, อัครกิตติ์ ไชยอนกุลวัฒน์ Development and optimization
of Boost converter circuit with snubber techniques, ณัฐติ ถึงสุข, ณัฐพงศ์ จอมทอง, ชีรพงษ์
อัครกิตติ์ ไชยอนกุลวัฒน์ The Study of Moving Time of PCB Punching Machine from Stepping
Motor Control by Microcontroller, อัครกิตติ์ ไชยอนกุลวัฒน์, ณัฐติ ถึงสุข, ชีรวัฒน์ แสงบุญ, ศิลาดาวัฒน์
นฤพร คงราญ, นฤมล เทพยาพระณรงค์ Harmonics control in single-phase electrical systems
for residential buildings with an shunt active power filtering mechanism, N.Thungsuk, S.Tati,
T.Tanaram FEASIBILITY STUDY OF ELECTRIC GENERATION FROM WASTE WIND COOLED, ธนิตา
อลงการณ เมืองโหว Supply Chain Management for Wood Furniture Product in Bangrakum District
Phitsanulok, ปารวณดา สีลาพันธ์, ภัทรวล พูลแสง, วิพัชรา สายทองคำ, อรภาณี พรหมพงษ์ The development
of a multi - purpose table set model from transportation wood.

ISSN 2697-5602 (Print)

ISSN 2697-5629 (Online)

INDIUM TIN OXIDE
MOLD BOOST CONVERTER
SNUBBER
STEPPING MOTOR
MICROCONTROLLER
SPARKING TECHNIQUES
SMALL PCB PUNCHING MACHINE
RESIDENTIAL BUILDING

MULTI-PURPOSE TABLE SET
SUPPLY CHAIN PHASE-LOCKED LOOP
TOTAL HARMONIC DISTORTION
WOOD FURNITURE
RENEWABLE ENERGY
PLASTER

WIND TURBINE CREATIVE
PUNCHING MACHINE
TRANSPORTATION WOOD
VALUE CHAIN
THIN FILM DEVELOPMENT
ZERO-VOLTAGE SWITCHING WING POWER
CANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM)

INDUSTRIAL TECHNOLOGY

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1
มกราคม - เมษายน

2563



ข้อกำหนดมาตรฐาน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เพื่อให้วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและการออกแบบ รวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามบทความที่ส่งเข้ามาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และจะต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่นๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมพลังงาน / พลังงานทดแทน วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโลจิสติกส์ มาตรฐาน วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิกส์ การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.2 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. การพิจารณาบทความ

การ Peer - review คือ รูปแบบการพิจารณาบทความ เป็นแบบ "Double blind" เจ้าของบทความไม่ทราบผู้ทรงฯ ผู้ทรงฯไม่ทราบเจ้าของบทความ Review Policy ขอบเขต วัตถุประสงค์ของบทความจะต้องตรงกับวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กำหนด



การพิจารณาบทความ

1. การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในการพิจารณา 2 คน ต่อ 1 บทความ
2. กรณีบทความมาจากบุคคลภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 2 คน
3. กรณีบทความจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก 2 คน
4. กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลาที่กองบรรณาธิการแจ้ง กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

4. กำหนดออกเล่มวารสาร

กำหนดออกวารสาร: ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite>

หรือนำส่งเอกสารต้นฉบับ ได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม 156 หมู่ 5 ตำบลพลายชุมพล อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร/โทรสาร 055-267124

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University) Print ISSN : 2697-5602, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 2 ฉบับที่ 1 มีเนื้อหาที่เน้นด้านทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่าง ๆ สำหรับเนื้อหาในฉบับนี้ ประกอบด้วย บทความวิจัย 8 โดยมีเนื้อหาประกอบด้วย สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จำนวน 4 บทความ สาขาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จำนวน 2 บทความ สาขาวิศวกรรมพลังงาน จำนวน 1 บทความ สาขาวิศวกรรมโลจิสติกส์ จำนวน 1 บทความ โดยบทความทั้งหมดได้ผ่านการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review) ในสาขานั้น ๆ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพก่อนการตีพิมพ์ และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/issue/view/16508> ภายใต้ระบบ ThaiJo ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย

กองบรรณาธิการและคณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคุณภาพบทความ และผู้สนใจที่กรุณาช่วยกันสนับสนุนและให้ความไว้วางใจผลงานของวารสารฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากนักวิจัยที่ได้กรุณาเผยแพร่ผลงานในวารสารนี้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับเกียรติและความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป



รองศาสตราจารย์ ดร.สนธิ ปิ่นสกุล
บรรณาธิการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
การศึกษาพื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่นซิลิกอนจากแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คณัฐทิ ถึงสุข, ทวีศักดิ์ ตันอร่าม, บัญชา คุณาเลา, ชีรพงษ์ แสงบุญ1, อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์.....	1-8
การสร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูรย์ ทองทรัพย์.....	9-21
การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสแน็บเบอร์อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์, ณัฐทิ ถึงสุข, ชีรวุฒิ แสงบุญ, ธนโชติ เริ่มศรี, นิพนธ์ เชื้อนเพชร และวิสิทธิ์ ศรศักดิ์.....	22-34
การศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมสแต็ปมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ณัฐทิ ถึงสุข, ณัฐพงศ์ จอมทอง, ชีรพงษ์ แสงบุญ และ อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์.....	35-43
การควบคุมฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าเฟสเดียวสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยที่มีกลไกการกรองกำลังแยกทีฟแบบขนานอัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์, ณัฐทิ ถึงสุข, ชีรวุฒิ แสงบุญ, ศักดา วุฒิ บุญด้ว, นฤพร คงคราญ และ นฤมล เทพยาพระณรงค์.....	44-55
FEASIBILITY STUDY OF ELECTRIC GENERATION FROM WASTE WIND COOLEDNuttee Thungsuk, Sunan Tati and Thaweesak Tanaram..	56-65
การจัดการห่วงโซ่อุปทานสำหรับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลกธนิดา ไชยงนุช และ อลงกรณ์ เมืองไหว.....	66-75
การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่งปรารธนา ศิริสานต์, ภัทรพล พลูแสง, วริษฐา สายทองคำ และ อรญาณี พรมาพงษ์.....	76-87

การศึกษาพื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์
บนแผ่นซิลิกอนจากแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์ค

THE SURFACE STUDY OF INDIUM TIN OXIDE (ITO) THIN FILM
ON SILICON WAFER WITH SPARKING VOLTAGE

ณัฐทิ ธิงสุข^{1*}, ทวีศักดิ์ ดันอรัม², บัญชา คุณาเลา¹, ชีรพงษ์ แสงบุญ¹, อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์¹
Nuttee Thungsuk^{1*}, Thaweesak Tanaram², Buncha Kunnalao¹, Teerawut Sarangboon¹
and Arckarakit Chaithanakulwat¹

¹หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University, Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้ารับ 20 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 15 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์กมีต้นทุนที่ต่ำ สำหรับหลักการคือการใช้สองขั้วไฟฟ้าแรงสูงทำการสปาร์คเพื่อให้ไอระเหยของอินเดียมและดีบุกจากหลอดตกลงสู่พื้นผิวของแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอนทางด้านล่าง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่นซิลิกอนจากแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 4 kV, 7 kV และ 10 kV ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ถูกรอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 180 นาทีและได้รับการตรวจสอบพื้นผิวโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ (SEM/EDS) ซึ่งพบว่าพื้นผิวของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์เป็นลักษณะเป็นแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เมื่อใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 7 kV และ 10 kV อย่างไรก็ตามสามารถยืนยันได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้า 4 kV ไม่สามารถพบลักษณะเฉพาะของฟิล์มได้แต่อย่างใด นอกจากนั้นที่แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่สูงขึ้นได้ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่สม่ำเสมอมากขึ้น

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง, อินเดียมและดีบุก, เทคนิคการสปาร์ค, กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

Abstract

The cost of thin film fabrication using spark technique was low. The principle is to use two electrodes of high voltages for sparking in order to let vapors of indium and tin of wire fall down to the surface on silicon wafer. In this research, the properties of indium tin oxide (ITO) thin film on silicon wafer from sparking voltage at 4 kV, 7 kV and 10 kV were studies. The ITO thin film was annealing at 250°C for 180 minutes and the surface of thin film was investigated by Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive X-ray Spectrometer (SEM/EDS). It was found that, the surface of ITO thin film was the Amorphous film when high voltage was 7 kV and 10 kV. However, it was confirmed that the voltage at 4 kV cannot find characteristic of the film in any way. In addition, the higher voltage of the spark was resulted in the uniform of surface in the film.

Keywords: Thin film, Indium and tin, Sparking technique, Scanning electron microscopy (SEM)

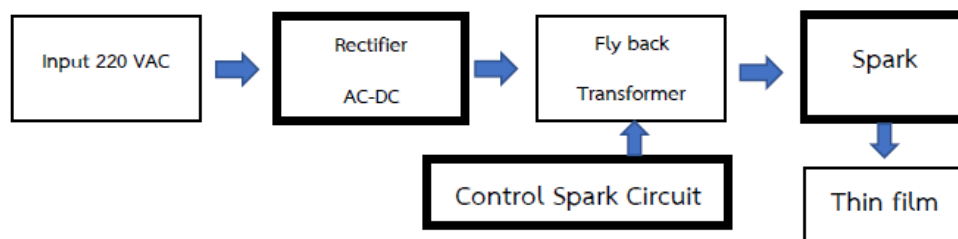
1. บทนำ

ฟิล์มบางของอินเดียมทินออกไซด์จัดเป็นสารโปร่งแสงที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น OLED-display, organic solar cells เป็นต้น (Rhaleb, *et al.*, 2002; Harith & Mariam, 2013 และ Jeffrey & David, 2012) โดยเทคนิคสำหรับการสร้างฟิล์มมีอยู่หลายวิธีเช่น การทำให้เป็นไอด้วยความร้อน การสปัตเตอร์ริง หรือการสร้างด้วยวิธี ทางเคมี (Jun *et al.*, 2010; László *et al.*, 2011 และ Thian-Khok *et al.*, 2012) แต่วิธีการเหล่านี้มีต้นทุนในการสร้างฟิล์มบางที่สูง

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์คเป็นเทคโนโลยีในการสร้างฟิล์มบางที่มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างต่ำ (Thongpan *et al.*, 2019) โดยทำให้โมเลกุลของอากาศระหว่างขั้วคาโทดและแอโนดแตกตัวเป็นไอออนลบพุ่งเข้าชนคาโทดส่วนอิเล็กตรอนพุ่งเข้าชนแอโนดทำให้เกิดการสปาร์คและทำให้สสารที่มีอนุภาคระดับนาโนไปถึงขนาดไมโครของสสารนั้นตกสะสมของบนฐานรองจนเกิดเป็นฟิล์มบาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คเพื่อสร้างฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ลงบนแผ่นซิลิกอน และได้ทำการตรวจสอบฟิล์มเบื้องต้นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM/EDS)

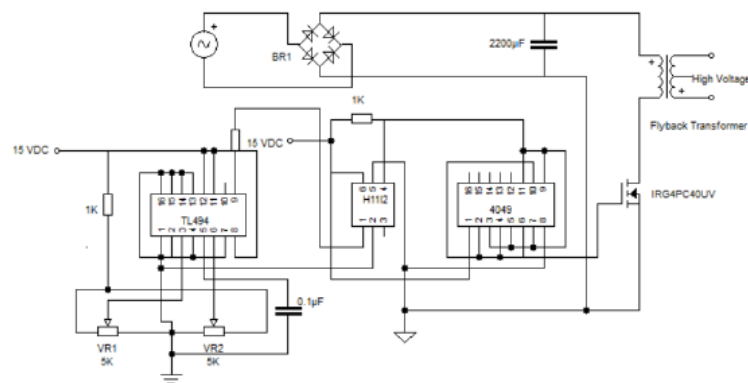
2. การออกแบบการทดลอง

การสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์ค มีส่วนประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ วงจรเรียงกระแส (Rectifier circuit) วงจรควบคุมการสปาร์ค (spark circuit) และการสปาร์คจากไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงเพื่อสร้างฟิล์มบาง ซึ่งสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า 1-10 kV และความถี่ 1-10 kHz ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์ค

วงจร Rectifier ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0-20 Vdc จากการปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับโดยหม้อแปลงวารีแอก ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตถูกนำไปเข้าเป็นอินพุตของหม้อแปลงฟลายแบคต่อไป



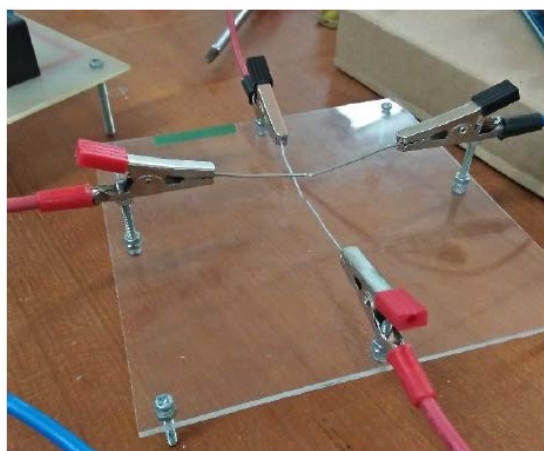
ภาพที่ 2 วงจรควบคุมการสปาร์ค

ภาพที่ 2 แสดงวงจรควบคุมการสปาร์คได้ใช้วงจรสร้างความถี่สูงจากไอซีเบอร์ TL494 ซึ่งเป็นตัวสร้าง Pulse width modulation (PWM) สำหรับควบคุมการสวิตชิงของอุปกรณ์ นอกจากนั้น IGBT เบอร์ IRG4PC50UD ถูกนำมาใช้สำหรับการสวิตชิงให้กับหม้อแปลงฟลายแบคเบอร์ TLF14511F และสร้างเป็นวงจรดังกล่าวได้ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรที่สมบูรณ์ของการผลิตฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปาร์ค

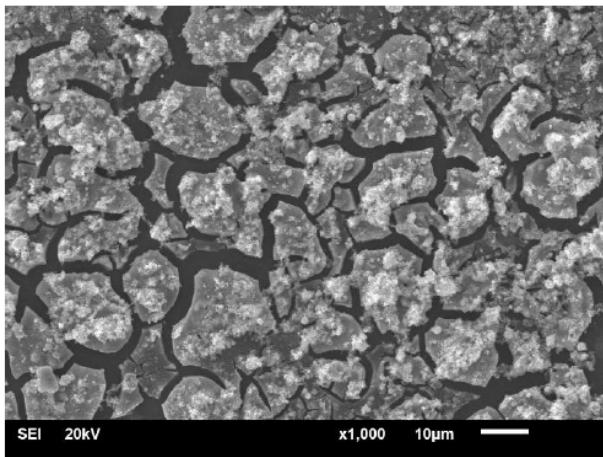
ภาพที่ 4 แสดงการทำงานการผลิตฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปาร์ค ซึ่งได้ทำต่อเอาต์พุตเป็น 2 ชุด สำหรับนำมาจ่ายให้กับหลอดสองชนิดคือหลอดอินเดียมกับหลอดทิน โดยเว้นระยะห่างของอิเล็กโทรดขั้วบวกและด้านขั้วลบที่ 2 mm ไอละยองจากเทคนิคการสปาร์คได้ตกลงไปด้านล่างซึ่งส่งผลให้เกิดการสะสมแล้วเป็นฟิล์มบนแผ่นซิลิกอนเวเฟอร์



ภาพที่ 4 การวางหลอดอินเดียมกับหลอดทิน สำหรับการสปาร์ค

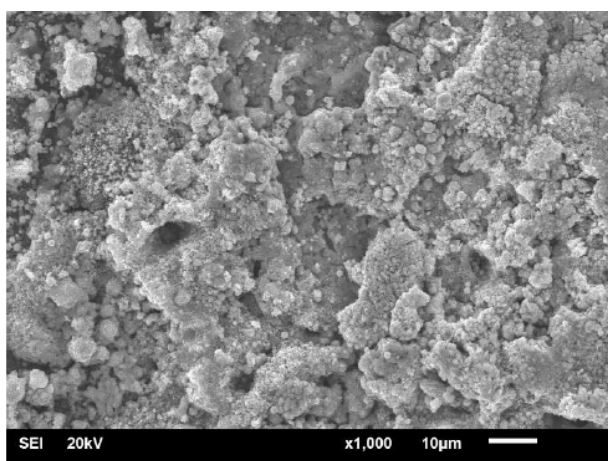
เงื่อนไขในงานวิจัยนี้สำหรับสร้างฟิล์มคือได้ใช้แรงดันสปาร์คเป็น 4 kV, 7 kV และ 10 kV และระยะเวลาในสปาร์คที่ 30 นาทีหลังจากนั้นได้นำตัวอย่างชิ้นงานไปทำการอบที่อุณหภูมิ 250 C ที่เวลา 180 โดยสัณฐานวิทยาของฟิล์มบาง อินเดียมทินออกไซด์ ได้รับการตรวจสอบโดย SEM / EDS ยี่ห้อ JEOL รุ่น SM-6610LV ในเงื่อนไขที่แตกต่างกันของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสปาร์ค

3. ผลการทดลอง



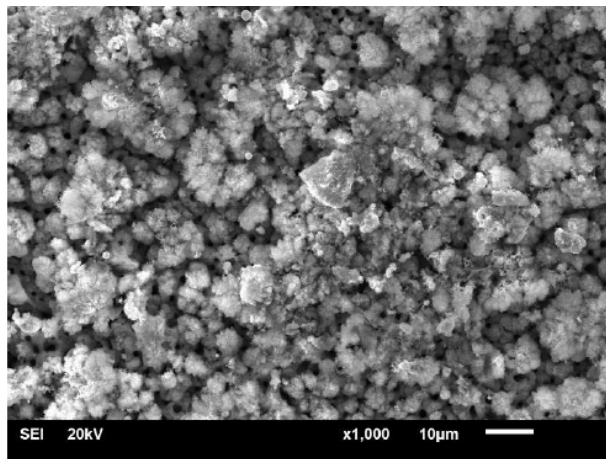
ภาพที่ 5 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 4 kV

ภาพที่ 5 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิคอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 4 kV สำหรับการสร้างฟิล์มบางด้วยเทคนิคการสปาร์คเมื่ออบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที ซึ่งพบว่าพื้นผิวไม่ใช่พื้นผิวฟิล์มเนื่องจากไอของอินเดียมและดีบุกแพร่กระจายเป็นหย่อม ๆ นอกจากนี้ไอของอินเดียมและดีบุกบนซิลิคอนเวเฟอร์ยังไม่ได้เชื่อมต่อย่างสมบูรณ์ ซึ่งยืนยันได้ว่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับการสปาร์คที่ 4 kV ไม่สามารถทำให้เกิดเป็นเนื้อฟิล์ม อินเดียมทินออกไซด์ ได้



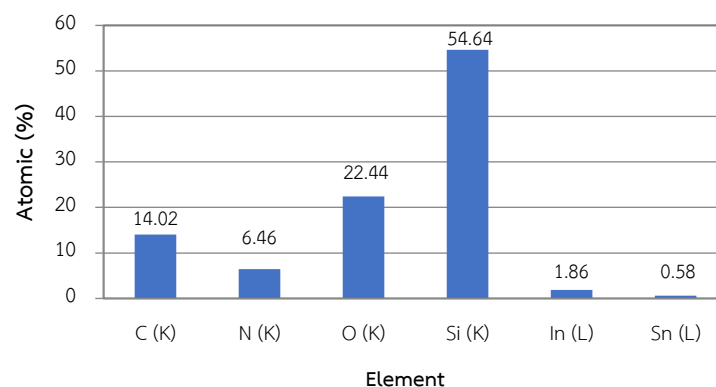
ภาพที่ 6 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น Silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 7 kV

ภาพที่ 6 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิกอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 7 kV เมื่อเงื่อนไขในการอบเช่นเดียวกับภาพที่ 5 ซึ่งพบว่าพื้นผิวของพื้นผิวเริ่มเกิดเป็นเนื้อฟิล์ม จากการเชื่อมต่อของไอละอองอินเดียมและไอละอองทิน แต่ฟิล์มที่เกิดขึ้นนั้นยังไม่มีระเบียบเสมอทั่วทั้งพื้นที่ โดยยังคงมีความสูงบ้างต่ำบ้าง ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ยืนยันได้ว่าสัญญาณของพื้นผิวเป็นภาพแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous)



ภาพที่ 7 พื้นผิวฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนแผ่น silicon wafer ใช้แรงดันไฟฟ้า 10 kV

ภาพที่ 7 แสดงภาพพื้นผิวอินเดียมทินออกไซด์บนพื้นผิวซิลิกอนเวเฟอร์จาก SEM ด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่าจากแรงดันสปาร์คที่ 10 kV เมื่อเงื่อนไขในการอบเช่นเดียวกับภาพที่ 5 ซึ่งสังเกตได้ว่าไอละอองที่ตกลงพื้นผิวรองรับมีลักษณะที่เป็นฟิล์มที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าการให้แรงดันไฟฟ้าที่ 7 kV แต่อย่างไรก็ตามยังคงยืนยันได้ว่าสัญญาณของพื้นผิวเป็นภาพแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) เช่นเดียวกับการให้แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 7 kV ในภาพที่ 6



ภาพที่ 8 ปริมาณของธาตุบนแผ่นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์จากวิเคราะห์ด้วย EDS

ภาพที่ 8 แสดงปริมาณของธาตุบนแผ่นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ที่มี Silicon wafer substrate ด้วยการวิเคราะห์ด้วย EDS แบบส่องกราด ซึ่งพบว่าปริมาณที่มากที่สุดเป็น Silicon อันเนื่องจากวัสดุรองรับเป็น Silicon wafer แต่อย่างไรก็ตามธาตุที่ถูกทำเป็นฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์สามารถที่พบได้เช่นเดียวกัน โดยที่ปริมาณของอินเดียมเป็น 1.86% และปริมาณของทินเป็น 0.58% ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าเทคนิคการสปาร์คสามารถเตรียมฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ได้

4. สรุป

การศึกษาแรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คเพื่อสร้างฟิล์มอินเดียมทินออกไซด์ลงบนแผ่นซิลิกอนสำเร็จไปด้วยดีจากการใช้แรงดันไฟฟ้าสำหรับการสปาร์คของลวดอินเดียมและลวดทินที่ต่างกันว่า 4 kV, 7 kV และ 10 kV ความถี่ในการสวิตซ์ที่ 10 kHz ทำให้เกิดเป็นไอละอองขนาดเล็กแล้วตกลงสู่แผ่นรองรับ จากนั้นทำการอบที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที และสัญญาณของฟิล์มที่เกิดขึ้นได้รับการตรวจสอบจากการใช้ SEM/EDS ในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าที่แรงดันไฟฟ้าในการสปาร์คที่ 4 kV ไม่สามารถทำให้เกิดเนื้อฟิล์มได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 7 kV และ 10 kV โดยสังเกตสัญญาณที่ได้รับการตรวจสอบโดย SEM พบว่าเกิดเป็นฟิล์มเป็นแบบอะมอร์ฟัส (Amorphous) นอกจากนั้นยังยืนยันได้ว่าเมื่อแรงดันสปาร์คที่สูงขึ้นได้ส่งผลให้ฟิล์มที่ได้มีลักษณะที่สม่ำเสมอมากขึ้น แต่อย่างไรเมื่อทำการทดสอบด้วยเทคนิค EDS พบว่าปริมาณอินเดียมและทินที่เกิดขึ้นยังค่อนข้างน้อยจึงต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

- Harith, I., Mariam, M. (2013). Preparation of ITO thin film by Sol-Gel method. **International Journal of Electrical Engineering**. 1(6), 18-22.
- Jeffrey, M. G., & David, W. S. (2012). Deposition of indium tin oxide by atmospheric pressure chemical vapour deposition. **Thin Solid Films**, 520(12), 4110-4113.
- Jun, M., Hiroyuki, I., Hayato, T., Osamu, T., & Yasushi, I. (2010). Electrochromic phenomenon in indium-tin oxide thin films deposited by RF magnetron sputtering. **Thin Solid Films**, 518(21), S6-S931.
- László, K., Szilvia, P., & Imre, D. (2011). Preparation of transparent conductive indium tin oxide thin films from nanocrystalline indium tin hydroxide by dip-coating method. **Thin Solid Films**, 519(10), 3113-3118.

- Rhaleb, H. E. L., Benamar, E., Rami, M., Roger, J. P., Hakam, A., & Ennaoui, A. (2002). Spectroscopic ellipsometry studies of index profile of indium tin oxide films prepared by spray pyrolysis. **Applied Surface Science**, 201(1–4), 138-145.
- Thian-Khok, Y., Sek-Sean, T., Chen-Hon, N., Seong-Shan, Y., Yeh-Yee, K., György, S., Zsolt, E.H., Jason, M., Yoke-Khin, Y., & Teck-Yong, T. (2012). Pulsed laser deposition of indium tin oxide nanowires in argon and helium. **Materials Letters**, 66(1), 280-281.
- Thongpan, W., Louloudakis, D., Pooseekheaw, P., Kumpika, T., Kantarak, E., Panthawan, A., Tuantranont, A., Thongsuwan, W., & Singjai, P. (2019). Electrochromic properties of tungsten oxide films prepared by sparking method using external electric field. **Thin Solid Films**, 682, 135-141.



การสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ THE CREATION OF MOLDING ON PLASTER

ไพฑูรย์ ทองทรัพย์^{1*}

Associate Professor Dr. Phitoon Thongsap^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ ประเทศไทย 60000

¹Faculty of Agriculture and Industrial Technology, Nakhon Sawan Rajabhat University,

Muang, Nakhon Sawan, Thailand, 60000

*Corresponding author E-mail: phitoon_315@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 15 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 20 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

การสร้างสรรค์งานงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อศึกษางานปั้นที่มีอยู่ทั่วไป 2. เพื่อสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ 3. เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ 4. เพื่อนำความรู้ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนในห้องเรียนระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการออกแบบ โดยมีวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้ ขั้นตอนที่ 1 ศึกษา งานปั้นที่มีอยู่ทั่วไป ขั้นตอนที่ 2 นำดินมาปั้นตามแบบที่ต้องการแล้วใช้กาบเป็นตัวประสานให้ติดกับปูนปลาสเตอร์ภาพทรงสี่เหลี่ยม ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ ด้านวัสดุ ด้านการออกแบบ และด้านประโยชน์ใช้สอย ขั้นตอนที่ 4. นำความรู้ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนในห้องเรียนระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการออกแบบ

ผลการวิจัยพบว่า คนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับมาก ด้านวัสดุ พบว่าวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมกับการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์อยู่ในระดับมาก เพราะเราใช้ดินญี่ปุ่นซึ่งมีสีขาวและปูนปลาสเตอร์ก็มีสีขาวเช่นเดียวกัน ทำให้เมื่อนำไปรวมเป็นผลิตภัณฑ์เดียวกันแล้วก็ทำให้กลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน ด้านการออกแบบพบว่า ภาพแบบของผลิตภัณฑ์มีความคิดสร้างสรรค์อยู่ในระดับมาก เพราะผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินญี่ปุ่น สามารถปั้นเป็นภาพร่างอิสระที่มีความแปลกแตกต่างจากที่เราเห็นกันทั่วไป โดยมีการใช้แนวคิดที่แปลกใหม่ ไม่เหมือนใคร ด้านประโยชน์ใช้สอย นำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนได้ อยู่ในระดับมาก เพราะในระดับปริญญาตรี ทางสาขาวิชาการออกแบบ จะมีการเรียนวิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ซึ่งในเนื้อหาวิชา มีการสอนเกี่ยวกับวัสดุและขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ ซึ่งเราสามารถนำความรู้เรื่องการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนทั้งในภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติได้

คำสำคัญ: การสร้างสรรค์, งานปั้น, ปูนปลาสเตอร์

Abstract

The purposes of this research are to 1) study common sculptures, 2) create a sculpture on plaster, 3) assess the satisfaction in sculpture created on plaster, and 4) integrate the knowledge with teaching and learning in the undergraduate classroom, Design Department. In this study, there were four steps in research methodology. In Step 1, the common sculptures were studied. In Step 2, clay was molded to form the desired shape and glue was used to attach the molded sculpture with the square-shaped plaster. In Step 3, the consumers' satisfaction in the creation of the sculpture on the plaster was assessed on these aspects: materials, design, and functions. In Step 4, the knowledge was integrated with the teaching and learning in the undergraduate classroom, Design Department.

