



JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THONBURI UNIVERSITY

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธนบุรี

Vol 7 No 2 July - December 2023
ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2566



ISSN 2730-3837 (Online)



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี



ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม 2566

กำหนดการพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี กำหนดพิมพ์เผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ

1. ฉบับที่ 1 มกราคม- มิถุนายน
2. ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม

พิมพ์ที่ : มหาวิทยาลัยธนบุรี

วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ ได้แก่ วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมการผลิต วิศวกรรมวัสดุ วิศวกรรมเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รวมทั้งสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และในด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ สาขาวิชา คณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาการสารสนเทศ หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ความคิดเห็น วิทยาการและเทคนิคใหม่ๆ อันนำไปสู่การพัฒนาทักษะและศักยภาพในการสร้างผลงานทางวิชาการ การค้นคว้า ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและการนำเสนอบทความทางด้านการวิจัย และการบริการสังคม

เจ้าของ : มหาวิทยาลัยธนบุรี

ผู้ดำเนินการ : ดร.บัญชา เกิดมณี อธิการบดี มหาวิทยาลัยธนบุรี

บรรณาธิการวารสาร : ดร.จตุพร ทรัพย์วิเชียร ผู้อำนวยการสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยธนบุรี

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรัชญนันท์ นิลสุข	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร. เฉลิมชาติ มานพ	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จรรย์ แสงราช	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์ สุวรรณวงศ์	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ สุรชัย ธรรมทวีธิกุล	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนิต แต่งศรี	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ยอดนภา เกตุเมือง	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

ฝ่ายจัดการ และเลขานุการ

อาจารย์ฐานพิณีจ วชิรสุรงค์	คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ ผศ.สมจินต์ อักษรธรรม	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์วสันต์ ลีละธนาฤกษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์สิทธิศักดิ์ ทองสุข	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์นันทวัน นาคอร่าม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์อรรษาวิ เจ๊ะสะแม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์เอนก นามจันทร์	ศูนย์คอมพิวเตอร์และสารสนเทศ
อาจารย์สุดารัตน์ คงคาชาติ	สำนักวิชาศึกษาทั่วไป
อาจารย์วราภรณ์ สุ่มมาตย์	สำนักวิชาศึกษาทั่วไป

คณะกรรมการกลั่นกรอง (Peer Review)

รศ.ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รศ.ดร.มานิตย์ ธิมาทา	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.ศราวุธ สุวรรณอัคร์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. วงศ์วิศรุต เชื้อองสตุ่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เรวดี ศักดิ์ดุยธรรม	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
ผศ.