The research was found that in general most of consumers were satisfied with the creation of plaster on the plaster at the high level. On the material aspect, it was found that the materials used were suitable for the sculpture creation on plaster at the high level. This is because the color of the Japanese clay used was the same as the color of plaster which was white. When the sculpture was attached, it became harmonious. On the design aspect, it was found that the level of the sculpture creativity was high because the work made of Japanese clay which could be molded independently was different from other sculptures commonly seen. The concepts of designing were unique. On the functional aspect, applying in the classroom, it was found that the level of this aspect was high. This is because at the undergraduate level in Design Department, there is a course of materials and production processes, so the knowledge of creating sculpture on plaster can be integrated with teaching and learning both in theory and in practice.

Keywords: Creative, Mold, Plaster

1. บทนำ

ประติมากรรม (Sculpture) เป็นผลงานศิลปะที่แสดงออกด้วยการสร้างภาพทรง 3 มิติ มีปริมาตร มีน้ำหนักและกินเนื้อที่ในอากาศ โดยการใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ วัสดุที่ใช้สร้างสรรค์งานประติมากรรม จะเป็นตัวกำหนด วิธีการสร้างผลงาน ความงามของงานประติมากรรม เกิดจากการแสงและเงา ที่ เกิดขึ้นในผลงานการสร้างงานประติมากรรมทำได้หลายวิธีเช่น การปั้น (Casting) เป็น

การสร้างภาพทรง 3 มิติ จากวัสดุ ที่เหนียว อ่อนตัว และยึดจับตัว กันได้ดี วัสดุที่นิยมนำมาใช้ปั้น ได้แก่ ดินเหนียว ดินน้ำมัน ปูน แป้ง ขี้ผึ้ง กระดาษ หรือ ขี้เลื่อยผสมกาว เป็นต้น การแกะสลัก (Carving) เป็นการสร้างภาพทรง 3 มิติ จากวัสดุที่ แข็ง เปราะ โดยอาศัย เครื่องมือ วัสดุที่นิยมนำมา แกะ ได้แก่ ไม้ หิน กระดูก แก้ว ปูนปลาสเตอร์ เป็นต้น การหล่อ (Molding) เป็นการสร้างภาพทรง 3 มิติ จากวัสดุที่หลอมตัวได้และกลับแข็ง ตัวได้ โดยอาศัยแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดผลงานที่ เหมือนกันทุกประการตั้งแต่ 2 ชิ้น ขึ้นไป วัสดุที่นิยมนำมาใช้หล่อ ได้แก่ โลหะ ปูน แป้ง แก้ว ขี้ผึ้ง ดิน เรซิน พลาสติก ฯลฯ รำมะนา และ การประกอบขึ้นภาพ (Construction) เป็นการสร้างภาพทรง 3 มิติ โดยนำวัสดุต่าง ๆ มา ประกอบเข้าด้วยกัน และยึดติดกันด้วยวัสดุต่าง ๆ การเลือกวิธีการ สร้างสรรค์งานประติมากรรม ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ต้องการใช้ ประติมากรรม ไม่ว่าจะทำขึ้นโดยวิธีใด จะ มีอยู่ 3 ลักษณะ คือ แบบนูนต่ำ แบบนูนสูง และแบบลอยตัว งานประติมากรรม มีหลายวิธี เช่น ประติมากรรมแบบนูนต่ำ (Bas relief) เป็นภาพที่เป็นนูนขึ้นมาจากพื้นหรือมีพื้นหลัง รองรับ มองเห็น ได้ชัดเจนเพียงด้านเดียว คือด้านหน้า มีความสูงจากพื้นไม่ถึงครึ่งหนึ่งของภาพ จริง ได้แก่ภาพนูนแบบ เหยียญ ภาพนูนที่ใช้ประดับตกแต่งภาชนะ หรือประดับตกแต่งอาคารทาง สถาปัตยกรรม โบสถ์ วิหาร ต่างๆ พระเครื่องบางชนิด ประติมากรรมแบบนูนสูง (High relief) เป็นภาพต่าง ๆ ในลักษณะ เช่นเดียวกับแบบ นูนต่ำ แต่มีความสูงจากพื้นตั้งแต่ครึ่งหนึ่งของภาพจริงขึ้นไป ทำให้เห็นลวดลายที่ลึก ชัดเจน และ เหมือนจริงมากกว่าแบบนูนต่ำและใช้งานแบบเดียวกับแบบนูนต่ำ และ ประติมากรรมแบบลอยตัว (Round Relief) เป็นภาพต่าง ๆ ที่มองเห็นได้รอบด้านหรือ ตั้งแต่ 4 ด้าน ขึ้นไป ได้แก่ ภาชนะต่าง ๆ ภาพเคารพต่าง ๆ พระพุทธรูป เทวภาพ ภาพตามคตินิยม ภาพบุคคล สำคัญ ภาพสัตว์ เป็นต้น

การปั้น (Casting) เป็นการสร้างภาพทรง 3 มิติ จากวัสดุ ที่เหนียว อ่อนตัว และยึดจับตัว กันได้ ดี สามารถเปลี่ยนภาพได้ผ่านกระบวนการในการเพิ่มวัสดุให้เกิดเป็นภาพทรงตามต้องการโดยใช้มือ และวัสดุอุปกรณ์ชนิดต่างๆ ช่วยในการสร้างงานปั้น งานปั้นเป็นศิลปะที่สามารถสัมผัสกับส่วนต้น ลึก หนา บางได้ตามความจริง การปั้นมีหลายแบบเช่น 1. การปั้นแบบลอยตัว (Round-relief) การปั้น แบบลอยตัว เป็นการปั้นที่สามารถมองเห็นได้ทุกด้านโดยรอบ ปกติจะมีฐานอยู่เพื่อให้ตั้งกับพื้น ได้ พบเห็นมากในการสร้างอนุสาวรีย์และภาพเคารพต่าง ๆ ลักษณะการปั้นมีทั้งขนาดเท่าของจริง และใหญ่กว่าของจริง แต่ที่สำคัญจะต้องยึดถือความเหมือนต้นแบบให้มากที่สุด เช่น พระบรม ภาพทรงม้า ภาพปั้นศาสตราจารย์ศิลป์ พีระศรี เป็นต้น 2. การปั้นแบบนูนสูง (High-relief) การปั้น แบบนูนสูง เป็นการปั้นที่มีแผ่นหลังรองรับและมีส่วนที่นูนสูงขึ้น มาจากแผ่นพื้นหลังมากกว่าปั้นนูน ต่ำความนูนสูงของภาพปั้นนูนสูงจะแตกต่างกันไปมากบ้าง น้อยบ้างตามจุดประสงค์ของการปั้นนั้น ๆ การสร้างสรรค์งานปั้นแบบนูนสูงนี้จะต้องให้เกิดความงามทางด้านหน้าและด้านข้าง เช่น ภาพปั้น บริเวณฐานของอนุสาวรีย์ประชาธิปไตย ภาพปั้นนูนสูงประดับฝาผนังต่าง ๆ เป็นต้น 3. การปั้นแบบ

นูนต่ำ (Low - relief) การปั้นแบบนูนต่ำ เป็นการปั้นที่จะต้องมีแผ่นหลังรองรับและนูนสูงขึ้นมาจากพื้นเพียงเล็กน้อย มองเห็นเพียงด้านหน้าเพียงด้านเดียว การสร้างสรรค์งานปั้นแบบนูนต่ำนี้จะต้องทำให้เกิดความงามเฉพาะด้านหน้าเท่านั้น เช่น เหยียบบาท เหยียบตรา เหยียบภาพพระ เป็นต้น

ปัจจุบันงานศิลปะการปั้นภาพลอยตัว ไม่ค่อยเป็นที่นิยม และมีการเรียนการสอนในห้องเรียนกันมากนัก ส่วนใหญ่จะเน้นไปทางคอมพิวเตอร์กันมากกว่า ดังนั้นผู้วิจัย จึงอยากให้นักเรียน นักศึกษา โดยเฉพาะผู้ที่มีส่วนรับผิดชอบและเกี่ยวข้องในการศึกษา ได้เล็งเห็นความสำคัญในเรื่องการใช้ทักษะ โดยการใช้มือ ซึ่งเป็นงานที่ทำโดยใช้ฝีมือของตนเอง เรียกว่างานแฮนด์เมด ไม่ได้ใช้เครื่องจักรในการทำ จะทำให้งานที่เสร็จแล้วมีคุณค่า เพราะเราสามารถปั้นออกมาจากความคิดของเราเอง จะไม่มีสูตรผลิต รวมทั้งไม่ให้ความสำคัญในขั้นตอนการผลิต แต่จะเป็นการเน้นในเรื่องทางด้านจินตนาการของผู้คิดค้น โดยชิ้นงานที่ได้ออกมาจะเป็นการทำออกมาจากสองมือและอาจจะใช้เครื่องมืออย่างอื่นในการผลิตด้วยบ้างเล็กน้อย เพื่อให้ได้งานออกมารวดเร็วและสวยงามมาก ฉะนั้นชิ้นงานในแต่ละชิ้นจะได้เอกลักษณ์เฉพาะตัวที่ไม่เหมือนใครและไม่มีใครเหมือน ส่งผลให้ราคาของชิ้นงานจะมีราคาสูงกว่าชิ้นงานทั่วไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษางานปั้นโดยทั่วไป
- 2.2 เพื่อสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์
- 2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์
- 2.4 เพื่อนำความรู้ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนให้กับนักศึกษา ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการออกแบบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การสร้างสรรค์งานกระต่ายบนปูนปลาสเตอร์ผู้วิจัยจำแนกเครื่องมือในการวิจัยได้ดังนี้

เครื่องมือที่ใช้ศึกษาสภาพโดยทั่วไปของงานปั้น ดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษ กาว ปูนปลาสเตอร์ และเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ ถ่ายภาพ สมุดบันทึกข้อความ และมีการใช้คอมพิวเตอร์หาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต

เครื่องมือประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยผู้วิจัยจัดทำขึ้นนั้น โดยเมื่อร่างแบบสอบถามเสร็จแล้วทำการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับสิ่งที่ต้องการวัด (Index item of congruent : IOC) เพื่อพิจารณาร่างแบบสอบถามวัดตามวัตถุประสงค์ที่ระบุไว้หรือไม่ ซึ่งมีผู้เชี่ยวชาญ ดังนี้ ร.ศ.พรพรประเวศ อชิโนบุญวัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบ



คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, ผศ.ดร.ยุวดี ทองอ่อน
อาจารย์ประจำสาขาการออกแบบ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
นครสวรรค์ และ ผศ.จิรทัศน์ ดาวสมบูรณ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาการออกแบบ คณะ
เทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

เครื่องมือประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่องานกระดาษเหลือใช้บนปูน
ปลาสเตอร์ โดยใช้แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจ มีทั้งหมด 3 ตอน คือ ตอนที่ 1 ข้อมูล
ทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ตอนที่ 2 ความคิดเห็นต่อผู้บริโภคที่มีต่อการสร้างสร้งงานปั้นบนปูน
ปลาสเตอร์ ในด้านวัสดุ ด้านภาพแบบ และด้านประโยชน์ใช้สอย ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

(1) ระเบียบวิธีวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบ สร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ ประเมิน
ความพึงพอใจต่อการสร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ นำความรู้ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนให้
นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาการออกแบบ ติดตามผล และสรุปผลเขียนรายงาน

(2) การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

(2.1) การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบ คือ เลือกวัสดุ เลือกภาพแบบที่มี
ความคิดสร้างสรรค์

(2.2) การประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์
โดยหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตและความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(2.3) สังเกตการนำความรู้ไปใช้บูรณาการเรียนการสอนให้กับนักศึกษา ระดับ
ปริญญาตรี สาขาวิชาการออกแบบ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษางานปั้นโดยทั่วไป

พบว่า การปั้นแบบนูนต่ำ เป็นการปั้นที่จะต้องมียพื้นหลังมารองรับและนูนสูงขึ้น มาจาก
พื้นเพียงเล็กน้อย มองเห็นเพียงด้านหน้าเพียงด้านเดียว การสร้างสร้งงานปั้นแบบนูนต่ำนี้จะต้องทำ
ให้เกิดความงาม เฉพาะด้านหน้าเท่านั้น เช่น เหยียญบาท เหยียญตรา เหยียญภาพพระ เป็นต้น



ภาพที่ 1 งานปั้นแบบนูนต่ำ

พบว่า งานปั้นแบบนูนสูง เป็นการปั้นที่มีแผ่นหลังรองรับ และมีส่วนที่นูนสูงขึ้น มาจากแผ่นพื้นหลังมากกว่าปั้นนูนต่ำ ความนูนสูงของภาพปั้นนูนสูงจะแตกต่างกันไปมากบ้าง น้อยบ้างตามจุดประสงค์ของการปั้นนั้นๆ การสร้างสรรค์งานปั้นแบบนูนสูงนี้จะต้องเกิดความงามทางด้านหน้าและด้านข้าง



ภาพที่ 2 งานปั้นแบบนูนสูง

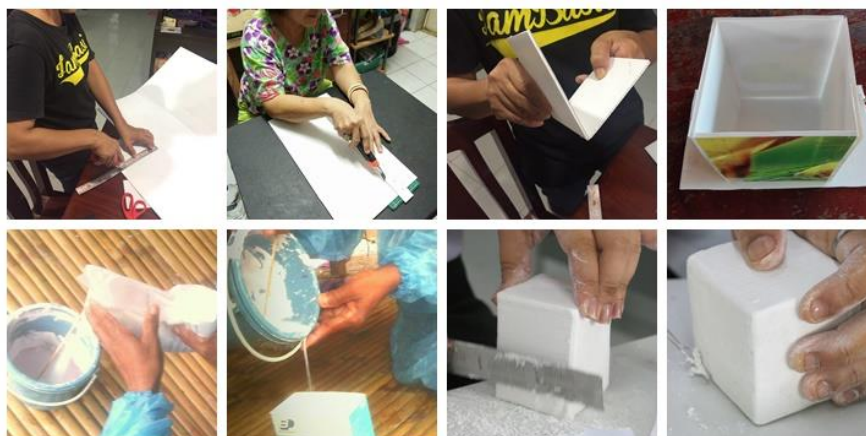
การปั้นภาพลอยตัว เป็นการปั้นที่สามารถมองเห็นได้ทุกด้านโดยรอบ ปกติจะมีฐานอยู่เพื่อให้ตั้งกับพื้นได้ พบเห็นมากในการสร้างอนุสาวรีย์ และภาพเคารพต่างๆ ลักษณะการปั้นมีทั้งขนาดเท่าของจริง และใหญ่กว่าของจริง แต่ที่สำคัญจะต้องยึดถือความเหมือนต้นแบบให้มากที่สุด



ภาพที่ 3 งานปั้นแบบลอยตัว

4.2 ผลการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์

(1) ตัดฟิวเจอร์บอร์ดให้เป็นภาพสีเหลี่ยมนำกาวหนังไก่มาติดให้เป็นทรงสี่เหลี่ยม จากนั้นนำปูนปลาสเตอร์ผสมกับน้ำ โดยใส่ปูนปลาสเตอร์แล้วใช้น้ำเติมลงไป คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงในบล็อกสี่เหลี่ยม รอให้ปูนปลาสเตอร์แห้ง นำไม้บรรทัดเหล็กหรือมีดมาขีด ตกแต่งให้ผิวเรียบ แล้วพ่นสเปรย์เคลือบเงา



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำปูนปลาสเตอร์ทรงสี่เหลี่ยม

(2) ปั้นดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษให้เป็นภาพทรงตามภาพทรงที่ต้องการ. โดยมีขั้นตอนดังนี้
1. ขึ้นโครงสร้าง 2. เสริมวัสดุ 3. แยกชิ้นส่วน 4. ปรับโครงสร้าง 5. เคลือบด้วยน้ำ 6. เก็บรายละเอียด ก็จะ
ได้ผลิตภัณฑ์งานปั้นด้วยดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษตามต้องการ



ภาพที่ 5 ขั้นตอนการปั้นด้วยดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษ

(3) เก็บรายละเอียดและตกแต่งให้สวยงามแล้วนำไปทาสีด้วยกาวลาเท็กซ์ แล้วติดลงบนปูนปลาสเตอร์สีเหลี่ยม ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จตามต้องการ



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากการสร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสร้งงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสร้งผลิตภัณฑ์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์จำนวน 100 คน ด้านวัสดุ อันดับที่ 1 วัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมกับการสร้างงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 4.04 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.33 อยู่ในระดับมาก อันดับที่ 2 วัสดุที่ใช้มีความแข็งแรงทนทานมีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 3.95 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.39 อยู่ในระดับมาก อันดับที่ 3 วัสดุที่ใช้หาได้ไม่ยาก $\bar{X}$ เท่ากับ 3.11 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.31 อยู่ในระดับปานกลาง ด้านการออกแบบ อันดับที่ 1 ภาพแบบของ

ผลิตภัณฑ์มีความคิดสร้างสรรค์ $\bar{X}$ เท่ากับ 3.96 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.32 อยู่ในระดับมาก อันดับที่ 2 ภาพรวมมีความสวยงามดึงดูดความสนใจแก่ผู้พบเห็น มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 3.17 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.38 อยู่ในระดับปานกลาง อันดับที่ 3 สีสันทของผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 2.96 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.39 อยู่ในระดับปานกลาง ด้านประโยชน์ใช้สอย อันดับที่ 1 นำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนได้ มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 4.02 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.35 อยู่ในระดับมาก อันดับที่ 2 นำไปใช้ในการตกแต่งภายในได้มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 4.01 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.41 อยู่ในระดับมาก อันดับที่ 3 นำไปใช้เป็นของที่ระลึกได้ มีค่า $\bar{X}$ เท่ากับ 3.14 มีค่า S.D. เท่ากับ 0.51 อยู่ในระดับปานกลาง จากผลการประเมิน พบว่าคนส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์งานกระดาษบนปูนปลาสเตอร์ โดยเฉลี่ยเป็น 3.60 ซึ่งอยู่ในระดับมาก

4.4 เพื่อนำไปใช้บูรณาการเรียนการสอนกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี

ด้านการเรียนการสอน ผู้วิจัยได้นำความรู้ไปประยุกต์โดยบูรณาการเรียนการสอนกับวิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต โดยมีการเลือกใช้วัสดุ คือ ปูนปลาสเตอร์ กาวลาเท็กซ์ ดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษ เป็นต้น มาปั้นเป็นภาพทรงอิสระ ที่มีความแปลกใหม่ สวยงาม โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการคิดประกอบในการทำเป็นผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 7 การเรียนในภาคทฤษฎีภาคความรู้ โดยการใช้แผนที่ความคิด



ภาพที่ 8 บรรยายภาคีในการทำงานภาคปฏิบัติ



ภาพที่ 9 การนำเสนอผลงานการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ของนักศึกษา



ภาพที่ 10 ผลงานการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ของนักศึกษา

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 ผลการศึกษางานปั้นโดยทั่วไป พบว่า การปั้นแบบนูนต่ำ เป็นการปั้นที่จะต้องมีการหล่อพิมพ์มารองรับและนูนสูงขึ้น มาจากพื้นเพียงเล็กน้อย มองเห็นเพียงด้านหน้าเพียงด้านเดียว การสร้างสรรค์งานปั้นแบบนูนต่ำนี้จะต้องทำให้เกิดความงาม เฉพาะด้านหน้าเท่านั้น เช่น เหยี่ยูปาต เหยี่ยูตรา เหยี่ยูภาพพระ เป็นต้น พบว่า งานปั้นแบบนูนสูง เป็นการปั้นที่มีแผ่นหลังรองรับ และมีส่วนที่นูนสูงขึ้น มาจากแผ่นพื้นหลังมากกว่าปั้นนูนต่ำ ความนูนสูงของภาพปั้นนูนสูงจะแตกต่างกันไปมากบ้าง น้อยบ้างตามจุดประสงค์ของการปั้นนั้นๆ การสร้างสรรค์งานปั้นแบบนูนสูงนี้จะต้องเกิดความงามทางด้านหน้า และด้านข้าง การปั้นภาพลอยตัว เป็นการปั้นที่สามารถมองเห็นได้ทุกด้านโดยรอบ ปกติจะมีฐานอยู่เพื่อให้ตั้งกับพื้นได้ พบเห็นมากในการสร้างอนุสาวรีย์ และภาพเคารพต่างๆ ลักษณะการปั้นมีทั้งขนาดเท่าของจริง และใหญ่กว่าของจริง แต่ที่สำคัญจะต้องยึดถือความเหมือนต้นแบบให้มากที่สุด ในปัจจุบันจะมีงานปั้นที่ใช้วัสดุกันหลากหลาย เช่น ปั้นด้วยดินน้ำมัน ปั้นด้วยดินญี่ปุ่นหรือดินเยือกกระดาษ ปั้นด้วยดินเหนียวแล้วนำไปเผาเตาเผา เป็นต้น มีการนำงานปั้นเหล่านี้ไปใช้ในการตกแต่งบ้าน อาคารเรียน โรงพยาบาล สำนักงาน สวนสาธารณะ สถานที่ราชการ สถานที่ท่องเที่ยว วัด โบสถ์ วิหาร เป็นต้น และอาจมีการใช้สีสันทัดในการตกแต่งเพื่อให้เกิดความสวยงาม

5.2 ผลการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ มีขั้นตอนในการทำที่ไม่ยุ่งยากและสลับซับซ้อน รายละเอียดมีดังนี้ ขั้นตอนที่1 ตัดฟิวเจอร์บอร์ดให้เป็นภาพสี่เหลี่ยมนำกาวยางมาติดให้เป็นทรงสี่เหลี่ยม จากนั้นนำปูนปลาสเตอร์ผสมกับน้ำ โดยใส่ปูนปลาสเตอร์แล้วใช้น้ำเติมลงไป คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเทลงในบล็อกสี่เหลี่ยม รอให้ปูนปลาสเตอร์แห้ง นำไม้บรรทัดเหล็กหรือมีดมาขูดตกแต่งให้ผิวเรียบ แล้วพ่นสเปรย์เคลือบเงา ขั้นตอนที่2 ปั้นดินญี่ปุ่นหรือดินเยือกกระดาษให้เป็นภาพทรงตามภาพทรงที่ต้องการ.โดยมีขั้นตอนดังนี้ 1.ขึ้นโครงสร้าง 2.เสริมวัสดุ 3.แยกชิ้นส่วน 4.ปรับโครงสร้าง 5.เกลี่ยด้วยน้ำ 6.เก็บรายละเอียด ก็จะได้ผลิตภัณฑ์งานปั้นด้วยดินญี่ปุ่นหรือดินเยือกกระดาษตามต้องการ ขั้นตอนที่3 เก็บรายละเอียดและตกแต่งให้สวยงามแล้วนำไปตากกลางแจ้ง แล้วติดบนปูนปลาสเตอร์สี่เหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ(สปีสิริ แซ่ลี, 2555) ที่ใช้กาวยางเท็กซ์เป็นตัวประสานในการพัฒนาแผ่นผ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย เพราะกาวยางเท็กซ์มีความโปร่งใส น้ำหนักเบา กันน้ำ กันแมลงได้

5.3 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์จำนวน 100 คน ด้านวัสดุ พบว่าวัสดุที่ใช้มีความเหมาะสมกับการสร้างงานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ อยู่ในระดับมาก เพราะเราใช้ดินญี่ปุ่นที่มีสีขาวเพื่อให้เข้ากับปูนปลาสเตอร์สี่เหลี่ยมที่มีสีขาวเช่นเดียวกัน ทำให้ดูแล้วมีความกลมกลืนกัน เหตุผลที่เลือกดินญี่ปุ่นหรือดินเยือกกระดาษมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์เพราะเป็นดินที่เมื่อแห้งแล้วจะไม่หดตัว มีความนุ่มเนียน ละเอียด ไม่ติดมือง่าย แห้งเร็ว มีความยืดหยุ่นสูง ไม่

แตกหักง่าย เมื่อแห้งแล้วจะมีความแข็งแรง ทนทาน เมื่อปั้นเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะนำตัวที่ปั้นไปทาด้วยกาวลาเท็กซ์ และนำไปเชื่อมติดกับปูนปลาสเตอร์สีเหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (อนุวัตร วอลีและอาปิติน คะแสสาเมาะ, 2556.) ที่มีการนำเอาการสังเคราะห์คือกาวลาเท็กซ์ไปติดกับวัสดุชนิดอื่นซึ่งก็จะติดแน่นดีเช่นกัน ด้านการออกแบบ พบว่าภาพแบบของผลิตภัณฑ์มีความคิดสร้างสรรค์ อยู่ในระดับมาก เพราะดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษ มีความนุ่มเนียนและยืดหยุ่นสูง เมื่อจะปั้นเป็นภาพทรงอิสระ ง่ายๆเป็นแนวศิลปะทำให้ขึ้นภาพง่าย และมีความแปลกใหม่ทำให้มีความแตกต่างจากการปั้นกันโดยทั่วไป ด้านประโยชน์ใช้สอย พบว่านำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนได้ อยู่ในระดับมาก เพราะว่าในวิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ก็มีเนื้อหาเกี่ยวกับวัสดุต่างๆตลอดจนมีขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ เราจึงสามารถนำไปใช้สอนให้กับนักศึกษาระดับปริญญาตรี ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (นิรัช สุดสังข์, 2556) ที่ได้นำความรู้เรื่องการทำปูนปลาสเตอร์ไปใช้สอนในรายวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ ระดับปริญญาตรี เช่นกัน

5.4 ผลการนำไปใช้บูรณาการเรียนการสอนกับนักศึกษาระดับปริญญาตรี

ด้านการเรียนการสอน ผู้วิจัยได้นำความรู้ไปประยุกต์โดยบูรณาการเรียนการสอนกับวิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต โดยมีการเลือกใช้วัสดุ คือ ปูนปลาสเตอร์ กาวลาเท็กซ์ ดินญี่ปุ่นหรือดินเยื่อกระดาษ เป็นต้น มาปั้นเป็นภาพทรงอิสระ ที่มีความแปลกใหม่ สวยงาม โดยใช้ความคิดสร้างสรรค์ในการคิดประกอบในการทำเป็นผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยจะนำความรู้ไปใช้สอนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติในวิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ในภาคทฤษฎีจะฝึกให้นักศึกษารู้จักการทำแผนที่ความคิด โดยแบ่งเป็นกลุ่มและให้สมาชิกภายในกลุ่มทุกคนช่วยกันทำงาน แบ่งหน้าที่กันรับผิดชอบ มีการระดมสมอง และมีการนำเสนอเรื่องที่รับผิดชอบ ส่วนในภาคปฏิบัติผู้วิจัยให้งานนักศึกษาทุกคนในชั้นเรียนรับผิดชอบทำงานที่อาจารย์สั่ง จากการสังเกตพฤติกรรมของนักศึกษา จะเห็นได้ว่านักศึกษากล้าแสดงออก มีความมั่นใจในการพูด มีความกระตือรือร้น มีความสุขกับการเรียน รู้จักเลือกใช้วัสดุในการปั้น เมื่อฝึกทำในชั้นเรียน ก็มีการแบ่งปันวัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำ มีการช่วยเหลือกันทำ มีการแลกเปลี่ยนความคิดเห็น จนได้ผลิตภัณฑ์จากการสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ตามต้องการ เมื่อให้แต่ละคนมานำเสนอผลงาน ก็สามารถนำเสนออย่างมีความมั่นใจ มีแนวคิดสร้างสรรค์ที่ดี และจากประสบการณ์ที่นักศึกษาได้เรียนในห้องเรียน นักศึกษาสามารถนำความรู้ไปเผยแพร่กับผู้อื่นไม่ว่าจะเป็นนักเรียน บุคคลทั่วไปและผู้สูงอายุได้

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

งานวิจัยเรื่อง การสร้างสรรค์งานปั้นบนปูนปลาสเตอร์ เป็นงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ใช้ทุนส่วนตัว งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดีจากสาขาวิชาการออกแบบ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาทุกคนที่มีส่วน ทำให้การวิจัยครั้งนี้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้อย่างสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการวิจัยครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสืบไป

7. เอกสารอ้างอิง

- จิรพันธ์ สมประสงค์. (2533). การสร้างประติมากรรมจากปูนปลาสเตอร์. กรุงเทพฯ: โอ เอส พริ้นติ้งเฮาส์.
- ทวีศักดิ์ อ้วนน้อย. (2543). วัสดุและเทคโนโลยีการผลิต. ปทุมธานี: สยามสเตชันเนอรีซ์พลาซัส.
- นวนน้อย บุญวงษ์. (2542). หลักการออกแบบ. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิรัช สุตสังข์. (2548). การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ประเสริฐ ศิรัตน์นา. (2531). ของที่ระลึก. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ปรีดา พิมพ์ขาวขำ. (2535). เซรามิกส์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญรัตน์ พิษณุไพบูลย์. (2538). เครื่องเคลือบดินเผา เทคนิค วิธีการสร้างสรรค์. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มนตรี ยอดบางเตย. (2538). ออกแบบผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- วรพงศ์ วรชาติอุดมพงศ์. (2542). ออกแบบตกแต่ง. กรุงเทพฯ: โสภณการพิมพ์.
- วัชรินทร์ จรุงจิตสุนทร. (2548). หลักการและแนวความคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ: แอปป์พริ้นท์ติ้ง กรุ๊ปจำกัด.
- วาไร เพ็งสวัสดิ์. (2546). การวิจัยในชั้นเรียน. กรุงเทพฯ: สุวีริยาสาส์น.
- วิรุณ ตั้งเจริญ. (2556). การออกแบบ. กรุงเทพฯ: กรุงเทพมหานครการพิมพ์.
- สืบสิริ แซ่ลี. (2556). การพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นผ้าและผนังฉนวนกันความร้อนจากเส้นใยพืชในเขตพื้นที่ประเทศไทย. อุบลราชธานี: คณะศิลปประยุกต์และการออกแบบ.
- สุวิทย์ วิทยาจักร. (2555). การสร้างสรรค์งานหล่อ. กรุงเทพฯ: บอส์การพิมพ์.
- อุไรวรรณ ปิติมณียากุล. (2543). การวิเคราะห์ภาพลักษณ์การออกแบบ. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.

การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร
เพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสแนบเบอร์
DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF BOOST CONVERTER
CIRCUIT WITH SNUBBER TECHNIQUES

อักรกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์¹, ณัฐทิ ธิ่งสุข^{1*}, อีรวุฒิ แสงวงบุญ¹, ธนโชติ เร่มศรี¹,
นิพนธ์ เชื้อนเพชร¹ และ วิสิทธิ์ ศรีศักดิ์¹

Arckarakit Chaithanakulwat¹, Nuttee Thungsuk^{1*}, Teerawut Sawangbun¹,
Thanachok Roemsri¹, Nipon Khueanphet¹ and Visit Sonsakda¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University,
Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 3 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 15 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสแนบเบอร์ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสและประสิทธิภาพการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันหลักการและวิธีการจะประกอบด้วยสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการพัฒนาและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPTMS320F28377S ควบคุมการสวิตช์ด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ส่วนที่สองคือการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยเทคนิคสแนบเบอร์และมีการกระตุ้นด้วยเทคนิคสแนบเบอร์เปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบเปรียบเทียบกับผลการจำลองพบว่าวงจรเพิ่มระดับแรงดันที่มีการกระตุ้นเทคนิคสแนบเบอร์สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสได้ตามวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามในขณะที่มีแรงดันคงที่ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรได้มากกว่า 6%

คำสำคัญ: บูลคอนเวอร์เตอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, พัลส์วิดท์มอดูเลชัน, การสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์เทคนิคสแนบเบอร์

Abstract

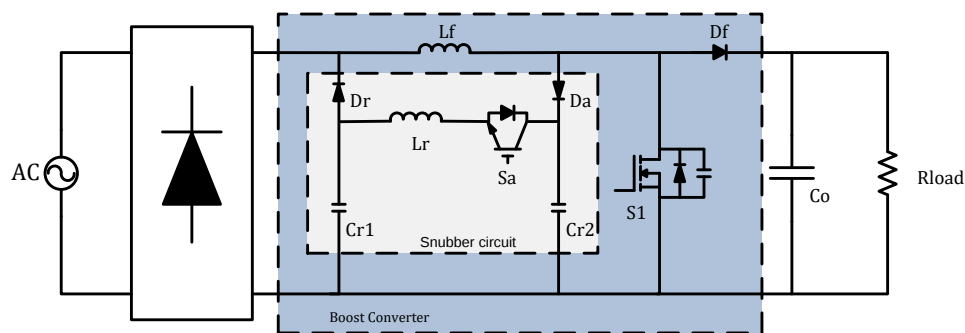
This research paper presents the development and optimization of the boost converter circuit with the support technique. This is to reduce the loss of electric power during the starting switch and the performance of the circuit to increase the voltage level. The principles and methods consist of two parts. The first part is the development and construction of a prototype device using microcontroller DSPTMS320F28377S to control the switch with PWM signal. The second part is the testing of circuit performance without or with stimulating by snubber technique and the comparison with MATLAB/Simulink simulation. The results of the prototype device testing compared to the simulation show that the boost converter circuit with the snubber technique stimulation can reduce the loss of power during the starting switch according to the purpose of the research, while constant voltage can increase the efficiency of the circuit by more than 6%.

Key words: Boos converter, Microcontroller, Pulse width modulation, Zero-voltage switching, Snubber techniques

1. บทนำ

สารกึ่งตัวนำที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ทั้งหมดมีข้อจำกัดหลากหลายเงื่อนไขมากมาย เช่น พิกัดของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด พิกัดกระแสสูงสุดและค่าเฉลี่ย การกระจายพลังงาน ความเร็วในการสวิตช์ ฯลฯ วงจรสับเบอร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของการสวิตช์ที่ถูกออกแบบอยู่ในวงจรไฟฟ้า โดยมีบทบาททำหน้าที่ควบคุมการสวิตช์และสังเกตคุณลักษณะโดยละเอียดของสวิตช์แต่ละประเภท ในการเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้เป็นสวิตช์ผู้ใช้มักคิดในมุมมองของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟตหรือไทรสเตอร์ (Akhlaghi *et al.*, 2018; Fang, *et al.*, 2004 และ Mohammadi & Farzanehfard, 2017) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้มักจะมีประสิทธิภาพมากกว่าที่คิดในภาพแบบของสวิตช์โดยทั่วไปนั่นคือ อุปกรณ์หรือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่สลับกันทำงานอาจจะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำหลายตัวและส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานในวงจร อุปกรณ์หลายตัวเหล่านี้จะทำงานร่วมกันเพื่อใช้เป็นฟังก์ชันการสวิตช์ตามที่ต้องการและในบางครั้งอุปกรณ์สวิตช์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ทั้งชุดหรือนำมาต่อรวมกันแบบขนานของอุปกรณ์ประเภทเดียวกันหรือต่างกันเช่น มอสเฟตต่อร่วมกับไอจีบีที เป็นต้น (Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017; Yi *et al.*, 2017 และ Zhang *et al.*, 2017) จากที่กล่าวมาข้างต้นอุปกรณ์สวิตช์เหล่านี้ส่วนมากจะต้องกำหนดการสวิตช์ของอุปกรณ์ด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse width

modulation: PWM) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรถิซซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งเมื่อความถี่ในการสวิตช์สูงจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียและสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง (Ting *et al.*, 2017 และ Zhu *et al.*, 2017) จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์เพื่อลดการสูญเสียในการสวิตช์และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า หลักการของเทคนิคสับเบอร์นี้คือการทำให้ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ไม่เกิดการทับซ้อนกันในช่วงการนำกระแสและในช่วงระหว่างหยุดนำกระแสที่เรียกว่าเทคนิคการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero-voltage switching: ZVS) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียในช่วงการหยุดนำกระแสได้และจะช่วยให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (Naim & Yakup, 2017; Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017 และ Rangarajan, 2013)



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์

จากภาพที่ 1 การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนน้อยซึ่งทำให้มีต้นทุนต่ำและมีการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์น้อย มีเพียงอุปกรณ์สวิตช์สองตัว (S_1 และ S_a) เท่านั้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียที่ปรากฏชัดเจน การทำงานของสวิตช์เหล่านี้ อาจเกิดการผิดพลาดหรือทำงานไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ การควบคุมการมอดูเลชันของอุปกรณ์สวิตช์ S_1 และ S_a หากกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มขึ้น หากกำหนดเงื่อนไขไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเสียหายในอุปกรณ์และวงจรได้

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์โดยเริ่มจากการจ่ายแรงดันไฟสลับที่เป็นแรงดันใช้งาน (rms) ผ่านการแปลงพลังงานจาก AC-DC และเข้าสู่วงจรเพิ่มระดับแรงดันโดยผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานจ่ายไปยังไดโอด (D_f) และโหลดในสถานะที่อุปกรณ์สวิตช์ (S_1) อยู่ในสถานะไม่นำกระแส ในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เก็บประจุให้เต็มตามพิกัดของตัวอุปกรณ์ และในสถานะที่อุปกรณ์สวิตช์ (S_1) นำกระแสที่ใช้การสร้างสัญญาณ

PWM ที่มีการควบคุม Duty และความถี่สูงจะทำให้เกิดการลัดวงจรมีกระแสไหลย้อนกลับสู่แหล่งจ่าย ครอบคลุมการทำงาน ในขณะเดียวกันเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ (S_1) หยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ เสมือนแหล่งจ่ายก็จะคายประจุให้กับโหลดทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ การควบคุม Duty และความถี่ เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรสับเบอ์จะเห็นได้ว่าการทำงานจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ สวิตช์ (S_a) ที่มีการสร้างสัญญาณ PWM ที่มีการควบคุม Duty และความถี่สูงเหมือนกันกับวงจรเพิ่ม ระดับแรงดันเพียงแต่การควบคุมสัญญาณ PWM ให้มีการเลื่อนเวลาการทำงานที่ไม่ตรงกันกับอุปกรณ์ สวิตช์ (S_1) ซึ่งหลักการทำงานที่กล่าวมานี้จึงได้เกิดแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรโดยลดการ สูญเสียจากอุปกรณ์สวิตช์โดยใช้เทคนิคของวงจรสับเบอ์มาช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพ มากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีวงจรหลักสองวงจรประกอบไปด้วยวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจร สับเบอ์ ซึ่งทั้งสองวงจรประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญคือ ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ไดโอด และอุปกรณ์สวิตช์ที่ควบคุมการสร้างสัญญาณ PWM (Li *et al.*, 2011; Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017) สำหรับบทความนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ DSPTMS320F28377S เพื่อควบคุมการสวิตช์ของ IGBT และมอสเฟตที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรหลักทั้งสอง สำหรับทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงสมการที่ใช้ในการออกแบบเพื่อหาพิกัดของอุปกรณ์ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

2.1 วงจรเพิ่มระดับแรงดัน

วงจรเพิ่มระดับแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตมากกว่าแรงดัน ทางด้านอินพุตและจะต้องทำงานในโหมดกระแสได้ต่อเนื่อง (Continuous conduction mode ; CCM) (Claudio *et al.*, 2002; Jeffrey & Harry, 2008 และ Li *et al.*, 2011) สำหรับการสร้าง อุปกรณ์ต้นแบบนี้จะกำหนดให้แรงดันอินพุตที่เป็นกระแสตรงเท่ากับ 100 V และแรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 300 V ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์อุปกรณ์เท่ากับ 100 kHz สำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ การคำนวณหาคาบการสวิตช์ของ IGBT และมอสเฟตเพื่อรักษาระดับแรงดัน ทางด้านเอาต์พุตให้คงที่และหาพิกัดตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กที่สุดที่สามารถทำให้กระแสจ่ายได้อย่าง ต่อเนื่องในช่วงสวิตช์นำกระแสและไม่นำกระแสในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยใช้สมการที่ (1) จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) เมื่อหาคาบการสวิตช์สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบนี้จะได้เท่ากับ 0.67 และตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กที่สุดที่จะให้กระแสทำงานอยู่ในโหมดต่อเนื่อง (CCM) สามารถหาได้จากสมการที่ (2) นั่นคือ

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2f} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) จะได้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 100 μH เมื่อต้องการหาค่าตัวเก็บประจุสามารถหาได้จากสมการที่ (3) นั่นคือ

$$C = \frac{DV_{\text{load}}}{\Delta V_{\text{load}} Rf} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) เมื่อกำหนดให้ค่าระลอกคลื่นไม่เกิน 3 % ดังนั้นจะได้ตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 3.3 $\mu\text{F}/400\text{ V}$

2.2 วงจรสับเบอร์ด

สำหรับการใช้อุปกรณ์ในวงจรสับเบอร์ดสามารถคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำโดยใช้สมการที่ (4) นั่นคือ

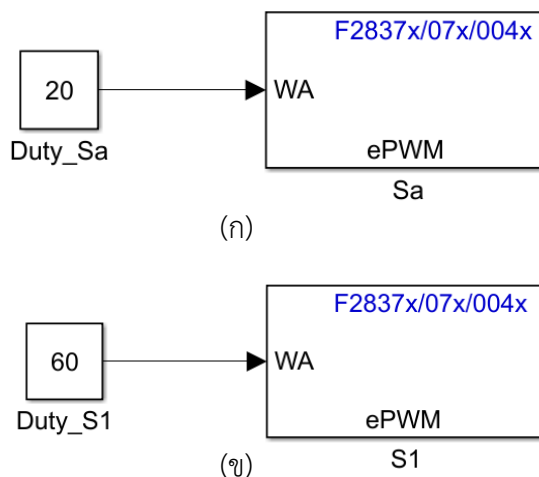
$$L_r \geq \frac{V_o}{I_{\text{imax}}} 3t_{rr} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) เมื่อพิจารณาพิกัดของโหลดที่นำมาต่อในวงจรเพื่อคำนวณหาพิกัดอุปกรณ์และการเลือกใช้ไดโอดชนิดพื้นตัวอย่างรวดเร็ว (MUR1560 พิกัด 600V/15A; 35 ns) เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กันการสวิตช์ของอุปกรณ์ จากการคำนวณจะได้กระแสสูงสุดเมื่อจ่ายโหลดเท่ากับ 6 A ดังนั้นหากพิจารณาในวงจรสับเบอร์ดดังภาพที่ 1 ตัวเหนี่ยวนำ L_F และ L_R จะมีค่าเท่ากับ 5 μH

2.3 การควบคุมสัญญาณ PWM

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์และวงจรสับเบอร์ดโดยใช้สัญญาณ PWM (Pulse with modulation) เพื่อควบคุมการสวิตช์ของ S_1 และ S_a โดยกำหนดให้ S_1 เป็นมอสเฟตและ S_a เป็น IGBT ซึ่งจะถูกควบคุมอิสระต่อกันเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM จำนวนสองชุดในอุปกรณ์ต้นแบบ และใช้ อัลกอริทึมของ ePWM สร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม

MATLAB/Simulink เชื่อมโยงการควบคุมร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPTMS320F28377S โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ที่ 20% สำหรับสวิตช์ S_a และ 60% สำหรับสวิตช์ S_1 จะได้อัลกอริทึมของ ePWM ดังภาพที่ 2



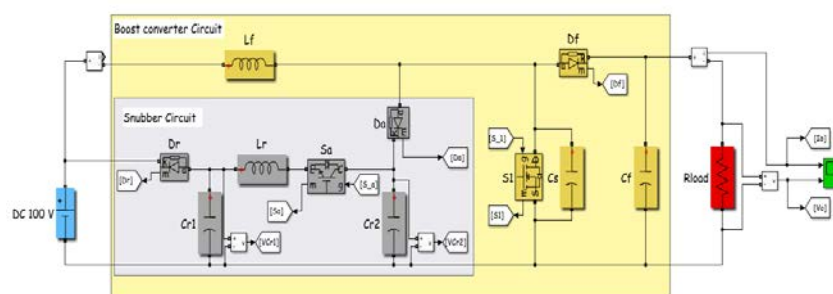
ภาพที่ 2 อัลกอริทึมของ ePWM สร้างสัญญาณพัลส์ (PWM) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ก) ความกว้างของพัลส์ที่ 20% สำหรับสวิตช์ S_a

(ข) ความกว้างของพัลส์ที่ 60% สำหรับสวิตช์ S_1

3. ผลการจำลองและทดสอบ

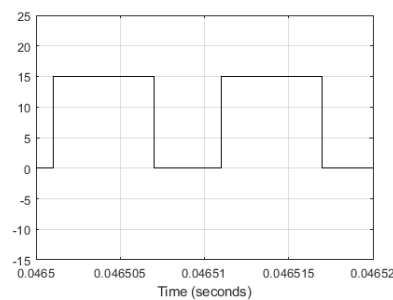
โปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าที่สามารถใช้งานง่ายและสะดวกสำหรับงานวิศวกรรม งานสร้างอุปกรณ์ต้นแบบนี้จึงได้นำหลักการและวิธีการที่ทฤษฎีได้กล่าวไว้มาจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อยืนยันหลักการและวิธีการทำงานของวงจรว่าถูกต้องหรือไม่อย่างไร สำหรับบทความนี้สามารถสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ดังภาพที่ 3



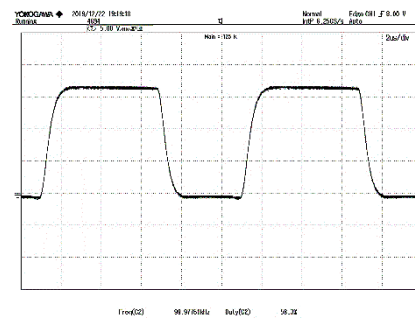
ภาพที่ 3 แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

จากภาพที่ 3 การจำลองและทดสอบวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์จะทดสอบประสิทธิภาพของวงจรโดยการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในวงจร ทดสอบการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์เมื่อทำการจ่ายโหลดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

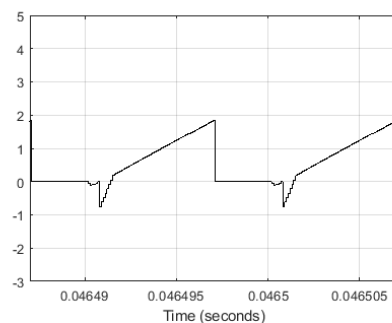
จากการทดสอบคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในวงจรโดยทำการสวิตช์อุปกรณ์ในส่วน of วงจรเพิ่มระดับแรงดัน วงจรสับเบอร์ เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะจากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จะได้ดังภาพที่ 4 – ภาพที่ 6 และจะเห็นได้ว่าผลการจำลองและจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นสอดคล้องกันสามารถยืนยันความถูกต้องของหลักการและวิธีการตามที่ทฤษฎีกล่าวไว้



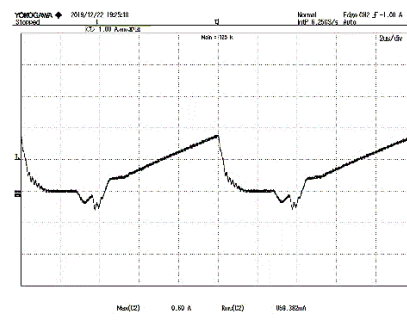
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

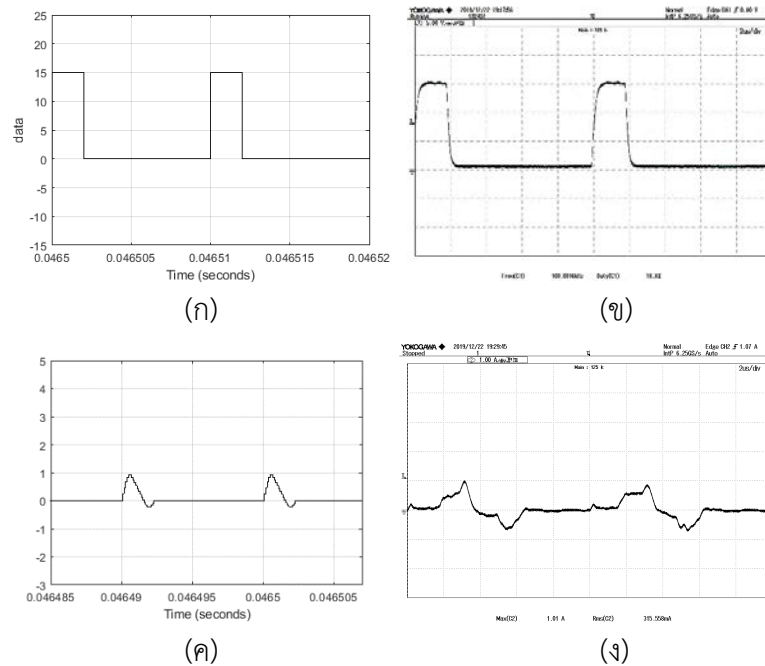
ภาพที่ 4 ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นของวงจรเพิ่มระดับแรงดันและกระแสของการสวิตช์อุปกรณ์

(ก) ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบทดสอบ

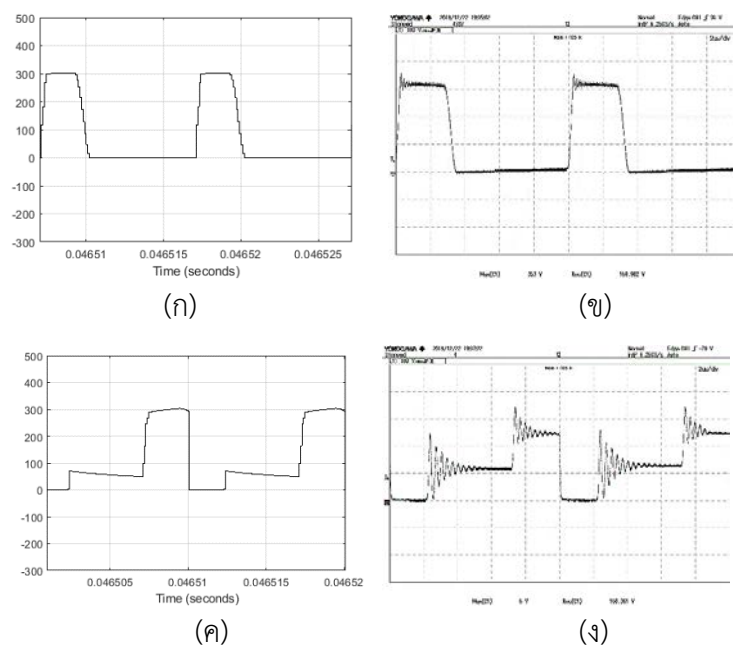
(ค) ภาพคลื่นกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ง) ภาพคลื่นกระแสจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ



ภาพที่ 5 ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นของวงจรสับเบอร์และกระแสของการสวิตช์อุปกรณ์

- (ก) ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
- (ข) ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ
- (ค) ภาพคลื่นกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
- (ง) ภาพคลื่นกระแสจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ



ภาพที่ 6 ภาพคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับและวงจรสับเบอร์

(ก) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับจากการจำลองด้วยโปรแกรม

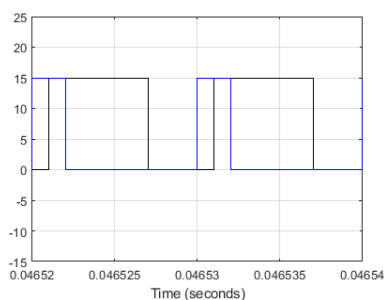
MATLAB/Simulink

(ข) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับจากอุปกรณ์ต้นแบบ

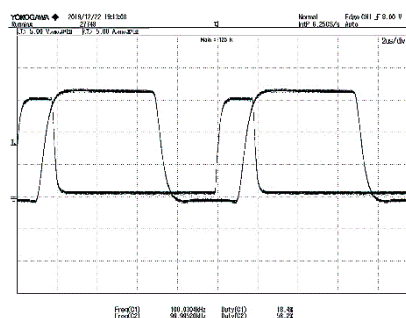
(ค) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรสับเบอร์จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ง) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรสับเบอร์จากอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์นี้จะทดสอบพฤติกรรมการทำงานของสวิตช์โดยวัดภาพคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสับเบอร์โดยเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เมื่อจ่ายโหลดที่พิกัด 500 วัตต์ที่มีแรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 100 V แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากับ 300 V และความถี่สวิตช์ 100 kHz ผลการทดสอบจะเป็นดังนี้



(ก)



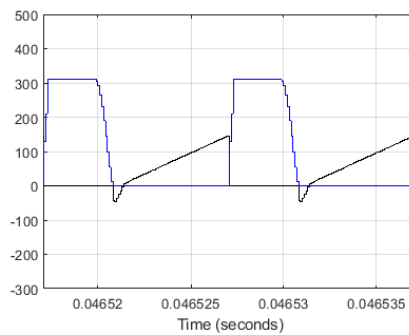
(ข)

ภาพที่ 7 ภาพคลื่นสัญญาณ PWM ของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสับเบอร์

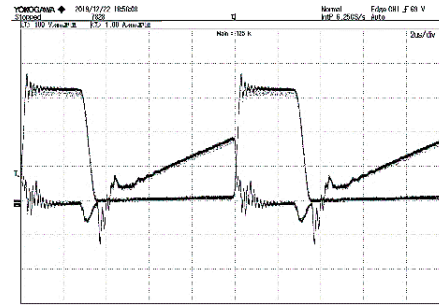
(ก) ภาพคลื่นสัญญาณ PWM จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นสัญญาณ PWM จากอุปกรณ์ต้นแบบ

พิจารณาจากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าการทำงานของสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันจะทำงานในช่วงเวลาที่ไม่พร้อมกันกับการทำงานของสวิตช์ในวงจรสับเบอร์ หากทั้งสองวงจรเกิดการทำงานพร้อมกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรในอุปกรณ์ทำให้เกิดการเสียหาย ในทำนองเดียวกันจากภาพที่ 8 และภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสับเบอร์จะเป็นไปตามหลักการของเทคนิคการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero-voltage switching: ZVS) ที่สามารถทำให้ลดการสูญเสียในอุปกรณ์ได้



(ก)

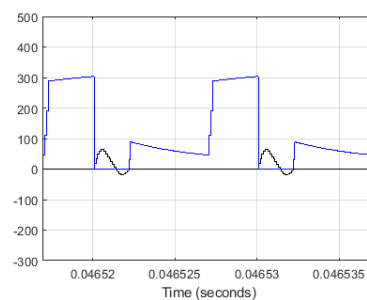


(ข)

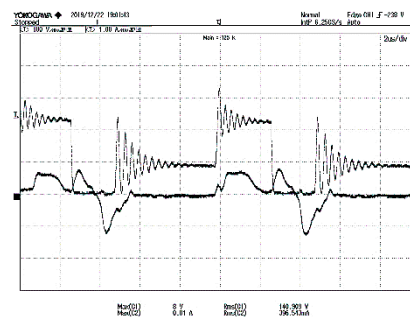
ภาพที่ 8 ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน

(ก) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากอุปกรณ์ต้นแบบ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรสับเบอร์

(ก) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์และไม่มีการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ เพื่อหาความแตกต่างของทั้งสองภาพแบบสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์

การสวิตช์	$V_{in}(V)$	$I_{in}(A)$	$P_{in}(W)$	$V_{out}(V)$	$I_{out}(A)$	$P_{out}(W)$	Efficiency(%)
ZVS	100	6.4	640	315	1.73	544.95	85.14
Non-ZVS	100	6.8	680	307	1.76	540.32	79.45

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์จะมีประสิทธิภาพ 85.14% ในทำนองเดียวกันการทำงานในขณะที่ไม่มีการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์จะพบว่าประสิทธิภาพลดลงเหลือเพียง 79.14% และยังส่งผลให้อุปกรณ์อาจชำรุดเสียหายได้หากเกิดการผิดพลาดในการทำงานของสวิตช์

4. สรุปผล

จากการวิจัยการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์ และทำการทดสอบการทำงานของพบว่าเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันซึ่งเป็นสวิตช์หลักในวงจรกำลังทำการจ่ายโหลดการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสจะมีกระแสจากวงจรกำลังไหลย้อนกลับไปในทิศทางด้านลบ และในทำนองเดียวกันหากสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับแรงดันไม่มีการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ในช่วงเวลาเดียวกันกระแสจะเริ่มไหลไปในทิศทางด้านบวก ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของวงจรหากเพิ่มกำลังไฟฟ้าเต็มพิกัดสูงสุดประสิทธิภาพจะเท่ากับ 85.14% และเมื่อทดสอบในสภาวะแรงดันตกหรือแรงดันเกินจากสภาวะแรงดันปกติการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์ยังสามารถทำงานได้ตามปกติซึ่งสามารถยืนยันความถูกต้องของหลักการที่ทฤษฎีได้กล่าวไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ที่สนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสรรค์ผลงานวิจัยนี้ และใคร่ขอขอบคุณนายศักดิ์ดา ภูมิบุญตัว, นายแอ๊ด เจตพงศ์ ฝ้ายเทคนิค ผู้ช่วยเก็บข้อมูลให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

- นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร. (2562). การสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์สวิตซ์สารกึ่งตัวนำ. สืบค้นจาก <http://www.ittrain.nrru.ac.th/scijournal/index.php/2014-08-17-14-59-20/2014-09-18-13-21-00>.
- อรณพ นาคปิ่น. (2562). วงจรทบระดับแรงดันแบบสวิตช์เดี่ยวอัตราขยายแรงดันสูงสำหรับระบบที่มีแหล่งจ่ายแรงดันต่ำ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

- Akhlaghi, B., Molavi, N., Fekri, M., & Farzanehfard, H. (2018). High step-up interleaved ZVT converter with low voltage stress and automatic current sharing. **IEEE Trans. Ind. Electron**, 65 (1), 291–299.
- Cláudio, M. C. D., Duarte, C., & Ivo, B. (2002). An improved family of ZVS-PWM active-clamping DC-to-DC Converters. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 17 (1), 1–7.
- Claudio, M. C. D., & Ivo, B. (1997). A new family of ZVS-PWM active-clamping DC-to-DC boost converters: Analysis, design, and experimentation. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 12 (5), 824–831.
- Fang, Z. P., Hui, L., Gui-Jia, S., & Jack, S. L. (2004). A new ZVS bidirectional DC–DC converter for fuel cell and battery application. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 19 (1), 54–65
- Jeffrey, S., & Harry, B., (2008). **Snubber circuit for a power converter**. (U.S. Patent, US 7,385,833), pp. 1–3.
- Li, W., Li, W., & He, X. (2011). Zero-voltage transition interleaved high step-up converter with built-in transformer. **IET Power Electronics**, 4, 523–531.
- Mohammadi, M. R., & Farzanehfard, H. (2017). Family of soft switching bidirectional converters with extended ZVS range. **IEEE Trans. Ind. Electron**. 64(9), 7000–7008.
- Naim, S. T., & Yakup, S. (2017). ZVT-PWM DC–DC boost converter with active snubber cell. **The Institution of Engineering and Technology**, 10(2), 251–260.
- Sahin, Y., & Ting, N. S. (2018). Soft switching passive snubber cell for family of PWM DC–DC converters. **Electronics Engineering**. 100(3), 1785–1796.
- Sahin, Y., Ting, N. S., & Acar, F. (2018). A soft switching with reduced voltage stress ZVT-PWM full-bridge converter. **Review of Scientific Instruments**, 89(1), 1–9.
- Sahin, Y., Ting, N. S., & Aksoy, I. (2018). A highly efficient ZVT–ZCT PWM boost converter with direct power transfer. **Electronics Engineering**, 100(2), 1113–1123.
- Sahin, Y. (2018). A novel soft switching PWM-PFC AC–DC boost converter. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 13 (1), 256–262.
- Ting, N. S., Aksoy, I., & Sahin, Y. (2017). ZVT-PWM DC–DC boost converter with active snubber cell. **IET Power Electron**, 10(2), 251–260.



- Ting, N. S., Sahin, Y., & Aksoy I., (2017) Analysis, design, and implementation of a zero-voltage-transition interleaved boost converter. **Journal of Power Electron**, 17(1), 41–55.
- Ting, N. S. (2018). A new highpower factor ZVT-ZCT AC–DC boost converter. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 4(13), 1538–1547.
- Rangarajan, V. (2013). Fuzzy logic controller based ZVT-ZCT PWM boost converter using renewable energy sources. **Journal of Electrical and Electronics Engineering**, 7(6), 8-17.
- Wuhua, L, Yi, Z., Yan, D., & Xiangning, H. (2010). Interleaved converter with voltage multiplier cell for high step-up and high-efficiency conversion. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 25, 2397–2408.
- Yi, J. H., Choi, W., & Cho, B. H. (2017). Zero-voltage-transition interleaved boost converter with an auxiliary coupled inductor. **IEEE Transactions Power Electron**, 32(8), 5917–5930
- Yi, Z., Wuhua, L., Yan, D., & Xiangning, H. (2011). Analysis, design, and experimentation of an isolated ZVT boost converter with Coupled inductors. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 26, 541–550.
- Zhang, X., Qian, W., & Li, Z. (2017). Design and analysis of a novel ZVZCT boost converter with coupling effect. **IEEE Transaction on Power Electronics**, 32(12), 5992–9000.
- Zhu, B., Ren, L., Wu, X., & Song, K. (2017). ZVT high step-up DC–DC converter with a novel passive snubber cell. **IET Power Electronics**, 10(5), 599–605.

การศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB จาก
การควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
THE STUDY OF MOVING TIME OF PCB PUNCHING MACHINE FROM
STEPPING MOTOR CONTROL BY MICROCONTROLLER

ณัฐที ถึงสุข^{1*}, ณัฐพงศ์ จอมทอง¹, ธีรพงษ์ แสงบุญ¹ และ อัครกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์¹
Nuttee Thungsuk^{1*}, Natthaphong Chomthong¹, Teerawut Sarangboon¹ and
Arckarakit Chaithanakulwat¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University,
Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่รับระบบ 21 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 20 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

เครื่องเจาะแผ่น PCB ขนาดเล็กได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการเจาะแผ่น PCB ให้มีความ
เที่ยงตรงและรวดเร็วตามตำแหน่งซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบควบคุม ในงานวิจัยนี้ได้
ทำการศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB ขนาดเล็กจากการควบคุมสเต็ปมอเตอร์
ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ระยะทางในการเคลื่อนที่เป็น 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90
mm และ 100 mm นอกจากนั้นความถี่ที่ 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz ถูกใช้สำหรับควบคุมสเต็ป
มอเตอร์ โดยพบว่าการเคลื่อนที่ในทุกความถี่สำหรับการควบคุมสเต็ปมอเตอร์เป็นเชิงเส้น
นอกจากนั้นเมื่อให้ความถี่ที่สูงขึ้นส่งผลให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ลดลง แต่อย่างไรก็ตามความชันที่
เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันโดยความชันที่ความถี่ 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz เป็น 0.1926, 0.0931
และ 0.0521 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เครื่องเจาะแผ่น PCB ขนาดเล็ก, ไมโครคอนโทรลเลอร์, สเต็ปมอเตอร์

Abstract

The small PCB punching machine has facilitated the drilling of PCB to be accurate and fast at the position which uses the microcontroller as a control system. This research is a study of the movement time of a small PCB punching machine from stepping motor control by a microcontroller with different moving distances: 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm and 100 mm. In addition, the frequencies at 50 Hz, 100 Hz, and 500 Hz were used to control the stepping motor. It was found that all frequency movements for stepping motor control were linear. When the higher frequency was given, it resulted in shorter time for movement. However, the slope at 50 Hz, 100 Hz and 500 Hz frequency had different values: 0.1926, 0.0931, and 0.0521, respectively.

Keywords: Small PCB punching machine, Microcontroller, Stepping motor

1. บทนำ

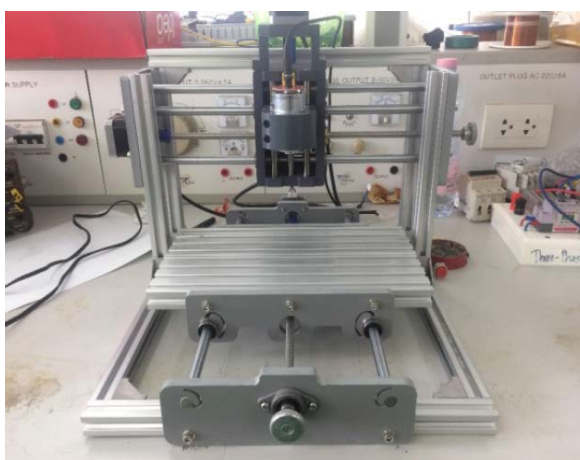
ปัจจุบันความก้าวหน้าในเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์ด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านวิทยาศาสตร์ การแพทย์ และด้านอุตสาหกรรม ซึ่งในการทำงานภาคอุตสาหกรรมนั้นต้องอาศัยความแม่นยำ ในการผลิตอุปกรณ์ต่างในงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและมีมาตรฐานตามที่อุตสาหกรรมต้องการ ดังนั้นจึงทำให้เห็นว่าเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถมาประยุกต์ใช้กับงานกับเครื่องจักรกล ทางอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกันในการใช้งานได้ (Bernstein, 2003; Ferdinando, 2005 และ Nae & Andrei, 2010)

เนื่องจากอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้าไปเกี่ยวข้องด้วยในส่วนของ การควบคุมเครื่องจักรต่างๆ แล้วแต่การใช้งาน ดังนั้นในการออกแบบวงจรไฟฟ้าอาจมีความยากลำบากในการเจาะแผ่น PCB (Printed circuit board) ซึ่งอาจจะทำให้ลายของวงจรในแผ่น PCB เกิดการเสียหายและรวมไปถึงดอกสว่านที่อาจชำรุดได้ จึงเล็งเห็นความสำคัญในการเจาะลายวงจรในแผ่น PCB ดังนั้นได้ทำการออกแบบเครื่องเจาะลายวงจรแผ่น PCB ขนาดเล็ก เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกในการเจาะลายในแผ่น PCB ให้มีความเที่ยงตรงในการเจาะตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ (Pahole *et al.*, 2009; Nagai, 2001 และ Balasubramanyam & Prasanthi, 2014) เพื่อลดความผิดพลาดในการเจาะลายแผ่น PCB ให้มีความผิดพลาดน้อยลง เครื่องเจาะลายวงจรในแผ่น PCB ขนาดเล็ก มีระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวรับคำสั่งจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์โดยมีการออกแบบวงจรจากโปรแกรมแล้วนำคำสั่งที่ได้ไปยังชุดควบคุมเพื่อขับสเต็ปมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปยังพิกัดและตำแหน่งที่กำหนดไว้ได้อย่างแม่นยำ (Raju *et al.*, 2006; Shrikant & Lochana, 2015 และ

Andrei & Nae, 2010) โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2. การสร้างและการออกแบบงานวิจัย

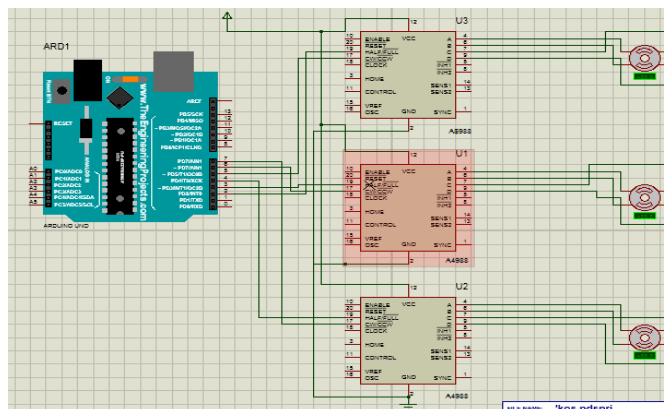
สำหรับในการสร้างเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ โครงสร้างของเครื่อง ระบบการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ และการแปลงลายวงจรเพื่อสร้าง G-Code ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 โครงสร้างเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2.1 โครงสร้างของเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ทำการออกแบบให้มีพื้นที่สำหรับเจาะรูของลายวงจรให้มีขนาดไม่เกิน 20x20 cm และมีการแกนสำหรับการเคลื่อนที่ 3 แกน โดยการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกนนั้นได้ติดตั้งสเต็ปมอเตอร์ไว้กับแท่งสกรูเกลียวขนาด M8x40 cm โดยมีบอลโรเลอร์กับชุดเพลาติดตั้งไว้ระหว่างแท่งสกรูเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 1

2.2 ระบบการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้สเต็ปมอเตอร์รุ่น ANEMA23 ที่ใช้ไฟฟ้าแรงดันกระแสตรง 5 โวลต์ กระแส 1.5 A และมอเตอร์เคลื่อนที่สเต็ปละ 1.8 องศา ดังนั้นการที่มอเตอร์เคลื่อนที่ครบ 1 รอบต้องใช้ 200 พัลส์โดยต้องกระตุ้นให้มอเตอร์หมุนไปแต่ละ Step จากการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับสเต็ปมอเตอร์ที่ละเฟสตามลำดับ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนได้ทำการควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์ 3 ตัว ในแต่ละแกน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 วงจรขับสเต็ปปั๊มมอเตอร์

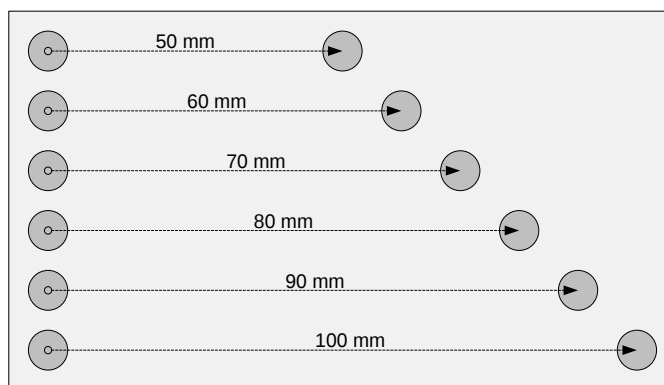
หลักการคือเริ่มจากจ่ายกระแสให้ขดลวด Stator เฟส 1 จากนั้นกระตุ้นเฟส 2 และ เฟสที่ 3 ไปเรื่อยๆ ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 จากนั้นก็วิ่งกลับมาที่ขดลวด Stator เฟส 1 อีกครั้งและวน รอบไปเรื่อยๆ ก็จะทำให้สเต็ปปั๊มมอเตอร์หมุนและในทางกลับกันถ้าต้องการให้สเต็ปปั๊มมอเตอร์หมุนกลับทาง ก็ต้องกระตุ้นขดลวดสเตเตอร์ เฟส 4 เฟส 3 เฟส 2 และ เฟส 1 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การควบคุมสเต็ปปั๊มแบบกระตุ้นเฟส

ลำดับ	1	2	3	4
ขดที่ 1	Active	-	-	-
ขดที่ 2	-	Active	-	-
ขดที่ 3	-	-	Active	-
ขดที่ 4	-	-	-	Active

2.3 การแปลงลายวงจรเพื่อสร้าง G-Code ต้องทำการออกแบบลายวงจรจากโปรแกรม Proteus เสร็จให้เรียบร้อยเสียก่อน จากนั้นทำการบันทึกเป็นไฟล์ G-Code เพื่อจะได้ตำแหน่งเจาะรูตามแบบ สองแกนคือแกน X,Y แล้วนำไฟล์ G-Code มาทำเป็นสามแกนคือ X,Y,Z โดยผ่านโปรแกรมแปลงไฟล์ G-Code มาเป็น Drill File ซึ่งการออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรมโดยรับค่า G-Code คอมพิวเตอร์มาประมวลผล จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูโนทำการส่งสัญญาณมาสั่งให้มอเตอร์แกน X,Y,Z เพื่อทำตามโค้ดของ G-Code ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 กระบวนการคือการเขียนแบบในคอมพิวเตอร์แล้วทำการแปลงเป็น Flat CAM และ Candle ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมสตีปิ้งมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในงานวิจัยนี้ใช้ความถี่ 50 Hz 100 Hz และ 500 Hz ในการควบคุมความเร็วของสตีปิ้งมอเตอร์และได้กำหนดระยะในการเคลื่อนที่ในแนวตรงโดยที่มีความแตกต่างกันที่ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 mm ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระยะรูเจาะที่ทำการทดลองความเร็ว

3. ผลการวิจัย

สำหรับการทดสอบใช้เครื่องเจาะแผ่น PCB ในการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ในแต่ละความถี่ได้ทำการทดสอบ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยในทุกๆ ระยะที่ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 mm โดยมีข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 2 การทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 50 Hz

ระยะการเคลื่อนที่ (mm.)	เวลาครั้งที่ 1 (sec)	เวลาครั้งที่ 2 (sec)	เวลาครั้งที่ 3 (sec)	เวลาเฉลี่ย (sec)
50	12.37	12.36	12.27	12.33
60	14.21	14.25	14.23	14.23
70	16.21	16.27	16.24	16.24
80	18.03	18.06	18.05	18.04
90	20.00	20.30	20.22	20.17
100	21.89	21.95	21.85	21.89

จากตารางที่ 2 แสดงการทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 50 Hz ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะทางของการเจาะมากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นความเร็วในการทดสอบทั้ง 3 ครั้งในระยะต่างๆ เวลาที่เกิดขึ้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเป็น 12.33 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 50 mm และเวลาเฉลี่ยที่สูงที่สุดเป็น 21.89 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 100 mm

ตารางที่ 3 การทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 100 Hz

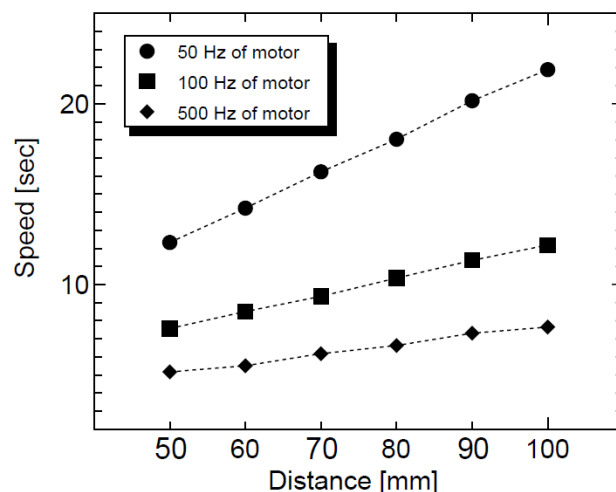
ระยะการเคลื่อนที่ (mm.)	เวลาครั้งที่ 1 (sec)	เวลาครั้งที่ 2 (sec)	เวลาครั้งที่ 3 (sec)	เวลาเฉลี่ย (sec)
50	7.57	7.55	7.59	7.57
60	8.47	8.44	8.61	8.51
70	9.39	9.34	9.33	9.35
80	10.38	10.33	10.39	10.36
90	11.33	11.39	11.30	11.34
100	12.24	12.23	12.10	12.19

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 100 Hz ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะทางของการเจาะมากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับข้อมูลจากตารางที่ 2 โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเป็น 7.57 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 50 mm และเวลาเฉลี่ยที่สูงที่สุดเป็น 12.19 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 100 mm ซึ่งยืนยันได้ว่าเวลาที่ใช้มีค่าที่ต่ำกว่าการให้ความถี่ที่สเต็ปปั๊มมอเตอร์ 50 Hz นอกจากนั้นความเร็วในการทดสอบทั้ง 3 ครั้งในระยะต่างๆ เวลาที่เกิดขึ้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4 การทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 500 Hz

ระยะการเคลื่อนที่ (mm.)	เวลาครั้งที่ 1 (sec)	เวลาครั้งที่ 2 (sec)	เวลาครั้งที่ 3 (sec)	เวลาเฉลี่ย (sec)
50	5.16	5.16	5.19	5.17
60	5.60	5.62	5.30	5.51
70	6.16	6.18	6.20	6.18
80	6.60	6.64	6.65	6.63
90	7.30	7.30	7.32	7.31
100	7.68	7.68	7.60	7.65

จากตารางที่ 4 แสดงการทดสอบความเร็วในการเจาะที่ความถี่ 500 Hz ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มระยะทางของการเจาะมากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเจาะเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันกับข้อมูลจากตารางที่ 2 โดยที่เวลาเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเป็น 5.17 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 50 mm และเวลาเฉลี่ยที่สูงที่สุดเป็น 7.65 วินาที ซึ่งเกิดจากระยะในการเคลื่อนที่เป็น 100 mm แต่อย่างไรก็ตามสามารถยืนยันได้ว่าเวลาที่ใช้นั้นมีค่าที่ต่ำกว่าการให้ความถี่ที่สแตปป์มอเตอร์ 50 Hz และ 100 Hz

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเจาะและความเร็วในการเคลื่อนที่
เมื่อความถี่เป็น 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz

จากภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเจาะและความเร็วในการเคลื่อนที่เมื่อความถี่เป็น 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz โดยระยะในการเจาะของเครื่องเจาะแผ่น PCB ทดสอบที่

ระยะ 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm และ 100 mm ซึ่งพบว่าที่ความถี่ทั้งสามคือ 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz มีแนวโน้มของการใช้เวลามากขึ้นจากระยะทางที่มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามความถี่ที่ 100 Hz และ 500 Hz มีการใช้อัตราส่วนความเร็วที่ใกล้เคียงกันซึ่งสังเกตได้จากเส้นตรงที่มีความชันที่ใกล้เคียงกัน แต่สำหรับความถี่ที่ 50 Hz นั้นมีความแตกต่างของความชันจากเส้นตรงที่ได้จากความถี่ที่ 100 Hz และ 500 Hz อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าความถี่ที่ 100 Hz และ 500 Hz ได้ให้อัตราส่วนความเร็วที่ใกล้เคียงกันแต่แตกต่างกันเมื่อใช้ความถี่ที่ 50 Hz

4. สรุป

การศึกษาเวลาในการเคลื่อนที่ของเครื่องเจาะแผ่น PCB จากการควบคุมสปีดปึงมอเตอร์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นได้ทำการทดสอบที่ระยะทางในการเคลื่อนที่เป็น 50 mm, 60 mm, 70 mm, 80 mm, 90 mm และ 100 mm จากการให้ความถี่สำหรับสปีดปึงมอเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็น 50 Hz, 100 Hz และ 500 Hz โดยการทดสอบเป็น 3 ครั้งสำหรับแต่ละเงื่อนไขเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าที่ความถี่ 50 Hz เมื่อระยะทางในการเคลื่อนที่มากขึ้นได้ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่มากไปด้วย โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ linear least squared วิเคราะห์ทำให้ทราบว่าที่ความถี่ 50 Hz 100 Hz และ 500 Hz มีสมการเป็น $y = 2.7029 + 0.1926x$, $y = 2.9010 + 0.0931x$ และ $y = 2.4976 + 0.0521x$ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามความชันที่เกิดขึ้นในสมการมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าที่ความถี่ 100 Hz และ 500 Hz มีค่าความชันเป็น 0.0931 และ 0.0521 ตามลำดับ ซึ่งสังเกตได้ว่าความชันที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันค่อนข้างมากสำหรับความชันที่ความถี่ 50 Hz ที่เป็น 0.1926

5. เอกสารอ้างอิง

- Andrei, T., & Nae, I. (2010). Practical applications performed by a stepper motor CNC router. **Seria Technical**, LXII, 127-138.
- Balasubramanyam, N., & Prasanthi, Smt. G. (2014). Design and fabrication of an automatic PC-based drilling machine. **HCTL Open International journal of Technology Innovations and Research**, 7, 1-13.
- Bernstein, D. S. (2003). Setting up and running a control research laboratory. **IEEE Control Systems Magazine**, 23, 14-19.



- Ferdinando, H., Sandjaja, I. N., & Sanjaya, G. (2005). **Automatic drilling machine for printed circuit board**. The 6th Symposium on Advanced Intelligent Systems, Surabaya, Indonesia.
- Nae, I., & Andrei, T. (2010). Designing and building a CNC router using stepper motors. **Seria Technica**, LXII, 55-62.
- Nagai, K. (2001). Learning while doing: Practical robotics education. **IEEE Robotics & Automation Magazine**, 8, 38-43.
- Pahole, I., Rataj, L., Ficko, M., Klancnik, S., Brezovnik, S., Brezocnik, M., & Balic, J. (2009). Construction and evaluation of low-cost table CNC milling machine. **Scientific Bulletin, Series C: Mehcanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology**, XXIII, 1-7.
- Raju, N., Beedu, N., Lakshminarasamma, N., & Ramanarayanan, V. (2006). **A do-it-yourself (DIY) switched mode power conversion laboratory**. India International Conference on Power Electronics, Chennai, India.
- Shrikant, B., Lochana, A., Madhuri, G., Asmita, B., & Mansi, S. (2015). PC controlled PCB drilling machine. **International Journal of Engineering Technology and Computer Research (IJETCR)**, 3(1), 64-66.



การควบคุมฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าเฟสเดียวสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย ที่มีกลไกการกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

HARMONICS CONTROL IN SINGLE-PHASE ELECTRICAL SYSTEMS FOR RESIDENTAL BUILDINGS WITH AN SHUNT ACTIVE POWER FILTERING MECHANISM

อักรกิตต์ ไชยชนกุลวัฒน์¹, ณัฐทิ ถึงสุข^{1*}, อีรวุฒิ แสงวงบุญ¹, ศักดาวุฒิ บุญตัว¹, นฤพร คงคราญ¹
และ นฤมล เทพยาพระณรงค์¹

Arckarakit Chaithanakulwat¹, Nuttee ThungSuk^{1*}, Teerawut Sawangbun¹, Sakdawut
Boontua¹, Narporn Kongkran¹ and Narumon Thapayapanarong¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University,
Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 29 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 31 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าเฟสเดียวสำหรับอาคารที่อยู่อาศัย พร้อมกลไกการกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน เพื่อกรองกระแสที่ผิดเพี้ยนจากสภาพคลื่นไซน์ที่เกิดจากการจ่ายโหลดไม่เชิงเส้นในอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้า ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบไฟฟ้าที่เชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้า งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทดสอบหลักการของกลไกที่นำเสนอด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink และเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น เพื่อยืนยันความถูกต้องของระบบที่เสนอ ผลการจำลองระบบแสดงให้เห็นว่าสามารถลดการเกิดฮาร์มอนิกส์ (THD) ให้เหลือเพียง 25.48% ซึ่งยืนยันว่ากลไกสามารถทำงานได้ตาม วัตถุประสงค์

คำสำคัญ: ผลรวมความเพี้ยน, ตัวกรองกำลังแอกทีฟ, อาคารที่อยู่อาศัย, เฟสคู่ปลั๊ก, การกรองผ่านต่ำ

Abstract

This research paper presents control of harmonics in single-phase electrical systems for residential buildings with shunt active power filtering mechanisms. This research was conducted in order to filter distorted currents from the sine wave form caused by nonlinear-load supply in a residential building. They cause harmonics in the electrical system which influence the performance of the power grid system. In this research, the principles of the mechanism presented by the program MATLAB/Simulink were tested, and the created prototype equipment was compared. This was to verify the presented system. The results of the system simulation showed that the harmonic generation (THD) could be reduced to be only 25.48%. This is verified that the mechanism can work as intended.

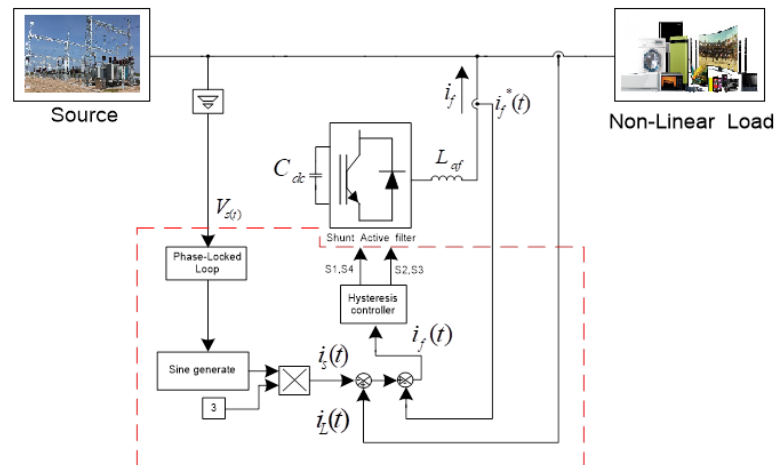
Key words: Total harmonic distortion, Active power filter, Residential building, Phase-Locked Loop, Low pass filter

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ที่อำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ทั้งหมดบนโลกนี้ก็มีอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทาน ซึ่งเป็นพื้นฐานของการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่หลากหลายทั้งสิ้น ตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็กกะทัดรัด เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องขยายเสียง คอมพิวเตอร์ ฯลฯ อุปกรณ์ทั้งหมดที่กล่าวมามีกลไกที่เรียกว่าสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลายซึ่งเป็นอุปกรณ์แรกสำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบควบคุมและระบบส่งกำลังให้กับอุปกรณ์ อุปกรณ์เหล่านี้มักทำให้เกิดความเพี้ยนของฮาร์มอนิกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าต่ำถึงแรงดันไฟฟ้าสูง นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อระบบซึ่งอาจทำให้เกิดกระแสเกินในตัวเก็บประจุและอาจทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์เหล่านั้นและยังทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง และยังส่งผลทำให้เกิดการรบกวนในระบบสื่อสารอีกด้วย (Tripathi & Sen, 1992; Chaithanakulwat & Kinnaree, 2017 และ Bus *et al.*, 1998) อีกทั้งคุณภาพของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าก็เปลี่ยนไปเช่นกัน การแก้ไขปัญหาคือการลดความเพี้ยนของฮาร์มอนิกในระบบที่ใช้กันทั่วไปคือการแก้ปัญหาโดยใช้กลไกการกรองกำลังแบบพาสซีฟสำหรับการกรองฮาร์มอนิก แต่ยังมีขั้นตอนที่ยังยากซับซ้อนและยังไม่สามารถกรองฮาร์มอนิกให้ลดลงได้หมดสมบูรณ์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการกรองฮาร์มอนิกโดยใช้กลไกการกรองกำลังแบบแอ็กทีฟแบบขนานโดยพิจารณาประเภทและหลักการทำงานของโพลต์ให้เกิดความสอดคล้องกับฟิสิกส์ของกลไก (Chaithanakulwat *et al.*, 2012; Chaithanakulwat *et al.*, 2012; Brodd & Novotny, 1984;

Gregory, 1994; Arriaga *et al.*, 1985 และ Kale & Oedemic, 2005) และสะดวกในการควบคุมซึ่งรายละเอียดของหลักการและกลไกจะอธิบายในส่วนถัดไป

2. คำอธิบายของภาพแบบที่เสนอ



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมวงจรกลไกการกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน

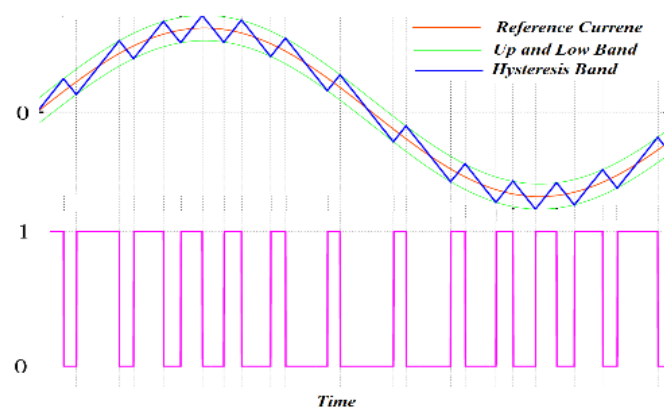
สำหรับหลักการทำงานของระบบและกลไกนี้ใช้วิธีการตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบจำหน่ายไฟฟ้า (V_s) ผ่านอุปกรณ์กรองความถี่ต่ำ (L_{pf}) และอัลกอริทึมเฟสล็อกลูป (PLL) เพื่อสร้างกระแสอ้างอิง (i_s) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดแบบไม่เชิงเส้น (i_L) เพื่อกำหนดเป็นกระแสไฟฟ้าอินพุต (i_f) เพื่อไปควบคุมการมอดูเลชันของกลไกตัวกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อให้กลไกการทำงานนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและนำไปควบคุมกระแสฮาร์มอนิกส์ที่เกิดจากโหลดไม่เชิงเส้นในอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านกลไกตัวกรองกำลังแอกทีฟแบบขนาน (i_f^*) นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับกระแสอินพุต (i_s) ที่จ่ายอยู่ในระบบทำให้กลไกการกรองเพื่อควบคุมกระแสฮาร์มอนิกส์ในระบบไฟฟ้าในอาคารที่อยู่อาศัยมาฮาร์มอนิกส์ลดลง ซึ่งระบบสามารถแสดงได้ดังแสดงในภาพที่ 1

2.1 การควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส

หลักการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิสจะเป็นการดำเนินการควบคุมการปรับความกว้างของพัลส์โดยใช้เทคนิคการติดตามภาพคลื่นไซน์ที่มีการกำหนดขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสล่างและขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสบนเพื่อใช้เป็นกระแสอ้างอิงภาพคลื่นไซน์ซึ่งมีขนาดและความถี่ตามการออกแบบที่คำนวณไว้แล้วเปรียบเทียบกับกระแสอินพุตที่จ่ายไปยังอาคารที่อยู่อาศัย เพื่อหากระแสที่ผิดปกติซึ่งสามารถ

พิจารณาได้ดังแสดงในภาพที่ 2 กระแสที่ผิดปกตินี้จะถูกพิจารณาเพื่อนำมากำหนดเงื่อนไขขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสล่างและขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสบนของหลักการ พิจารณาจากภาพที่ 2 สามารถเขียนสมการเพื่ออธิบายการควบคุมกระแสที่จ่ายให้กับโหลดไม่เชิงเส้นดังสมการ (1) (Kazmierkowski & Sani, 1989)

$$i_L(t) = i_s \cos(\omega t) + \sum_{j=1}^{\infty} i_{2j} \cos(2j\omega t + \phi_{2j}) + \sum_{k=1}^{\infty} i_{2k+1} \cos((2k+1)\omega t + \phi_{2k+1}) \quad (1)$$



ภาพที่ 2 หลักการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส

จากสมการ (2) เมื่อกระแสที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายไฟใช้เป็นกระแสอ้างอิงไซน์และเปรียบเทียบกับกระแสโหลดไม่เชิงเส้น จะได้กระแสชดเชยที่มีภาพคลื่นเข้าใกล้กับภาพคลื่นไซน์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาพคลื่นของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดในอาคารที่พักอาศัย

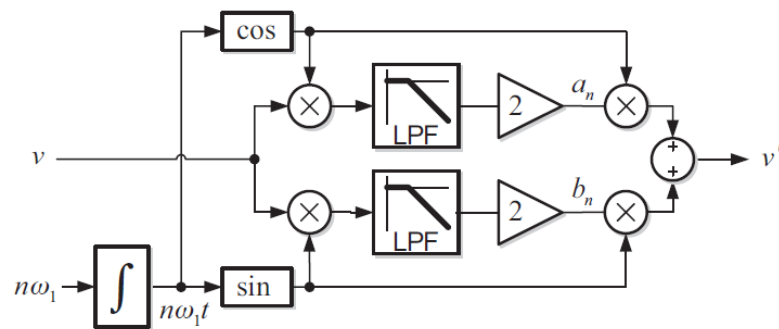
$$\begin{aligned} i_{f,1}(t) &= i_L(t) - i_s^*(t) \\ &= i_L(t) - i_s \cos \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) เมื่อพิจารณากระแสอินพุตที่จ่ายให้กับโหลดและกระแสอ้างอิงที่เป็นภาพคลื่นไซน์ดังสมการที่ (1) สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็นสมการที่ (3)

$$\begin{aligned} i_f(t) &= i_s \cos \omega t + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{I_{2j}}{2} [\cos((2j+1)\omega t + \phi_{2j}) + \cos((2j-1)\omega t + \phi_{2j})] \\ &+ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{I_{2k+1}}{2} [\cos((2k+2)\omega t + \phi_{2k+1}) + \cos(2k\omega t + \phi_{2k+1})] - i_s \cos \omega t \end{aligned} \quad (3)$$

2.2 การกรองความถี่ต่ำ

จากภาพที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของสัญญาณอินพุตที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟที่มีฟังก์ชันไซน์และโคไซน์ที่จำเป็นจากการกรองสัญญาณความถี่ต่ำซึ่งเป็นฟังก์ชันของส่วนประกอบความถี่ต่ำของสัญญาณอินพุตภายใต้สภาวะการทำงานปกติและเป็นส่วนประกอบความถี่ต่ำของระบบโครงข่าย องค์ประกอบความถี่พื้นฐานจะเป็นความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ องค์ประกอบความถี่พื้นฐานนี้เป็นตัวแปรสำคัญสำหรับอินเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย



ภาพที่ 3 หลักการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ

ความถี่ของไซน์และโคไซน์ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่จำเป็น ω_1 ถูกกำหนดโดยให้ $n = 1$ และองค์ประกอบความถี่ต่ำที่อินพุตของตัวกรองความถี่ต่ำมี $2\omega_1$ ที่ความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ซึ่งเป็นความถี่ของตัวกรองความถี่ต่ำควรมีค่าน้อยกว่า $2\omega_1$ นั่นคือประมาณ 10 เฮิร์ตซ์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลลัพธ์การตอบสนองสามารถหาได้จากสมการออยเลอร์นั่นคือ

$$\cos(n\omega t) = \frac{e^{jn\omega t} + e^{-jn\omega t}}{2} \quad (4)$$

$$\sin(n\omega t) = \frac{e^{jn\omega t} - e^{-jn\omega t}}{2} \quad (5)$$

นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูริเยร์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a_n = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) (e^{jn\omega t} + e^{-jn\omega t}) dt \quad (6)$$

$$b_n = \frac{-j}{T} \int_0^T v(t) (e^{jn\omega t} - e^{-jn\omega t}) dt \quad (7)$$

$$c_n = \frac{1}{2} (a_n - jb_n) = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) e^{-jn\omega t} dt \quad (8)$$

ดังนั้นสมการแรงดันไฟฟ้าจะหาได้จาก

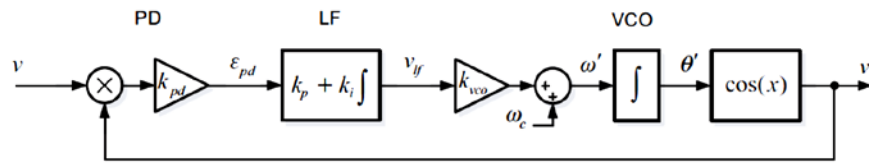
$$v(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{jn\omega t} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n^* e^{-jn\omega t} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{n=0}^{\infty} c_n e^{jn\omega t} + \sum_{n=-1}^{-\infty} c_n e^{jn\omega t} \\ &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{jn\omega t} \end{aligned} \quad (10)$$

จากสมการ (10) แสดงให้เห็นว่าสมการอนุกรมฟูริเยร์วิเคราะห์เฉพาะสำหรับความถี่บวกและลบเท่านั้น (Peng *et al.*, 1987; Rahman *et al.*, 1997 และ Salah, 2000)

2.3 เฟสล็อกกลุ๊ป

ไดอะแกรมพื้นฐานของเฟสล็อกกลุ๊ปสามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 4 ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วน นั่นคือ ส่วนที่ 1 อัลกอริทึมตรวจจับเฟสส่วนนี้จะสร้างสัญญาณเอ้าท์พุทที่แตกต่างจากสัญญาณไซน์ อินพุทและสัญญาณที่สร้างขึ้นโดยการกรองภายในเฟสล็อกกลุ๊ปเพื่อตรวจจับสัญญาณไซน์มีความถี่สูงและขึ้นอยู่กับความแตกต่างของสัญญาณ ส่วนที่ 2 อัลกอริทึมการกรองส่วนนี้จะกรองความถี่ต่ำเพื่อลดส่วนประกอบความถี่สูงจากเอาต์พุตของการตรวจจับสัญญาณไซน์ โดยปกติแล้วส่วนนี้จะสร้างขึ้นด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่านการควบคุมด้วย PI ยิ่งไปกว่านั้นส่วนที่ 3 อัลกอริทึมการควบคุมแรงดันไฟฟ้าส่วนนี้จะสร้างสัญญาณไฟสลับที่มีความถี่สัมพันธ์กับความถี่ของการกรองแรงดันไฟฟ้าที่ส่งผ่านจากตัวกรองความถี่ต่ำ



ภาพที่ 4 ไดอะแกรมพื้นฐานของเฟสล็อกกลูป

พิจารณาจากภาพที่ 4 สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$v = V \sin(\theta) = V \sin(\omega t + \phi) \quad (11)$$

นอกจากนี้สัญญาณที่สร้างขึ้นโดยการควบคุมแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับ

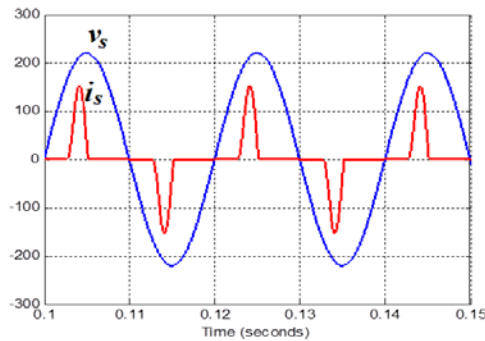
$$v' = \cos(\theta') = \cos(\omega' t + \phi') \quad (12)$$

สัญญาณข้อผิดพลาดของการตรวจจับสัญญาณไซน์สามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

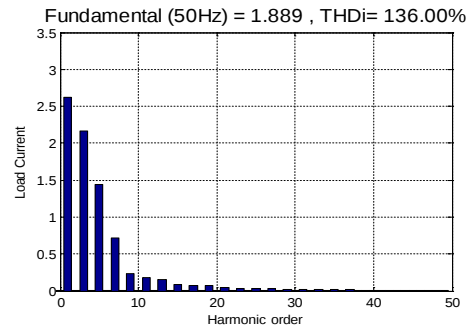
$$\begin{aligned} \varepsilon_{pd} &= V k_{pd} \sin(\omega t + \phi) \cos(\omega' t + \phi') \\ &= \frac{V k_{pd}}{2} [\sin((\omega - \omega')t + (\phi - \phi'))] [+ \sin((\omega + \omega')t + (\phi + \phi'))] \end{aligned} \quad (13)$$

3. ผลการจำลองและทดสอบ

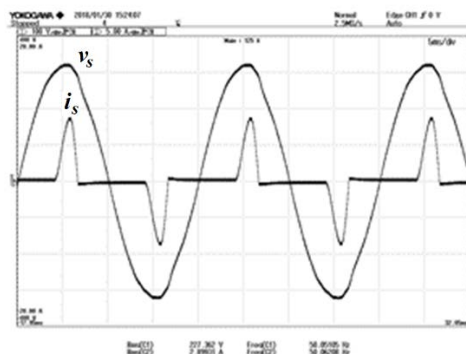
งานวิจัยนี้มีการทดสอบหลักการและกลไกที่นำเสนอข้างต้นโดยการทดสอบในระหว่างการใช้งานปกติเมื่อเชื่อมต่อโหลดที่ไม่เชิงเส้นและการทดสอบในขณะที่จ่ายโหลดที่ไม่เชิงเส้นโดยการเชื่อมต่อต้นแบบกลไกเข้าไปในระบบไฟฟ้าของอาคารที่พักอาศัยโดยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่มีกลไกการกรองกำลังแยกที่ฟแบบขนานซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้



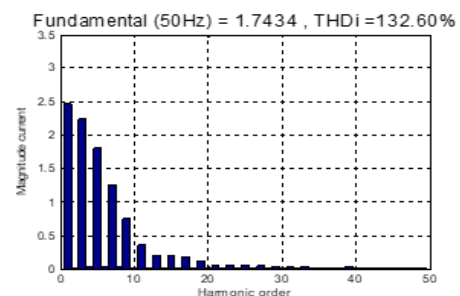
(ก)



(၅)



(๑)



(१)

ภาพที่ 5 (ก) และ (ข) แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
(ค) และ (ง) การทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น

```

Normal Mode      User:  ==  Scaling:  Linefilt:  NULL      YOROKAWA
                  Iover: ==  Average:  Freqfilt:  CF:3
[SET]: change items

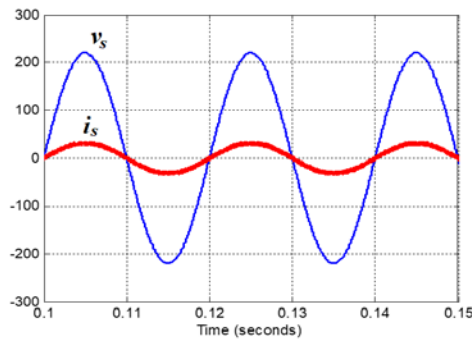
      Element1      Element2      Element3
      U1  300V Auto  U2  300V Auto  U3  15V Auto
      I1  5A Auto   I2  5A Auto   I3  500mA Auto

Urms [V ]      225.46      201.21      4.616
Irms [A ]      2.6098      2.8615      0.00_m
P [W ]         0.3655_s    0.3421_k    -0.000
S [VA ]         0.5884_k    0.5758_k    0.000
Q [var]         0.4611_k    0.4631_k    0.000
λ [ m ]         0.6212      0.5942      Error
φ [ ° ]         G51.60      G53.54      Error
f [ Hz ]        50.029      -----      -----
f1 [ Hz ]       50.038      -----      -----

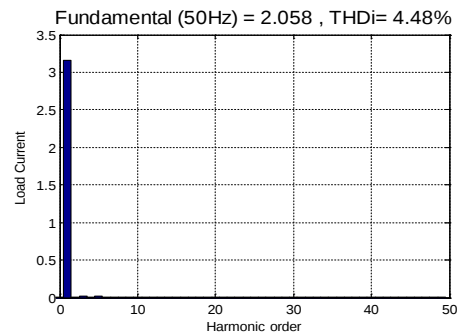
```

ภาพที่ 6 การทดสอบหา P,S,Q และ Pf

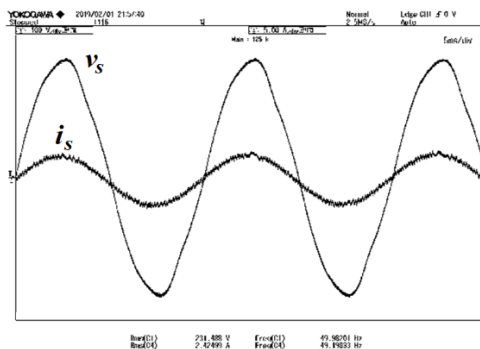
ภาพที่ 5 (ก) (ข) (ค) และ (ง) และภาพที่ 6 ผลการจำลองและผลการทดสอบเมื่อแหล่งจ่ายไฟเฟสเดียวเชื่อมต่อกับโหลดที่ไม่เชิงเส้นในอาคารที่อยู่อาศัย ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าเกิดการผิดเพี้ยนไปจากคลื่นไซน์นั่นคือการเกิด ฮาร์มอนิกขึ้นในระบบไฟฟ้า ส่งผลให้ตัวประกอบกำลังลดลง จากการจำลองและการทดสอบสามารถพิสูจน์และยืนยันว่าเมื่อเชื่อมต่อโหลดที่ไม่ใช่เชิงเส้นส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าจริง



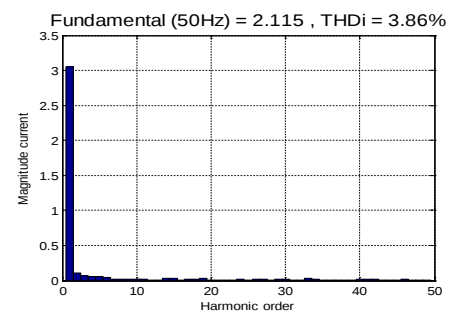
(ก)



(ข)



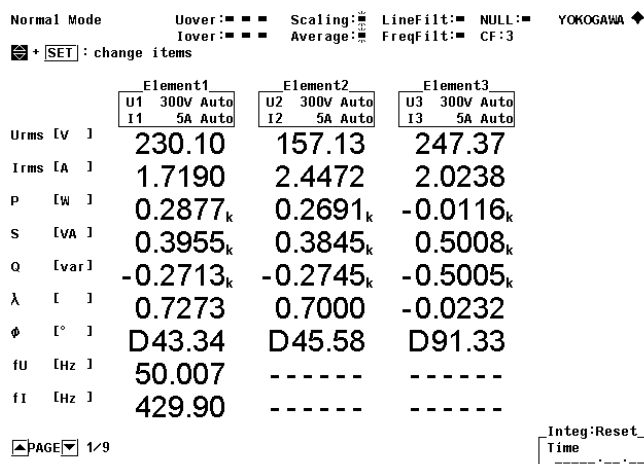
(ค)



(ง)

ภาพที่ 7 (ก) และ (ข) แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
(ค) และ (ง) การทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น

ในทำนองเดียวกันจากภาพที่ 7 (ก) (ข) (ค) และ (ง) การจำลองและการทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบเมื่อแหล่งจ่ายไฟเชื่อมต่อกับโหลดที่ไม่ใช่เชิงเส้นพบว่ากระแสที่ถูกขดเซย์โดยกลไกการกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานที่ใช้งานจะทำให้ภาพคลื่นไซน์ที่ผิดเพี้ยนเปลี่ยนแปลงกลับมามีภาพคลื่นเข้าใกล้ภาพคลื่นไซน์



ภาพที่ 8 การทดสอบหา P,S,Q และ Pf

จากภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าสามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้จริงและส่งผลทำให้ตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเข้าใกล้หนึ่ง เป็นหลักการที่สามารถยืนยันได้ว่าถูกต้องตามหลักทฤษฎีและหลักการทางคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวไว้

4. สรุปผล

จากการวิจัยที่เกี่ยวกับการควบคุมฮาร์มอนิกสในระบบไฟฟ้าเฟสเดียวสำหรับอาคารที่อยู่อาศัยที่มีกลไกการกรองกำลังแอกทีฟแบบขนานเพื่อกรองกระแสไฟฟ้าที่ผลิตเพี้ยนจากภาพคลื่นไซน์เมื่อจากโหลดที่ไม่เชิงเส้นนั้นนักวิจัยได้ทดสอบหลักการของกลไกที่นำเสนอด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น สามารถยืนยันความถูกต้องของระบบที่นำเสนอพร้อมผลการจำลองและการทดสอบจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นตามที่แสดงไว้ด้านบน ซึ่งเป็นข้อบ่งชี้ว่ากลไกดังกล่าวทำงานได้ตามเงื่อนไขและสามารถปรับปรุงการผิดเพี้ยนของกระแสให้เข้าใกล้ภาพคลื่นไซน์ซึ่งทำให้ฮาร์มอนิกสในระบบไฟฟ้าลดลง และสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้สำหรับงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ที่สนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสรรค์ผลงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Arriaga, J., Bradley, D. A., & Badger, P.S. (1985). **Power system harmonic**. USA: John Wiley & Son Ltd.
- Brodd, D. M., & Novotny, W. (1984). **Current control of VSI-PWM inverters**, IEEE-IAS Annual Meeting, 418-425.
- Bus, S., Milesian, L., & Mattarella, P. (1998). Comparison of current control techniques for active filter applications. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 45, 722-729.
- Chaithanakulwat, A., & Kinnares, V. (2017). Implementation of a low-cost single-phase grid-connected photovoltaic system with active filtering mechanism. **International Review of Electrical Engineering**, 12(2), 175-182. Doi: 10.15866/iree.v12i2.11383
- Chaithanakulwat, A., Kinnares, V., & Thungsuk, N. (2012). **Modeling and simulation of a 3-phase grid-connected photovoltaic inverter with active power filter functionality for harmonic mitigation**. The International Conference on Electrical Engineering (ICEE 2012), Kanazawa, Japan.
- Chaithanakulwat, A., Kinnares, V., & Thungsuk, N. (2012). **Single-phase grid-connected photovoltaic system with active power filter functionality**. 15th International Conference on Electrical Machines and System (ICEMS), Sapporo, Japan.
- Gregory, M. W. (1994). Estimation methods for power system harmonic effects on power distribution transformers. **IEEE Transactions on Industry Applications (electronic)**, 30(2).
- Kale, M., & Oedemic, E. (2005). An adaptive hysteresis band current controller for shunt active power filter. **Electric Power Systems Research**, 73, 113-119.
- Kazmierkowski, M.P., & Sani, L. (1989). PWM current control techniques of voltage source converters-A survey. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 45(5), 691-703.
- Peng, P. Z., Akagi, H., & Nabeel, A. (1987). **A study of active filter using quad-series voltage- source PWM converters for harmonic compensation**. In conference Record IEEE /PESC. 87, 204-211.



- Rahman, K. M., Khan, M. R., Choudhury, MA., & Rahman, M. A. (1997) Variable-band hysteresis current controllers for PWM voltage-source inverters. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 12, 964-970.
- Salah, T.M. (2000). **The Effect of the harmonic components upon transformer active losses in case of non-sinusoidal sources and non-Linear loads.** Department of Electrical Engineering Yilin Technical University, Istanbul, Turkey.
- Tripathi, A., & Sen, P. C. (1992). Comparative analysis of fixed and sinusoidal band Hysteresis current controllers for voltage source inverters. **IEEE Transactions on Industrial Electronics**, 39(1), 63-73.



FEASIBILITY STUDY OF ELECTRIC GENERATION FROM WASTE WIND COOLED

Nuttee Thungsuk^{1*}, Sunan Tati² and Thaweesak Tanaram²

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University, Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 5 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 10 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

Abstract

This research presents a feasibility study of electrical generation from waste wind cooled in Pibulsongkram Rajabhat University. Designed wind turbine for electrical power generation was 24 VAC 110 VA at 6.5 m/s of waste wind cooled speed of air conditioner and It was charged to battery, 24 V 100Ah 2 Cells. Conversion of direct current into alternating current was made by inverter size 1 kW for supplied to electrical load. The experiment reveals that there is a relation of output voltage and a charging period of battery. At 6.5 m/s of waste wind cooled speed, the result indicates that blade speed was 600 rpm, generated alternating current voltage at 24 V and a charging period of battery was 6 hours and supplied to car park lighting with 15 units of 36 W fluorescent lamps. The result showed that 10 % of electrical cost was saved when the system was connected with the electrical generation system.

Keyword: Wind power, Wind turbine, Renewable energy

1. Introduction

Wind is caused by the difference in atmospheric pressure, temperature and the force due to rotation of the earth, which cause the wind speed. The power of wind was generally accepted as the source of free energy which can be used for generating work and power. It can reduce energy cost and can be used extensively. It is also a renewable energy.

Wind turbine is the machine for conversion of kinetic energy from wind into mechanical energy which it can be used directly or indirectly. Wind turbine can be separated by blade position as follows;

1. Vertical Axis Turbine, VAWT. The center of rotation and blade are perpendicular with horizontal wind stream (see fig. 1).
2. Horizontal Axis Turbine, HAWT. The center of rotation and blade are parallel with wind stream in horizontal (see fig. 2).

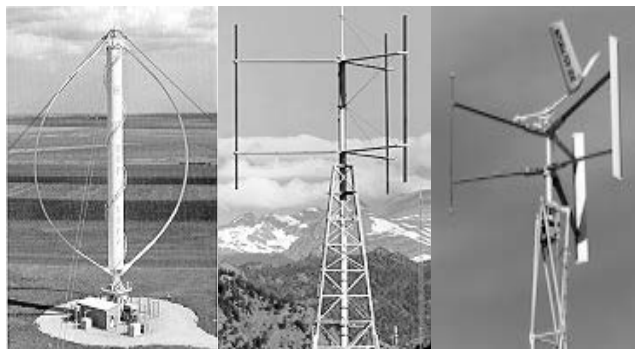


Figure 1 Types of vertical axis turbine



Figure 2 Type of horizontal axis turbine

Wind turbine for generating electrical energy is used in form of kinetic energy into mechanical energy then it is transferred to generator. Presently, the use of small or large wind turbine is based on wind speed of each area. Fig. 3 shows the example of small wind turbine.



Figure 3 Small Wind turbine to generate electrical energy

Electrical current by generator generally produces alternating current. Electrical current is generated by coil cut through magnetic field (see. fig. 4 and fig. 5).

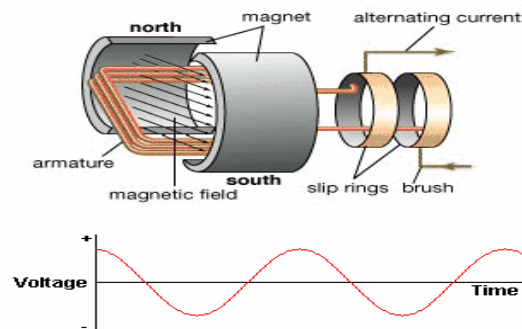


Figure 4 Principle of generator



Figure 5 Placement of coil and magnetic

Air conditioners use refrigeration to chill indoor air, taking advantage of a remarkable physical law: When a liquid converts to a gas (in a process called **phase conversion**), it absorbs heat. Air conditioners exploit this feature of phase conversion by forcing special chemical compounds to evaporate and condense over and over again in a closed system of coils.

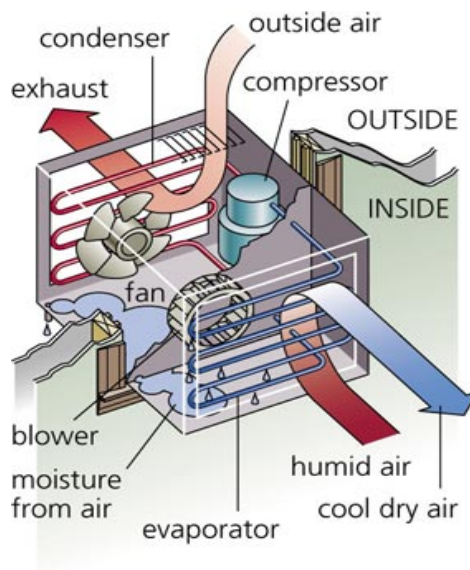


Figure 6 Basic of Air conditioners System

The compounds involved are refrigerants that have properties enabling them to change at relatively low temperatures. Air conditioners also contain fans that move warm interior air over these cold, refrigerant-filled coils. In fact, central air conditioners have a whole system of ducts designed to funnel air to and from these serpentine, air-chilling coils.

When hot air flows over the cold, low-pressure evaporator coils, the refrigerant inside absorbs heat as it changes from a liquid to a gaseous state. To keep cooling efficiently, the air conditioner has to convert the refrigerant gas back to a liquid again. To do that, a compressor puts the gas under high pressure, a process that creates unwanted heat. All the extra heat created by compressing the gas is then evacuated to the outdoors with the help of a second set of coils called condenser coils, and a second fan. As the gas cools, it changes back to a liquid, and the process starts all over again. Think of it as an endless, elegant cycle: liquid refrigerant, phase conversion to a gas/ heat absorption, compression and phase transition back to a liquid again.

Experimental setup

Outside air flows as waste wind cooled (see. fig. 6). The wind turbine to generate electrical energy for this research was shown in fig. 7. The wind turbine consists of AC generator capacity 24 VAC 110 VA at waste wind cooled speed 6.5 m/s and is installed at 10 centimeters of length. Produced electricity will be paid to battery, 24V 100Ah 2

Cells, by conversion from direct current voltage into alternating current voltage by inverter size 1kW after that it will be supplied to electrical load to figure out the efficiency of electrical generating system of wind turbine.

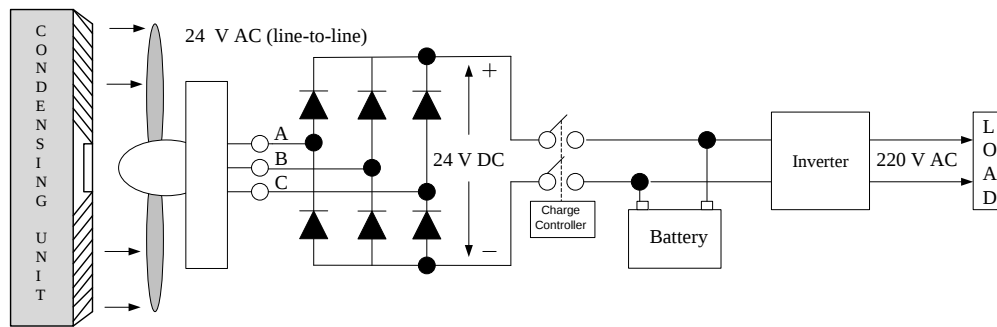


Figure 7 Schematic of the experimental setup

Table 1 Waste wind cooled speed

BTU of Air Conditions	Diameter of cooled fans	Waste wind cooled speed (m/s)
12,000 BTU	16"	3
25,000 BTU	16"	3.5
30,000 BTU	18"	5.7
33,000 BTU	18"	6.5

Waste wind cooled at installation area of wind turbine will be measured and recorded during the experiment. After that the data will be used for the design of wind turbine to appropriate with wind speed at installation area to maximize efficiency of system. Waste wind cooled speed from data was about 6.5 m/s on 33,000 BTU of air conditions then design sizing of wind turbine was 110 VA. The formula for calculating the sizing of wind turbine is shown below:

$$Watt_of_Wind_Turbine(W) = 0.15 \times (d)^2 \times (Wind_Speed)^3 \quad (1)$$

Hence, calculated wind turbine sizing was 54 centi-meters in diameter. Selected type of wind turbine was HAWT. The calculated wind turbine was built and installed at

Pibulsongkram Rajabhat University. The formula for calculating blade speed of wind turbine at average wind speed is shown below:

$$rpm = waste_wind_speed \times [(TSR \times 60) / ((22 / 7) \times d))] \quad (2)$$

Electrical voltage from wind turbine will be tested by calculation for blade speed at waste wind cooled speed 6.5 m/s, blade speed of wind turbine as calculated was 600 rpm. Blade speed will be controlled and output voltage will be measured by oscilloscope (see. fig. 8).

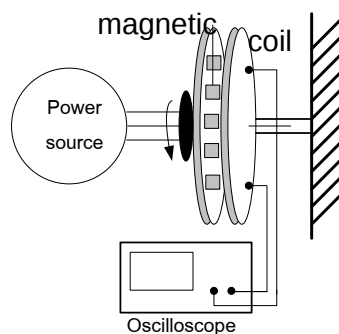


Figure 8 Schematic of electrical voltage testing

The testing of voltage charging period to battery will be tested by measuring electrical voltage and electrical current output from wind turbine by installing the charging controller to control electrical charging and recording of charging period (see. fig. 9).

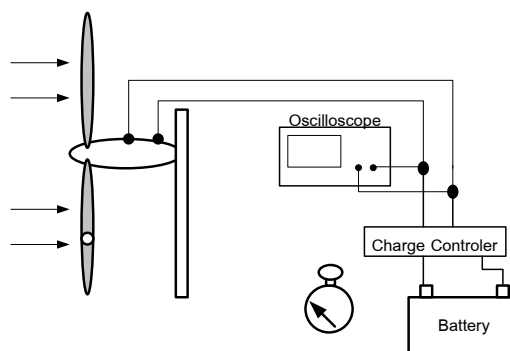


Figure 9 Schematic of charging controller installation

Measured data will be recorded during wind turbine operation, such as wind speed, blade speed, and output voltage. Then they will be used to analyze the relationship of each value to improve wind turbine (see fig. 10).

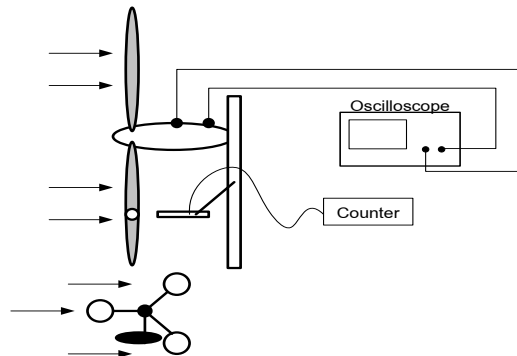


Figure 10 Schematic of equipments installation

Wind turbine will be tested during the operation by installing inverter size 1kW for converting direct current voltage to alternating current voltage and supplied to car park lighting that consists of fluorescent lamp 36 W total 15 units. At the same time, wind speed will be measured and recorded, together with output voltage of charging to battery and voltage supplied to load. The period of testing was 1 month then the recorded data will be used for analyzing to improve the system continually (see fig. 11).

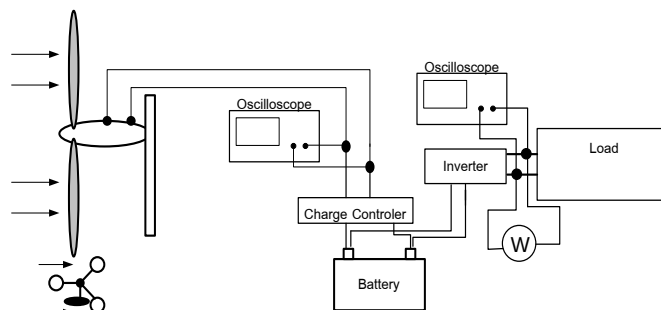


Figure 11 Schematic of operation testing

2. Result and discussion

The testing for electrical voltage from wind turbine at blade speed 600 rpm. found that electrical voltage was 24 V and frequency 36 Hz. The wave shown at oscilloscope was sine wave (see fig. 12).

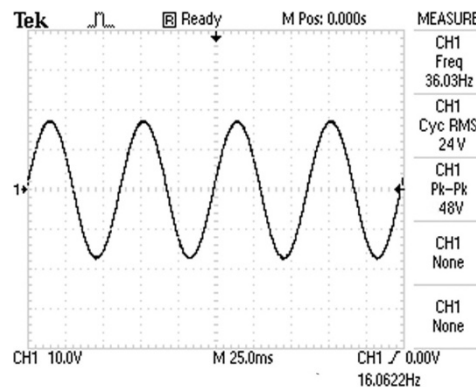


Figure 12 Voltage from wind turbine

Charging period for each type of battery was shown in fig. 13. The proper battery for this research was 100Ah 2 Cells and the charging period was about 6 hours at 25°C room temperature and outside temperature at 32°C.

The result of testing during the operation was shown in fig. 14. The output voltage from inverter can be supplied to fluorescent lamps without winking. The result showed that 10 % of electrical cost was saved when the system was connected with the electrical generation system.

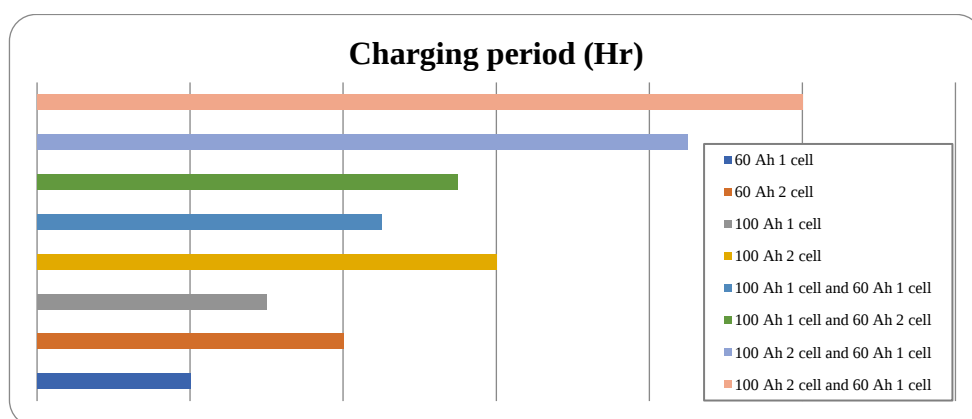


Figure 13 Charging period for each size of battery

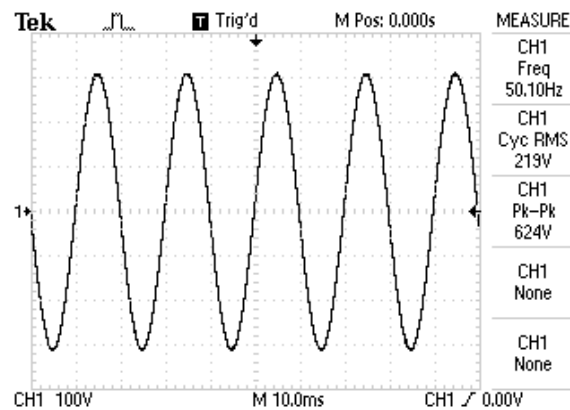


Figure 14 Output voltage from inverter

3. Conclusion

The designed wind turbine, which is installed at Pibulsongkram Rajabhat University, Phitsanulok province, has the potential to develop but it still has some drawbacks which need to be improved. Therefore, multiple wind turbines should be installed in order to improve the system. In addition, the use of another renewable energy, such as solar energy, combined with this wind turbine is recommended. Thus, this experiment found that the project not to interest.

4. Acknowledgement

This research was supported by Faculty of industrial technology, Pibulsongkram Rajabhat University and Johnson Controls International (Thailand) Co.,Ltd.

5. References

- Fitzgerald, A. E., Charles, K. Jr., & Stephen, D. U. (2003). **Electrical machine** (6th ed.). USA: McGraw-Hill.
- Hugh, P. (1997). **Wind power workshop: Centre for alternative technology publication.**
- Ion, B., & Syed A. N. (2002). **The induction machine handbook.** USA: CRC Press.
- Ministry of Energy. (2008). Wind energy for future. **Energy Saving**, 53.
- Sahamit Machinery Ltd. (2551). **Wind turbine for home used.** Retrieved from <http://www.sahamit.co.th/index.php/en/contact-us/lang/en-GB>



การจัดการห่วงโซ่อุปทานสำหรับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้
อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก
SUPPLY CHAIN MANAGEMENT FOR WOOD FURNITURE PRODUCT
IN BANGRAGUM DISTRICT PHITSANULOK

ธนิดา โชนงนุช^{1*} และ อลงกรณ์ เมืองไหว¹

Thanida Khanongnuch¹ and Alongkorn Muangwai¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: thanida@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 4 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 20 กุมภาพันธ์ 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการห่วงโซ่อุปทานสำหรับผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก โดยใช้เทคนิคการบริหารคุณภาพเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) การวิเคราะห์ SWOT อีกทั้งยังใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทาน อันได้แก่ หลักการใช้คุณค่า (Value chain) ที่บอกถึงกิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุนภายในอุตสาหกรรม ผังกิจกรรมการไหลของข้อมูลสารสนเทศและวัสดุ (IDEF0: Integration definition for function modeling) จากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาจากกระบวนการของห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ หลังจากนั้นจะดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สู่การกำจัดการจัดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นโดยใช้เครื่องมือ แผนผังสายธารคุณค่า (Value stream mapping: VSM) เพื่อแสดงความสัมพันธ์และพัฒนาห่วงโซ่อุปทานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผลจากการวิจัยพบว่า การที่จะพัฒนาอุตสาหกรรมนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงต้นทุนและการดำเนินงานตลอดห่วงโซ่อุปทานตั้งแต่ต้นน้ำถึงปลายน้ำ จึงจะทำให้เกิดการวางแผนในการบริหารอุตสาหกรรมได้อย่างถูกวิธีและยังเป็นการเตรียมพร้อมสำหรับการแข่งขันที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

คำสำคัญ: ห่วงโซ่อุปทาน, ห่วงโซ่คุณค่า, เฟอร์นิเจอร์ไม้

Abstract

This research aimed to study the supply chain management for wood furniture product in Bang Ragam District, Phitsanulok. Cause and Effect Diagram, SWOT Analysis, Value Chain Analysis, Integration Definition for Function Modeling and Value Stream Mapping (VSM) were used as quality management tools to analyze performance of the supply chain. The data were collected for data analysis. Non-necessary activities were eliminated by using VSM. This was to improve the efficiency of the supply chain. The results show that to develop this industry, it needs understanding about all of operation cost in order to improve industrial management planning and get ready for competition in the future.

Keywords: Supply chain, Value chain, Wood furniture

1. บทนำ

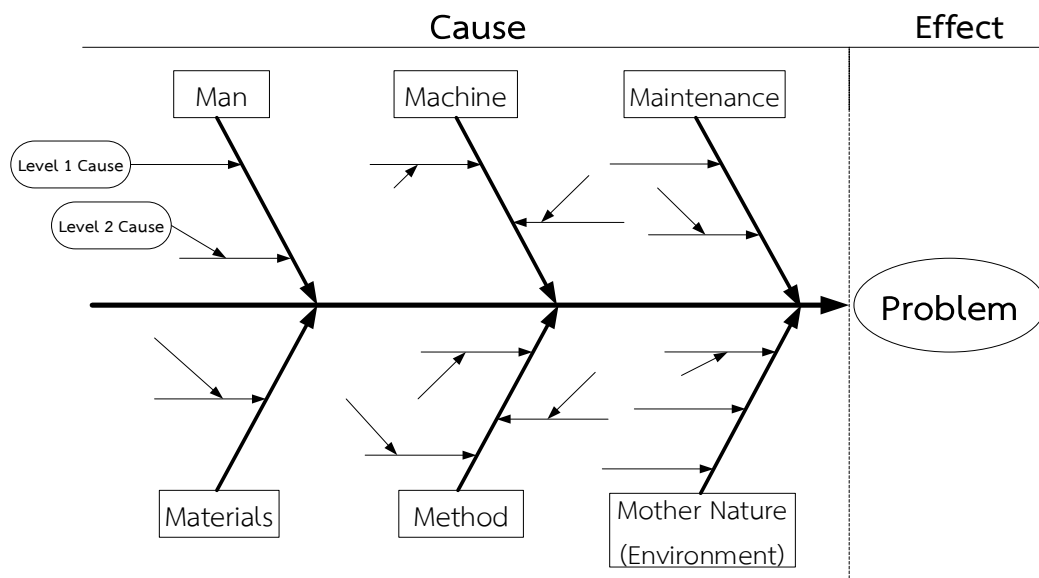
แนวคิดของโซ่อุปทาน (Supply chain) เป็นกลยุทธ์ที่ใช้ในการสร้างความได้เปรียบการแข่งขัน โดยเฉพาะด้านการบริหารและการดำเนินงานทางธุรกิจ และในการพัฒนาโซ่อุปทาน ยังเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางการค้า เพราะผู้ประกอบการต้องปรับกลยุทธ์เพื่อให้เหนือกว่าคู่แข่ง เพื่อสนองความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้นและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อธุรกิจ เช่น ต้นทุนด้านการบริหารจัดการโลจิสติกส์ ต้นทุนด้านการขนส่ง การจัดการสินค้าคงคลัง เป็นต้น ไม่เพียงแต่ผลกระทบทางด้านต้นทุนเท่านั้น แต่ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผู้ประกอบการ ยกตัวอย่างเช่น การบริหารจัดการภายในองค์กรให้มีคุณภาพและความน่าเชื่อถือ เป็นต้น จึงทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้มากขึ้น หรือเทียบเท่ากับอุตสาหกรรมเดียวกัน ลักษณะอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดเล็ก จากการศึกษาพบว่าอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยมีช่างที่มีฝีมือดีและผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความสวยงามมีคุณภาพดีตามความต้องการของลูกค้า แต่สิ่งที่จะต้องมีการพัฒนาในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ของไทยคือการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ไม้ให้มีภาพแบบที่หลากหลายเพื่อเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค อีกทั้งปัญหาที่พบในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นกับการจัดหาวัตถุดิบและกระบวนการผลิตรวมถึงช่องทางการจัดจำหน่ายสินค้าที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาและพัฒนาปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการเสนอแนวทางของการบริหารธุรกิจอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้กรณีศึกษาเพื่อให้สามารถดำเนินกิจการได้อย่างเหมาะสมที่สุด

2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาระบบโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้และเสนอแนะแนวทางในการดำเนินงานจัดการโซ่อุปทานให้เหมาะสมกับอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้กรณีศึกษาและอุตสาหกรรมที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมด (ประกอบไปด้วยหลายสาเหตุน้อยๆ) ที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น ดังภาพที่ 1

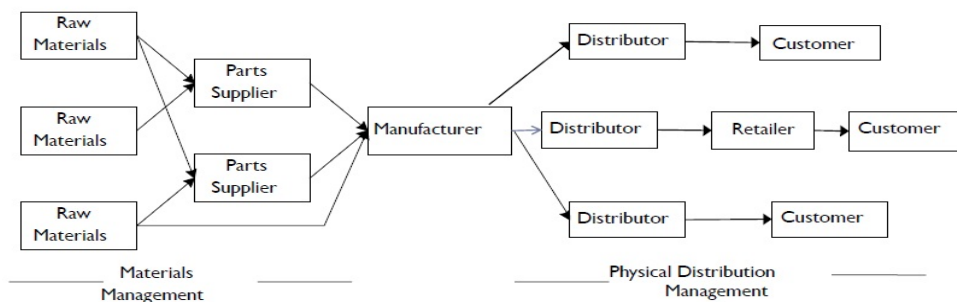


ภาพที่ 1 แผนผังสาเหตุและผล

3.2 การวิเคราะห์ SWOT (SWOT analysis) การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมเป็นเครื่องมือในการประเมินสถานการณ์สำหรับองค์กร ซึ่งช่วยผู้บริหารกำหนดจุดแข็งและจุดอ่อนจากสภาพแวดล้อมภายใน โอกาสและอุปสรรคจากสภาพแวดล้อมภายนอกตลอดจนผลกระทบที่มีศักยภาพจากปัจจัยเหล่านี้ต่อการทำงานขององค์กร

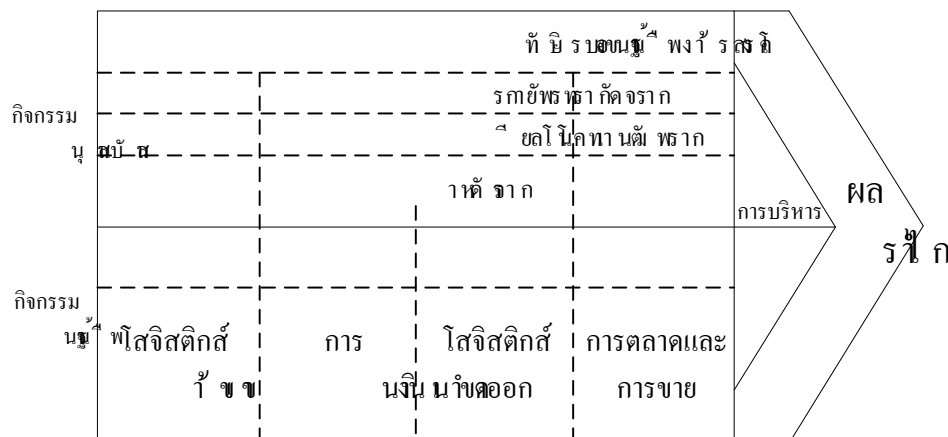
3.3 แนวคิดด้านการจัดการโซ่อุปทาน (Supply chain management) คือ การศึกษาทั้งระบบตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ ได้แก่ การสั่งซื้อวัตถุดิบ ผู้สนับสนุนวัตถุดิบ การผลิต การกระจายสินค้า การขนส่ง ผู้ค้าปลีกไปจนถึงผู้บริโภคลำดับสุดท้าย โดยมีวัตถุประสงค์ในการสร้างคุณค่าในการแข่งขันและยกระดับความสามารถในการดำเนินงานของธุรกิจได้อย่างเหมาะสม ดังภาพที่ 2

Supply Chain Management



ภาพที่ 2 แสดงองค์ประกอบของการจัดการโซ่อุปทาน

3.4 โซ่คุณค่า (Value chain) เป็นแนวคิดที่แสดงให้เห็นถึงกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร โดยที่กิจกรรมเหล่านั้นสามารถช่วยลดต้นทุนและส่งผลกำไรให้กับธุรกิจ สามารถใช้เป็นกลยุทธ์ กำหนดราคาหรือช่วยในการสร้างความแตกต่างของสินค้าและบริการ โดยศึกษาวิเคราะห์ถึง กิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุนภายในและภายนอกองค์กรรวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม เหล่านี้เพื่อศึกษาความได้เปรียบในการแข่งขันของแต่ละองค์กรดังภาพที่ 3

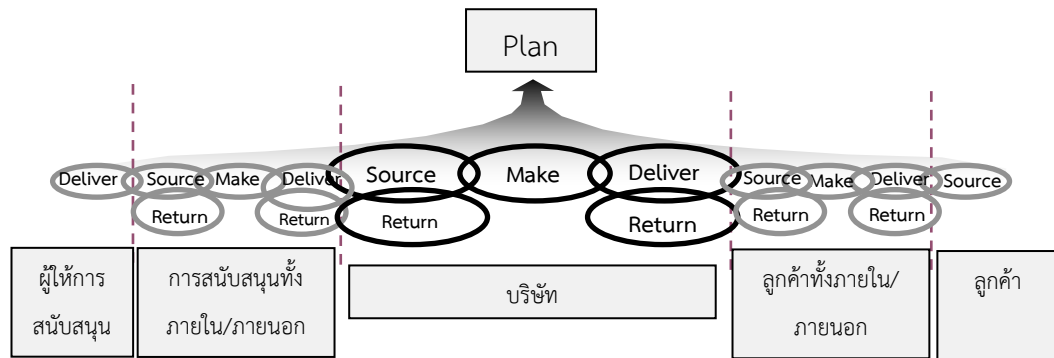


ภาพที่ 3 การวิเคราะห์โซ่คุณค่า (Value Chain) ของ Porter

(อภิชาติ และคณะ, 2551)

3.5 แบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทาน (SCOR - model) เป็นตัวแบบที่ใช้อ้างอิงถึง กระบวนการทางธุรกิจโครงสร้างของ SCOR model ประกอบด้วย 5 กระบวนการ ได้แก่ การวางแผน (Plan) การจัดหาจัดซื้อ (Source) การผลิต (Make) การขนส่ง (Deliver) และ การส่งคืน (Return)

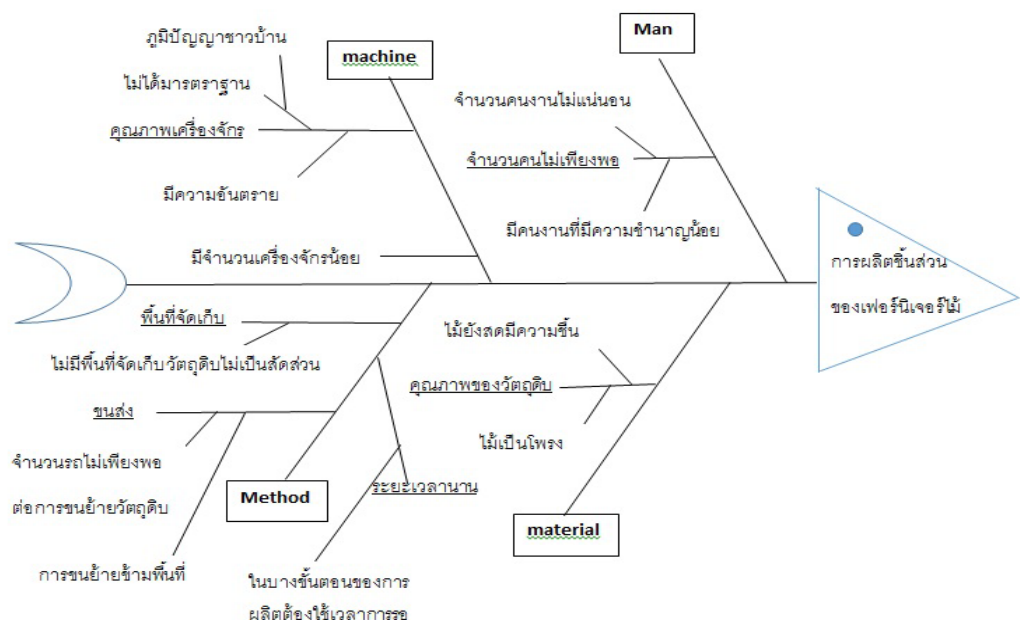
ซึ่งมีรายละเอียดของกระบวนการที่สำคัญที่ใช้ในการพัฒนาออกเป็น 4 ระดับ มาตรฐานในการจัดการดำเนินงาน (รุจภา นันทโพธิ์เดชและคณะ, 2549) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 รายละเอียดของ SCOR Model
(รุจภา และคณะ, 2549)

4. ผลการวิจัย

4.1 การวิเคราะห์แผนสาเหตุและผล



ภาพที่ 5 แสดงการวิเคราะห์แผนผังก้างปลาของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้กรณีศึกษา



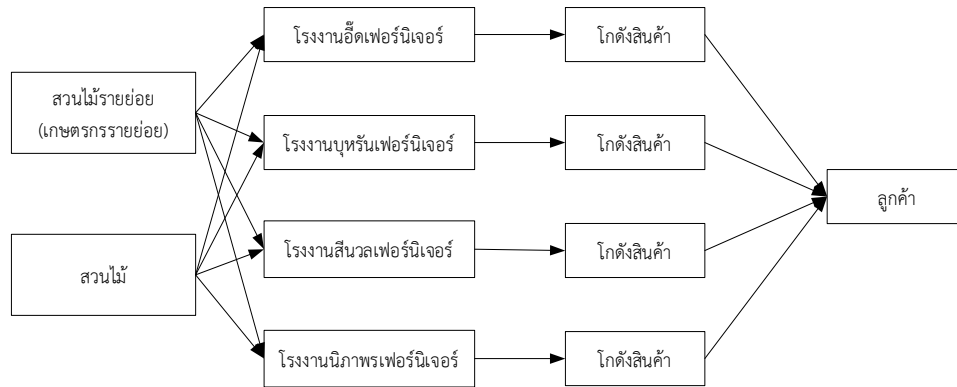
จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าปัญหาหลักของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม่ใช่ว่าด้านการผลิตชิ้นส่วน การประกอบเฟอร์นิเจอร์ โดยมีสาเหตุหลัก 4 ประการ ได้แก่ คนมีจำนวนคนงานไม่เพียงพอและมีความชำนาญน้อย เครื่องจักรมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานและยังล้าหลัง วัตถุดิบมีปัญหาในเรื่องไม่เป็น โพร่งและไม่ยังมีความชื้น และวิธีการคือการขนส่งจำนวนรถและขนาดรถไม่เพียงพอและพื้นที่จัดเก็บสินค้าไม่เป็นสัดส่วน

4.2 การวิเคราะห์ SWOT จากการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ SWOT ของอุตสาหกรรมกรณีศึกษา

จุดแข็ง		จุดอ่อน	
S1-ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ	(มีการตรวจสอบคุณภาพ)	W1-จำนวนพนักงานมีน้อยและยังขาดความชำนาญ	
S2-มีการรวมกลุ่มผู้ประกอบการเฟอร์นิเจอร์ไม้		W2-ไม่มีพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบที่มีคุณภาพ	
S3-สามารถผลิตตามความต้องการของลูกค้า		W3-อุปกรณ์เครื่องมือยังไม่ได้มาตรฐาน	
S4-ได้ขึ้นทะเบียนเป็นสินค้าหนึ่งผลิตภัณฑ์หนึ่งตำบล (OTOP)		W5-ไม่มีการจัดทำฐานข้อมูลในแต่ละปีทำให้ยากต่อการตัดสินใจในการลงทุนอย่างมีประสิทธิภาพ	
S5-ผู้ประกอบการมีความชำนาญเนื่องจากทำมา เป็นเวลานาน		W5-จำนวนรถขนส่งมีน้อย	
		W6-พื้นที่เป็นเขตชุมชนทำให้เกิดข้อจำกัดในการผลิต	
โอกาส		อุปสรรค	
O1-มีการสนับสนุนจากธนาคารเพื่อการเกษตร		T1-การขนย้ายสินค้าออกต่างจังหวัดต้องใช้เอกสารจำนวนมาก	
O2-มีการสนับสนุนช่องทางการจำหน่ายจาก จังหวัด		T2-ไม้ที่นำมาผลิตเป็นไม้สังวน(กฎหมายมีความเข้มงวด)	
O3-ตลาดมีความต้องการเป็นจำนวนมาก		T3-สินค้าเป็นวัตถุดิบที่เสี่ยงต่อการขาดตลาด	

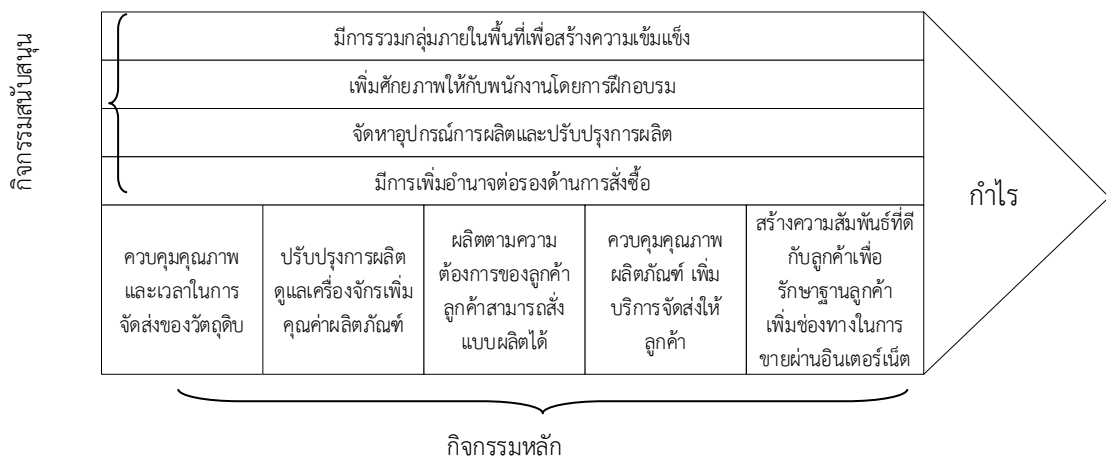
4.3 การวิเคราะห์โซ่อุปทาน



ภาพที่ 6: โซ่อุปทานของอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้กรณีศึกษา

จากภาพที่ 6 แผนผังโซ่อุปทานเฟอร์นิเจอร์ไม้ ต้นน้ำแสดงถึงไม้จากสวนไม่รายย่อยหรือหัวไร่ปลายนาที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิต จากนั้นก็จะขนส่งไปยังกลางน้ำคือผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ทั้ง 4 โรงงานได้แก่ โรงงานอีดเฟอร์นิเจอร์ โรงงานบุหรีนเฟอร์นิเจอร์ โรงงานสินวลเฟอร์นิเจอร์ และ โรงงานนิภาพรเฟอร์นิเจอร์ เมื่อทำการผลิตเสร็จได้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายก็จะดำเนินการจัดเก็บไว้ที่คลังสินค้าเพื่อรอเวลาส่งไปจำหน่ายแก่ลูกค้า

4.4 การวิเคราะห์โซ่คุณค่า (Value Chain)



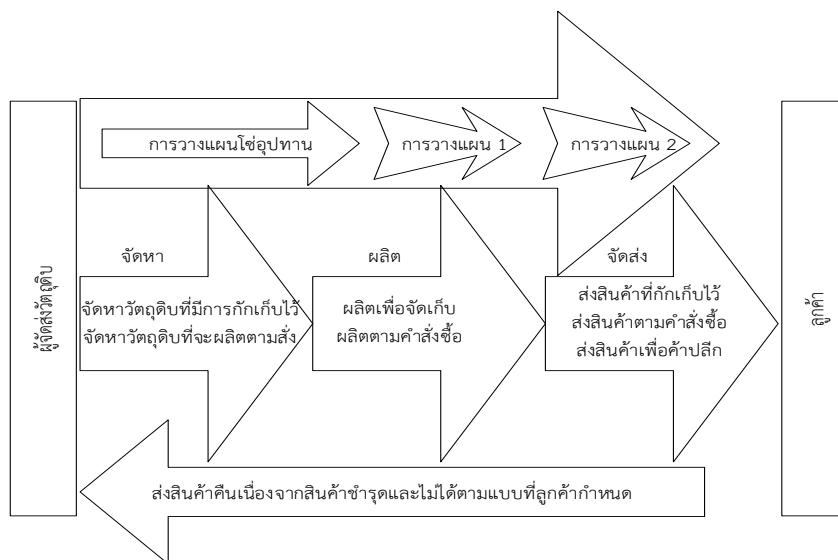
ภาพที่ 7 แสดงการวิเคราะห์โซ่คุณค่า

จากภาพที่ 7 อธิบายถึงกิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุนที่องค์กรควรจะพัฒนาปรับปรุง ด้านกิจกรรมหลัก จะเป็นแรงขับเคลื่อนที่สำคัญขององค์กรเนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ทำอย่างต่อเนื่อง และต้องมีการพัฒนาอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้ทันต่อการแข่งขันที่จะมาถึงในอนาคต ด้านกิจกรรมสนับสนุนเป็นกิจกรรมที่เสริมเข้ามาเพื่อทำให้กิจกรรมหลักดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จนทำให้องค์กรเกิดผลกำไรในท้ายที่สุด

4.5 การวิเคราะห์ SCOR model จากการศึกษาโครงสร้างของโซ่อุปทานผู้วิจัยสามารถอธิบาย ระดับของ SCOR model ออกได้ในระดับที่ 1 และระดับที่ 2 เท่านั้นส่วนในระดับที่ 3 และ 4 ยังไม่สามารถวิเคราะห์ได้เนื่องจากอุตสาหกรรมกรณีศึกษายังมีพนักงานน้อยและยังไม่สามารถแบ่งออกเป็นสัดส่วนได้อย่างชัดเจน

4.5.1 SCOR model level 1 ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 5 ส่วน ได้แก่ (1) การวางแผน (Plan) เป็นการวางแผนเกี่ยวกับการจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การจัดส่ง และการรับคืนสินค้าที่ชำรุด เพื่อซ่อมแซม (2) การจัดหาวัตถุดิบ (Source) รับซื้อจากเจ้าของไม้เพื่อนำมาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ผลิตเพื่อจัดเก็บและเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (3) การผลิต (Make) การผลิตตามแผนการผลิต ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ เฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ผลิตเพื่อจัดเก็บและเฟอร์นิเจอร์ไม้ที่ผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (4) การจัดส่งสินค้า (Deliver) เป็นการนำเฟอร์นิเจอร์ไม้สำเร็จภาพไปส่งให้ลูกค้าตามข้อตกลงการขายและนำไปตั้งขายปลีกตามงาน เทศกาลต่าง ๆ (5) การส่งกลับสินค้า (Return) จะมีการรับสินค้าคืนในกรณีส่งซ่อมแซมและไม่ได้ตามแบบที่กำหนด

4.5.2 SCOR model level 2 ผู้วิจัยสามารถกำหนดโครงสร้างโซ่อุปทานของอุตสาหกรรม กรณีศึกษาได้ดังภาพที่ 8 ได้แก่ ผู้จัดส่งวัตถุดิบผ่านกระบวนการวางแผน การจัดหา การผลิต การจัดส่งไปถึงลูกค้าและมีการส่งคืนเมื่อสินค้าเกิดความเสียหายและไม่ได้ตามแบบที่ลูกค้ากำหนด



ภาพที่ 8 แสดง SCOR model ระดับ 2 ของอุตสาหกรรมกรณีศึกษา

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สามารถสรุปสภาพปัญหาที่เกิดจากการจัดหาวัตถุดิบพบว่าในกระบวนการจัดหาวัตถุดิบทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องติดต่อกับผู้ขายวัตถุดิบไม่รายใหม่ตลอด เนื่องจากไม้ที่นำมาผลิตส่วนมากมาจากหัวไร่ปลายนาหรือสวนไม้ส่งผลให้การผลิตไม่ต่อเนื่องในบางช่วงที่ไม่สามารถหาวัตถุดิบหลักมาผลิตผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้และบางครั้งอาจจะต้องลงทุนซื้อวัตถุดิบจำนวนมากเพื่อเก็บไว้ทำการผลิต อีกทั้งในกระบวนการผลิตพบว่ายังใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่ล้าสมัย ซึ่งส่งผลให้กระบวนการผลิตสินค้าทำได้ช้าและมีโอกาสก่อให้เกิดอันตรายแก่คนงานถ้าขาดความระมัดระวัง รวมถึงแผนการทำงานที่ยังไม่มีการวางแผนที่เป็นภาพแบบที่แน่นอนสาเหตุมาจากเงินลงทุนที่มีค่อนข้างจำกัดอีกทั้งสภาพการตลาดพบว่ามีการกระจายสินค้าไปยังลูกค้ามีช่องทางการจัดจำหน่ายไม่มากนักส่วนมากเป็นการนำสินค้าไปขายเองตามงานเทศกาลต่างๆ หรือ จากการเชิญไปร่วมงานแสดงสินค้า OTOP จากหน่วยงานของภาครัฐ จึงทำให้เกิดสินค้าคงเหลือซึ่งทำให้เกิดต้นทุนสูญเปล่าในการดูแลรักษา สภาพปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นได้มาจากการศึกษาและวิเคราะห์โซ่อุปทานโดยใช้เทคนิคและเครื่องมือในงานวิจัย ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมรับรู้ถึงข้อมูลในปัจจุบันและเกิดการเตรียมพร้อมกับปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

คณะกรรมการส่งเสริมความแข็งแกร่งให้ SMEs ภาคการผลิต. (2554). รายงานผลการวิเคราะห์ขีดความสามารถในการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) กลุ่มอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ไม้. สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.



รจภา นันทโพธิ์เดช, ศศิกัญจน์ พุทธลา, และศิริรัตน์ พัฒนไนโรจน์. (2549). หลักการทำงานของแบบจำลองอ้างอิงการดำเนินงานโซ่อุปทานขององค์กร. **KKU Engineering Journal**. 33(4), 325- 335.

ศรัณยวีร์ คำสี. (2554). การเพิ่มประสิทธิภาพโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์พริกหวานไฮโดรโปนิคส์เพื่อการส่งออก. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อภิชาติ โสภาแดง, คมกฤต เล็กสกุล, จาตุพงศ์ วาฤทธิ์ และชูศรี เที้ยศิริเพชร. (2551). การศึกษาระบบจัดการโซ่อุปทานของลำไยสดในประเทศไทย. สำนักกองทุนสนับสนุนงานวิจัย.



การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง THE DEVELOPMENT OF A MULTI-PURPOSE TABLE SET MODEL FROM TRANSPORTATION WOOD

ปรารธนา ศิริสันธ์^{1*}, ภัทรพล พลูแสง¹, วริษฐา สายทองคำ¹ และ อรญาณี พรมาพงษ์¹

Prattana Sirisan^{1*}, Pattatapon Poonsang¹, Warittha Saithongkam¹

and Aorayanee Prommaphong¹

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: s_prattana@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 25 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 15 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง มีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง วิธีวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนแรก คือการสืบค้นและรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร และตำรางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในการออกแบบเฟอร์นิเจอร์และวัสดุไม้ทางการขนส่ง จากนั้นกำหนดแนวคิดในการทำแบบร่างบรรจุภัณฑ์และดำเนินการออกแบบโดยใช้แนวคิดภาพแบบรถโฟล์คตู้มีความคลาสสิก และสวยงาม โดยนำเอกลักษณ์ สี สัน และความอเนกประสงค์ของตัวรถโฟล์คตู้ มาพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง 3 ภาพแบบ และทำการสร้างแบบประเมินเพื่อทดสอบความพึงพอใจในภาพแบบพบว่า ภาพแบบรถโฟล์คตู้ปี ค.ศ 1950 – 1967 เป็นโฉมหน้าหน้าวี T1 โดยมีไฟเลี้ยวอยู่ข้างกระบะรับลม ไฟหน้ายุบตัวเข้าไปในหน้ารถ โครงสร้างของรถมีความยาวและมีคลานหลังคาที่ใส่ของพร้อมบานเปิดประตูข้างเปิดคล้ายกับประตูบ้าน มีระดับความพึงพอใจด้านความแข็งแรงอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{X}=4.55$) ด้านประโยชน์การใช้สอยสะดวกสบายอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.44$) และด้านความสวยงามอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=3.44$) โดยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้นนอกจากภาพร่างภาพทรงและความสวยงามแล้ว ควรคำนึงถึง ต้นทุน และกระบวนการของขั้นตอนในการผลิต

คำสำคัญ: การพัฒนาภาพแบบ, ชุดโต๊ะอเนกประสงค์, ไม้ทางการขนส่ง

Abstract

The development of a multi - purpose table set model from transportation wood aimed to 1) study and develop a multipurpose table set model from transportation wood, 2) assess the satisfaction in the model. The data were collected from documents and relevant studies on designing furniture and wooden materials for transportation. The concept to draft the package was defined and designed by using the concept of the Volkswagen van model, which is classic and beautiful. Its uniqueness of color and multipurpose is applied in the model. There were three designed models. After a satisfaction-evaluating form was constructed and used, it was found that the satisfaction in the model based on the 1950-1967 Volkswagen van was at the highest level for the aspect of strength ($\bar{x}=4.55$). The front of the 1950-1967 Volkswagen van is the V T1 whose turning signals were beside windshields. The headlight was positioned inwards in the front. The van structure was long and there was a crawl roof that held stuff along with the side door which was similar to the house door. The satisfaction on its functional benefits was at a high level ($\bar{x}=4.44$) and the satisfaction on the beauty was also at high level ($\bar{x}=3.44$). There were some other suggestions on considering the cost and the production process besides the shape and beauty.

Keywords: Development, Multi - purpose table set, Transportation wood

1. บทนำ

ประเทศไทยประสบกับปัญหาที่เกิดขึ้นจากวัสดุในกระบวนการขนส่ง ซึ่งปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลง ที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการขนส่งโดยรวมทั้งหมดของประเทศ ความรุนแรงของปัญหาในแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากันหรืออาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านวัสดุในการขนส่งพื้นที่ที่ปรากฏการณ์ต่างๆ เหล่านั้นเกิดขึ้น โดยสาเหตุส่วนใหญ่ที่ก่อให้เกิดสภาวะปัญหาการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการขนส่งมากมายในปัจจุบัน เช่นกระบวนการขนส่งก็มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเชื่อมโยงระหว่างผู้ผลิตไปจนถึงผู้บริโภค การขนส่งที่มีประสิทธิภาพทำให้ผลิตภัณฑ์ถึงมือผู้บริโภคมีคุณภาพ ความปลอดภัยในการขนส่ง หรือการปกป้องสินค้าระหว่างการขนส่ง โดยเฉพาะการขนส่งทั้งหมดเป็นการขนส่งทางทะเล ร้อยละ 90 และโดยระบบตู้คอนเทนเนอร์ ร้อยละ 55 จากการขนส่ง ทางทะเลทั้งหมด (กฤตภาส อิศราพานิช, 2554) จึงมีสิ่งที่ไม่ให้อำนวยความสะดวกต่อการขนส่ง ประโยชน์ที่ได้จากสิ่งนี้ คือเพื่อการปกป้องสินค้าที่อยู่ในตู้คอนเทนเนอร์

อำนวยความสะดวก ในการจัดเรียง การตรวจนับ และการเคลื่อนย้าย การใช้งาน จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือการใช้งานแบบหมุนเวียนซึ่งมีข้อกำหนดที่เข้มงวดและใช้ภายในองค์กร และการใช้งานครั้งเดียวที่พบเห็นจำนวนมาก ซึ่งการใช้งานแบบครั้งเดียวสาเหตุมาจากวัสดุไม่มีความทนทานต่อการขนส่งต่ำ ขำรุงง่าย และยังทำให้เวลาการขนส่งนั้นอาจมีแมลงมอสส์เข้ามากัดเซาะในระหว่างการขนส่งจึงทำให้เหลือวัสดุที่ได้

ดังนั้นผู้วิจัยได้ลงพื้นที่ตรวจสอบว่าชุดโต๊ะลักษณะทั่วไปเป็นแบบใดบ้าง ด้านวัสดุที่นำการมาแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ แต่การแปรรูปนั้นยังขาดการศึกษาและพัฒนาซึ่งไม่ตอบสนอง ความต้องการผู้บริโภค ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดการพัฒนา วัสดุไม้จากการขนส่ง เพื่อเป็นการลดปริมาณไม้ที่เหลือใช้แล้วมาเพิ่มมูลค่าของวัสดุและให้เกิดการสร้างค่านิยมใหม่ซึ่งเป็นการดูแลสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

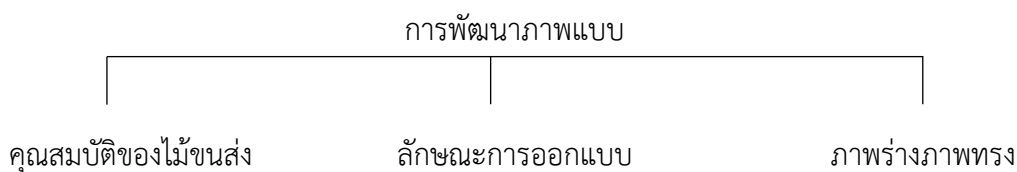
2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง
- 2.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง

3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

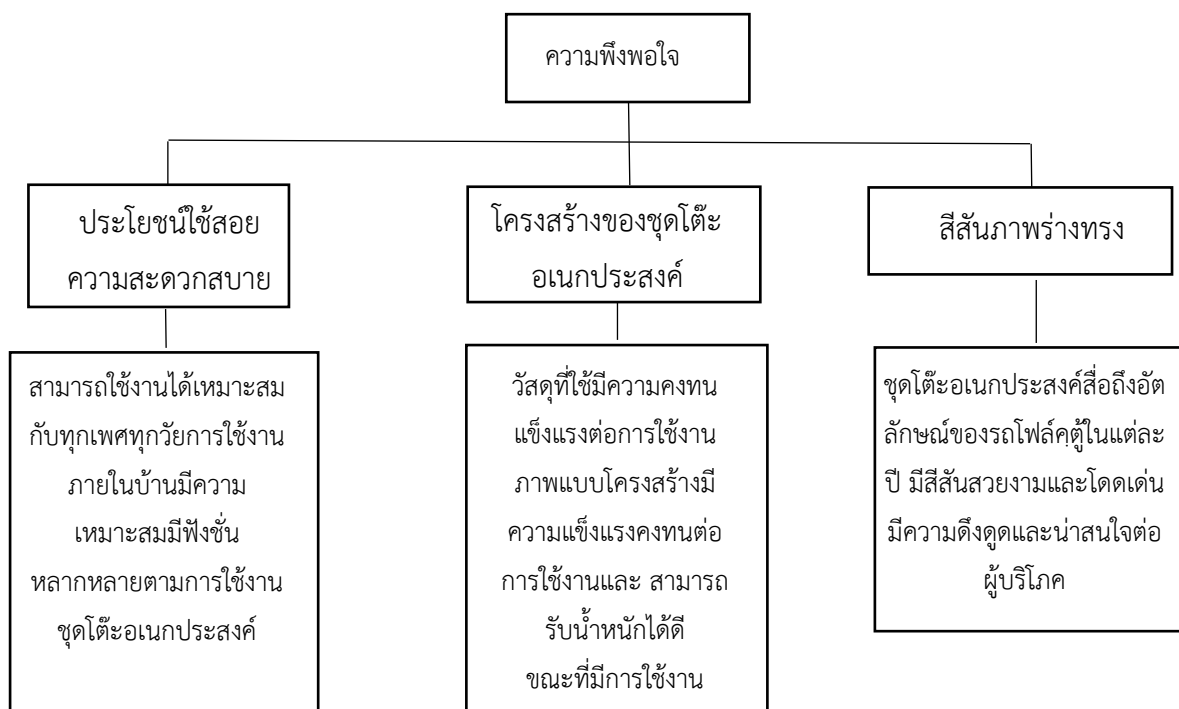
กรอบแนวคิดการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่งครั้งนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ผู้จัดทำได้ใช้กรอบแนวคิดในการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง ดังนี้

- 3.1 เพื่อศึกษาการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง



ภาพที่ 1 แสดงภาพศึกษาการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง

- 3.2 เพื่อประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง



ภาพที่ 2 แสดงภาพประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง

4. ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

การศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง การออกแบบเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับงานอุตสาหกรรมในแง่ของศาสตร์เชิงวิศวกรรมที่จะต้องคำนึงถึงความแข็งแรง ทนทาน ความมั่นคงปลอดภัย ความสะดวกสบายในการใช้งานความสมดุล ความกลมกลืนของสีสันทันให้สอดคล้องกับประโยชน์การใช้สอยได้อย่างเหมาะสม ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการวิจัย ตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

4.1 เพื่อศึกษาและการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง
ขอบเขตการวิจัย

ประชากร

1. กลุ่มผู้ใช้และชื่นชอบภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์
2. ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเฟอร์นิเจอร์

ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรต้น ได้แก่ การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง

ตัวแปรตาม ได้แก่ ความพึงพอใจของการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง

ประชากรกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มผู้ใช้และชื่นชอบภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ เจาะจง กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 50 คน

เครื่องมือในการวิจัย

1. ผู้วิจัยดำเนินโครงการได้ศึกษาข้อมูลและการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง โดยใช้กรอบแนวคิดของ อุดมศักดิ์ สาริบุตร (2545:182) มี 4 ด้านโดยกำหนดประเด็นการสัมภาษณ์ประกอบด้วย

- ประโยชน์ใช้สอย
- แข็งแรงทนทาน
- ความสวยงาม
- ความสะดวกสบาย

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการทำโครงการวิจัย

การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในโครงการวิจัย ผู้ดำเนินโครงการดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎี เอกสาร ตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ ไม่จากการขนส่ง ดำเนินการสร้างแบบสอบถามตามตัวแปรทำตามการศึกษา
2. จากการสำรวจลักษณะสภาพปัจจุบันและการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้จากการขนส่งได้นำเสนอสังเกตแบบนำเสนออาจารย์เพื่อขอคำแนะนำ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ดำเนินโครงการได้ดำเนินการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้จากการขนส่ง โดยมีขั้นตอนในการออกแบบดังนี้

1. นำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าจากเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้จากการขนส่ง มาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ
2. ทำการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้จากการขนส่ง จากการเก็บข้อมูลพื้นฐาน
3. ผู้เชี่ยวชาญนำแบบร่างชุดโต๊ะไปเพื่อประเมินและขอคำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์
4. ได้แบบเพื่อทำแบบสอบถาม นำแบบชุดโต๊ะที่ได้คำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษาไปเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่าง ประเมิน สรุปแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้จากการขนส่ง

4.2 วิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากแบบสอบถาม ผู้ดำเนินการได้นำมาสรุปเป็นแบบบรรยายและข้อมูลจากแบบสอบถามผู้ดำเนินโครงการได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนแบบมาตรฐาน

4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินโครงการการทำการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถาม นำไปสอบถามความพึงพอใจเกี่ยวกับการพัฒนาภาพแบบผลิตภัณฑ์ชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากวัสดุไม้จากการขนส่งที่ได้ออกแบบแล้ว และนำข้อมูลมาสรุปความคิดเห็นของผู้ที่สนใจชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากวัสดุไม้การขนส่งทำการแจกแบบสอบถาม แล้วรับแบบสอบถามกลับคืนมาโดยตรวจสอบความสมบูรณ์ของแบบสอบถามแล้วหาข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์ค่าสถิติต่อไป จากกลุ่มตัวอย่าง ผู้ที่ชอบเฟอร์นิเจอร์ จำนวน 50 คน

5. ผลการวิจัย

การพัฒนาแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง มีวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือ 1) เพื่อศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง

1. ในด้านวัสดุจากไม้ทางการขนส่งพบว่า ไม้พาเลทนั้นมีจำนวนมากที่เหลือใช้จากการขนส่ง โดยสาเหตุมาจาก การชำรุด หรือพังจากการใช้งาน และด้วยในปัจจุบันนี้มีวัสดุ คุณภาพมากมายที่นำมาแทนไม้ทางการขนส่งได้ เพราะด้วยความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานทำให้ผู้ประกอบการนั้นเลือกที่จะเปลี่ยนแปลงเพราะประหยัดในเรื่องต้นทุน จึงทำให้ไม้ทางการขนส่งนั้นมีมากมายในปัจจุบัน ดังนั้นผู้วิจัยได้ศึกษาและนำมาพัฒนาในด้านการออกแบบเพื่อทำให้วัสดุเหล่านี้มีมูลค่าและทำให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น

2. ด้านการศึกษาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่งโดยริเริ่มศึกษาด้านความรู้ในการออกแบบชุดโต๊ะต่างๆ ตามที่פקอาศัย และพื้นที่ต่าง และด้านวัสดุที่นำมาทำ ภาพแบบที่เหมาะสมกับการใช้งาน จากที่ศึกษาและลงพื้นที่พบว่าชุดโต๊ะที่เห็นทั่วไปมี ลักษณะภาพทรงสี่เหลี่ยมธรรมดา ไม่มีการออกแบบฟังก์ชันการใช้งานใดๆ นอกจากมีลิ้นชักในตัวขອງโต๊ะ และภาพแบบของเก้าอี้ที่นั่งธรรมดาไม่มีการออกแบบและฟังก์ชันเสริม

3. การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง ในการวิเคราะห์การศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสารต่างๆ จากเอกสารงานวิจัยและลงพื้นที่สำรวจและสอบถามโดยการสัมภาษณ์ตามสถานที่และสถานประกอบการต่างๆโดยผู้วิจัยได้แนวคิดและกระบวนการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่งมีขั้นตอนดังนี้

ในการออกแบบผู้วิจัยเห็นว่าภาพแบบรถโฟล์คตู้มีความคลาสสิก และสวยงาม โดยในประเทศไทยมีให้เห็นน้อยมาก เนื่องด้วยมาจากรถโฟล์คตู้นั้นมีราคาแพงและค่าบำรุงรักษาในการใช้จ่ายสูงทำให้เป็นที่จับจองเป็นเจ้าของนั้นได้ยาก ดังนั้นทำให้ผู้วิจัยได้นำรถโฟล์คตู้มาผสมผสานและพัฒนาในด้านการออกแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง โดยนำอัตลักษณ์ สี สัน และความอเนกประสงค์ของตัวรถโฟล์คตู้ มาพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง โดยมีตารางการวิเคราะห์ภาพแบบ ดังนี้

ตารางที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ภาพแบบของแนวคิด

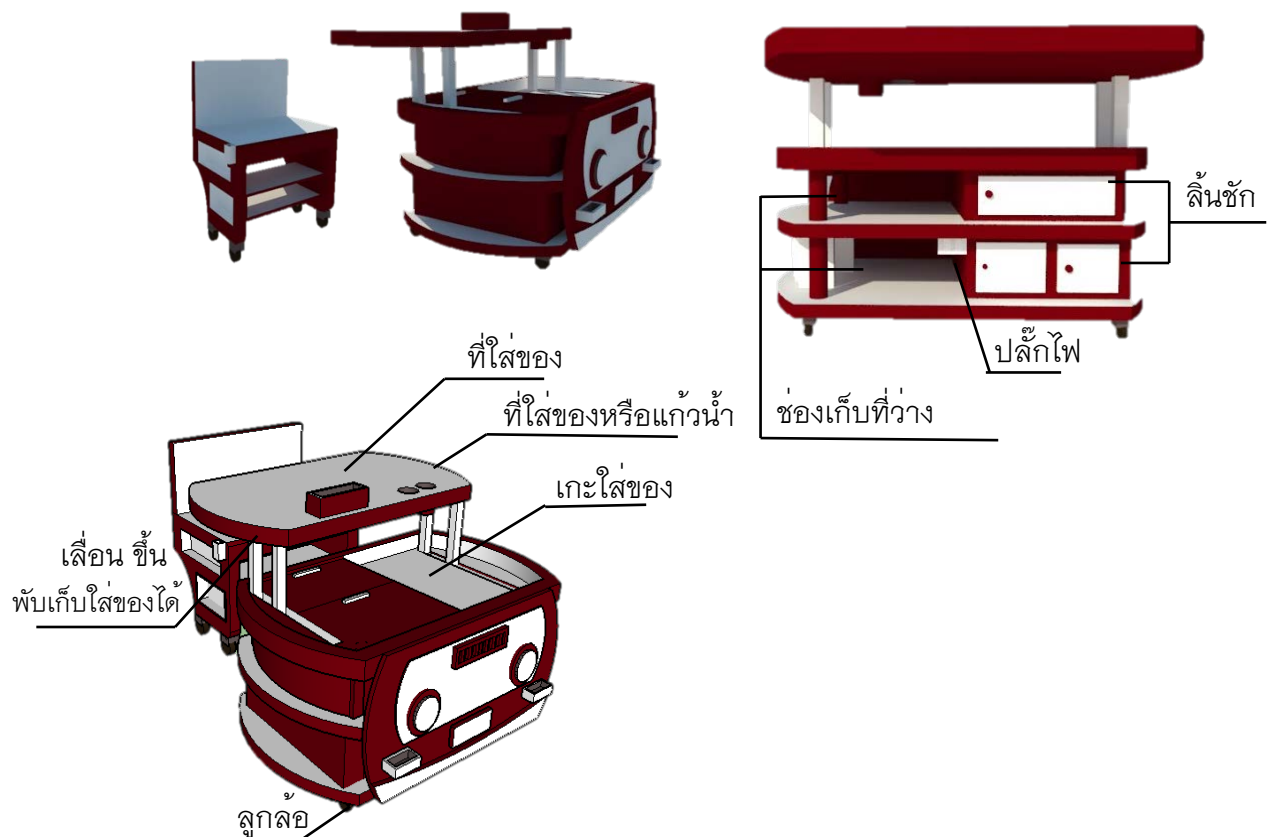
ภาพแบบรถโฟล์คตู้ปี ค.ศ 1950 - 1967	วิเคราะห์ภาพแบบ
	เป็นโฉมหน้าหน้าวี T1 โดยมีไฟเลี้ยวอยู่ข้างกระบะบังรับลม ไฟหน้ายุบตัวเข้าไปในหน้ารถ โครงสร้างของรถมีความยาวและมีคานหลังคาที่ใส่ของพร้อมบานเปิดประตูข้างเปิดคล้ายกับประตูบ้าน
ภาพแบบรถโฟล์คตู้ปี ค.ศ 1968 – 1979	วิเคราะห์ภาพแบบ
	เป็นโฉมหน้า T2 ก็คือแตงโม โดยมีไฟเลี้ยวที่เคยอยู่ตรงช่องกระบะบังรับลม ย้ายมาอยู่ใต้ไฟหน้าทั้งสองข้าง ไฟหน้ายุบตัวเข้าไปในหน้ารถเช่นกับ T1 โครงสร้างของรถมีความยาวแต่ไม่มีคานหลังคาที่ใส่ของบานเปิดประตูข้าง เปสไลด์ออก
ภาพแบบรถโฟล์คตู้ปี ค.ศ 1980 – 1992	วิเคราะห์ภาพแบบ
	ที่เป็นโฉมหน้า T3 ก็คือ ทรานสปอร์ตเตอร์ โดยมีไฟเลี้ยวที่เคยอยู่ตรงใต้ไฟหน้าย้ายมาข้างบนไฟหน้าแล้วปรับเปลี่ยนไฟเลี้ยวเป็นทรงคล้ายตุ๊ดแกว ไฟหน้านูนออกมาจากตัวรถ โครงสร้างของรถมีความยาวแต่ไม่มีคานหลังคาบานเปิดประตูข้าง เปสไลด์ออก

จากการวิเคราะห์ภาพแบบรอล์ฟด์ตั้งแต่ปี สรุปได้ว่าผู้วิจัยได้นำโฉมหน้าและสีสันทของรอล์ฟด์
ตู้ทั้ง 3 ภาพแบบ มาพัฒนาและผสมผสานในการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการ
ขนส่ง โดยมีภาพแบบร่างและกระบวนการพัฒนาการออกแบบแล้วได้ ดังนี้



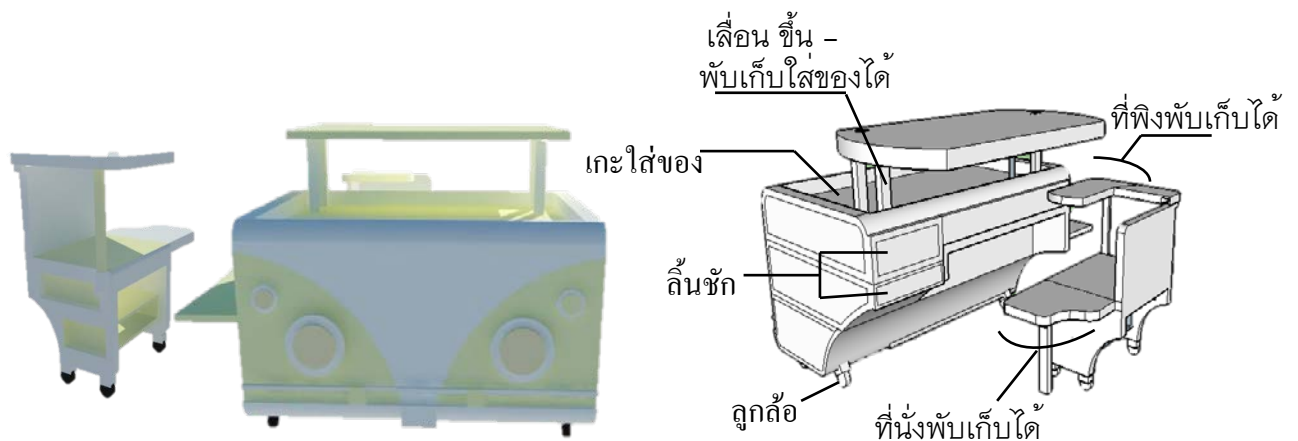
ภาพที่ 3 ภาพแบบร่างและกระบวนการพัฒนาการออกแบบ

แนวคิดในการออกแบบ ของภาพแบบ A ได้นำโครงสร้าง สีของตัวรถ และภาพแบบฟังก์ชัน
ของรอล์ฟด์ตู้ T1 ก็คือหน้าวี หรือ split window เริ่มผลิตตั้งแต่ 1950-1967 มาเป็นแรงบันดาลใจ
ในงานออกแบบ ภาพ A

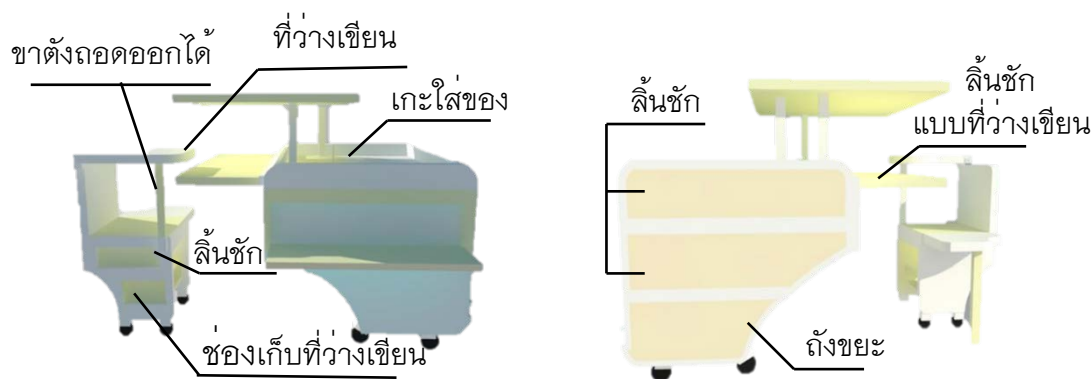


ภาพที่ 4 ภาพแบบ A

แนวคิดในการออกแบบ ของภาพแบบ B ได้นำโครงสร้าง สีของตัวรถ และภาพแบบฟังก์ชันของรถโฟล์คตู้ T2 ก็คือแต่งโม หรือ bay window เริ่มผลิตตั้งแต่ 1968 – 1979 มาเป็นแรงบันดาลใจในงานออกแบบ ภาพ B



ภาพที่ 5 ภาพแบบ B



ภาพที่ 6 ภาพแบบ C

แนวคิดในการออกแบบ ของภาพแบบ C ได้นำโครงสร้าง สีของตัวรถ และภาพแบบฟังก์ชันของรถโฟล์คคัต T3 ก็คือทรานสปอร์ตเตอร์ ในอเมริกาเรียกว่า Vanagon เริ่มผลิตตั้งแต่ 1980 – 1992 มาเป็นแรงบันดาลใจในงานออกแบบภาพ C

5.2 ผลการประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง

จากการวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลรวมถึงการทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง โดยผู้ใช้และชื่นชอบ จำนวน 50 คน ภายในเขตเทศบาลเมืองพิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก จากข้อมูลการสอบถามความพึงพอใจในภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง พบว่า ส่วนใหญ่เป็น เพศชายคิดเป็นจำนวน 20 คน คิดเป็นร้อยละ 40.0 และ เพศหญิงจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 60.0 และ มีอายุ ส่วนใหญ่มีอายุ 36 ปีขึ้นไป จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 42.0 รองลงมา อายุ 26-35 ปี จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 32.0 และ อายุ 18-25 ปี จำนวน 13 คน คิดเป็นร้อยละ 26.0 ประกอบอาชีพ ส่วนใหญ่มีอาชีพ นักศึกษาจำนวน 16 คนคิดเป็นร้อยละ 32.0 ถัดมามีอาชีพรับจ้างทั่วไป จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 30.0 และข้าราชการจำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 18.0 ตามลำดับ ภาพแบบ A ทาง การขนส่ง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.34$) เมื่อพิจารณาเป็นด้านพบว่า

ด้านประโยชน์ใช้สอยสะดวกสบาย ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.32$) โดยสามารถใช้งานได้เหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.44$) มีการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ชุดโต๊ะอเนกประสงค์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.36$) และการใช้งานการใช้งานภายในบ้านมีความเหมาะสม มีฟังก์ชันหลากหลายตามการใช้งานชุดโต๊ะอเนกประสงค์ อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.16$) และด้านความแข็งแรง ภาพรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.40$) โดยมี ชุดโต๊ะอเนกประสงค์สามารถรับน้ำหนักได้ดี ขณะที่มีการใช้งานจากผู้บริโภค อยู่ในระดับมาก ($\bar{X}=4.52$) วัสดุที่ใช้มีความคงทนและแข็งแรงต่อการ

ใช้งานต่อผู้บริโภคม อยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.44$) และภาพแบบโครงสร้างของชุดโต๊ะอเนกประสงค์มีความแข็งแรงทนต่อการใช้งานของผู้บริโภค อยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.26$)

ด้านความสวยงาม ภาพรวมอยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.32$) ชุดโต๊ะอเนกประสงค์มีสีสันทนสวยงามและโดดเด่น อยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.52$) ชุดโต๊ะอเนกประสงค์สื่อถึงอัตลักษณ์ของรถโฟล์คตู้ในแต่ละปี อยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.40$) และภาพแบบของชุดโต๊ะอเนกประสงค์มีความดึงดูดและน่าสนใจต่อผู้บริโภค อยูในระดับมาก ($\bar{X}=4.34$)

6. สรุปและอภิปรายผล

6.1 สรุปผลการศึกษาและพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง

จากการศึกษาพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง พบว่า ไม้พาล์มนั้นมีจำนวนมากที่เหลื่อใช้จากการขนส่ง โดยสาเหตุมาจากการชำรุด หรือพังจากการใช้งาน ด้วยในปัจจุบันที่มีวัสดุคุณภาพมากมาย ที่นำมาทดแทนไม้ทางการขนส่ง จึงทำให้ผู้ประกอบการนั้นเลือกที่จะเปลี่ยนแปลงเพราะประหยัดในเรื่องต้นทุน และทำให้ไม้ทางการขนส่งนั้นมีมากมายในปัจจุบัน ดังนั้นผู้วิจัยได้นำไม้จากการขนส่งนี้มาพัฒนาให้เกิดประโยชน์ ต่อมาผู้วิจัยได้ศึกษาด้านการออกแบบโดยนำรถโฟล์คตู้มาผสมผสานในด้านการออกแบบ ผู้วิจัยเห็นว่ารถโฟล์คตู้นั้นมีราคาแพงและค่าบำรุงรักษาค่าใช้จ่ายสูง ทำให้จับจองเป็นเจ้าของนั้นได้ยากอีกทั้งรถโฟล์คตู้ นั้น มีความสวยงามคลาสสิก และพร้อมไปด้วยอุปกรณ์อเนกประสงค์ของตัวรถโฟล์คตู้จึงทำให้ผู้วิจัยนำมาผสมผสานในการออกแบบครั้งนี้ โดยมีฟังก์ชันการใช้งานที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในเรื่องสีสีนภาพร่างและโฉมหน้ารถโฟล์คตู้ในแต่ละปี

6.2 สรุปผลการประเมินความพึงพอใจของภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง

ผลการวิเคราะห์การพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่งจากการตอบสอบถามความพึงพอใจพบว่า ส่วนใหญ่เพศหญิง จำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 60.0 และมีอายุ 36 ปีขึ้นไป จำนวน 21 คน คิดเป็นร้อยละ 42.0 อาชีพ ส่วนใหญ่มีอาชีพ นักศึกษาจำนวน 16 คนคิดเป็นร้อยละ 32.0 ต่อมาผลการประเมินภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์จากไม้ทางการขนส่ง ภาพรวมอยูในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.32 ด้านความแข็งแรงภาพรวม อยูในระดับมากมีค่าเฉลี่ย 4.40 ด้านความสวยงาม ภาพรวมอยูในระดับมาก มีค่าเฉลี่ย 4.32

จากการศึกษาการพัฒนาภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง พบว่า อยูในระดับความพึงพอใจของผู้ใช้และชื่นชอบภาพแบบชุดโต๊ะอเนกประสงค์ จากไม้ทางการขนส่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ภคิน สุวรรณศรี) คือการศึกษาและออกแบบเฟอร์นิเจอร์ จากเศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ที่ได้จากการขนส่ง และยังสอดคล้องกับ อุดมศักดิ์ สาริบุตร (2550) ที่กล่าวไว้ว่าด้าน

หน้าที่ใช้สอยการออกแบบต้องเหมาะสมต่อการใช้งานด้านความปลอดภัย ต้องคำนึงถึง ผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้องด้านโครงสร้างวิธีการทำโครงสร้างของเฟอร์นิเจอร์แต่ละชนิด ควรทำให้เหมาะกับงาน มีความทนทาน ประหยัดและใช้วัสดุที่เหมาะสมและการออกแบบนี้เป็นอมตะที่เรารู้จักเลือกใช้วิธีง่ายๆ ในการทำจะทำให้มีความเหมาะสมกว่าวิธีการยุ่งยาก และควรจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมแก่วัสดุที่ใช้ด้วย ด้านความสวยงาม เมื่อมันมีภาพร่างและขนาดเหมาะสมกับการใช้งาน ขนาดความสูง กว้าง ยาว และขีดจำกัดของประกอบการออกแบบ เช่น การหยิบใช้คล่อง

7. ข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งต่อไปอาจทำการเปลี่ยน วัสดุชนิดอื่นเพื่อทำเฟอร์นิเจอร์ และการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้นนอกจากภาพร่างภาพทรงและความสวยงามแล้ว ควรคำนึงถึง ต้นทุน และกระบวนการของขั้นตอนในการผลิต

8. เอกสารอ้างอิง

- กมลชนก สุทธิวาทีนฤพุฒิ. (2552). **ความรู้เรื่องท่าเรือ**. กรุงเทพฯ: ท็อป.
- กฤตภาส อิศราพานิช. (2554). **ระบบการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเล**. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.
- โชติพร แสงแก้ว, ลุ้ย กานต์สมเกียรติ และ รัฐไท พรเจริญ. (2559). การวิจัยออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เก้าอี้จากผ้าไม่ทอสำหรับที่พักอาศัย. **วารสารวิชาการศิลปะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร**, 7(2), 55-64.
- ณรงค์ โทณานนท์. (2544). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไม้**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ตระกูลพันธ์ พัทธเมธา. (2560). การศึกษาและทดลองวัสดุผสมซีเมนต์ใยไม้อย่างพาราเพื่อใช้ในการงานแกะสลักทดแทน. **วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 8(15), 12-26.
- นวนน้อย บุญวงศ์. (2539). **หลักการออกแบบ**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บุญสนอง รัตนสุนทรากุล. (2553). **ความรู้ทั่วไปเพื่อการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ไม้และผลิตภัณฑ์ไม้**. กรุงเทพฯ: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.
- ภคิน สุวรรณศรี. (2560). **การศึกษาและออกแบบเฟอร์นิเจอร์ จากเศษวัสดุบรรจุภัณฑ์ไม้ที่ได้จากการขนส่ง**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วรรณิ สหสมโชค. (2549). **ออกแบบเฟอร์นิเจอร์**. กรุงเทพฯ: ส.ส.ท.
- สภาผู้ส่งสินค้าทางเรือแห่งประเทศไทย. (2553). **พาเลทหมุนเวียนลดต้นทุนโลจิสติกส์**. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.



จริยธรรมในการตีพิมพ์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม มีความมุ่งมั่นที่จะรักษามาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์สูงสุด ดังนั้นทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องจะต้องปฏิบัติตามหลักการและมาตรฐานด้านจริยธรรมในการตีพิมพ์อย่างเคร่งครัด

บทบาทหน้าที่ของบรรณาธิการ

1. บรรณาธิการมีหน้าที่พิจารณาและตรวจสอบบทความที่ส่งมาเพื่อ เข้ารับการพิจารณาตีพิมพ์กับวารสารทุกบทความ โดยพิจารณาเนื้อหาบทความที่สอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของวารสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพบทความในกระบวนการประเมินและคุณภาพบทความก่อนการตีพิมพ์
2. บรรณาธิการต้องใช้เหตุผลทางวิชาการในการพิจารณาบทความทุกครั้งโดยปราศจากอคติที่มีต่อบทความและผู้นิพนธ์ในด้านเชื้อชาติ เพศ ศาสนา วัฒนธรรม การเมือง และสังกัดของผู้นิพนธ์
3. บรรณาธิการต้องไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์หรือผู้ทรงคุณวุฒิไม่นำบทความหรือวารสารไปใช้ประโยชน์ในเชิงธุรกิจหรือนำไปเป็นผลงานทางวิชาการของตนเอง
4. บรรณาธิการต้องไม่แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาบทความและผลประโยชน์ของผู้ทรงคุณวุฒิ รวมถึงไม่ปิดกั้นหรือแทรกแซงข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนระหว่างผู้ทรงคุณวุฒิและผู้นิพนธ์
5. บรรณาธิการต้องปฏิบัติตามกระบวนการและขั้นตอนต่าง ๆ ของวารสารอย่างเคร่งครัด
6. บรรณาธิการต้องรักษามาตรฐานของวารสาร รวมถึงพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพและมีความทันสมัยเสมอ

บทบาทหน้าที่ของผู้นิพนธ์

1. ผลงานของผู้นิพนธ์ต้องเป็นผลงานที่ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการเสนอ เพื่อพิจารณาเผยแพร่ในวารสารฉบับอื่น
2. ผู้นิพนธ์ต้องไม่คัดลอกผลงานของผู้อื่น และต้องมีการอ้างอิงทุกครั้งเมื่อนำผลงานของผู้อื่นมาเสนอหรืออ้างอิงในเนื้อหาบทความของตนเอง
3. ข้อมูลที่นำเสนอในผลงาน ต้องเป็นข้อเท็จจริงที่เกิดจากการศึกษาวิจัย ผู้นิพนธ์ต้องไม่บิดเบือน ปลอมแปลง หรือนำเสนอข้อมูลอันเป็นเท็จ
4. ผู้นิพนธ์พึงกระทำตามขั้นตอนของวารสาร เพื่อเป็นการรับรองคุณภาพของเนื้อหาที่ได้นำมาตีพิมพ์เผยแพร่โดยตระหนักว่าผลงานวิชาการต่าง ๆ ในวารสารมีวัตถุประสงค์และมาตรฐานที่แตกต่างกัน



5. หากผลงานทางวิชาการของผู้นิพนธ์เกี่ยวข้องกับมนุษย์ และสัตว์ทดลอง ต้องเป็นผลงานที่ได้ดำเนินการตามหลักจริยธรรม ปฏิบัติตามกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด และต้องได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ และสัตว์ทดลอง
6. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิชาการหรือบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดไว้ใน “คำแนะนำผู้เขียน”
7. ชื่อผู้นิพนธ์ที่ปรากฏในบทความต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในผลงานวิชาการนี้จริง

บทบาทหน้าที่ของผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ

1. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องคำนึงถึงคุณภาพบทความเป็นหลัก พิจารณาบทความภายใต้หลักการและเหตุผลทางวิชาการโดยปราศจากอคติหรือความคิดเห็นส่วนตัว และไม่มีส่วนได้ส่วนเสียกับผู้นิพนธ์
2. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องไม่แสวงหาประโยชน์จากผลงานทางวิชาการที่ตนเองได้ทำการประเมิน
3. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องตระหนักว่าตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาของผลงานวิชาการที่รับประเมินอย่างแท้จริง
4. หากผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบพบว่าบทความที่รับประเมิน เป็นบทความที่คัดลอกผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ทรงคุณวุฒิต้องแจ้งให้บรรณาธิการทราบทันที
5. ผู้ทรงคุณวุฒิต้องรักษาระยะเวลาประเมินตามกรอบเวลาประเมินที่กำหนด รวมถึงไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความให้ผู้ที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับรู้

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม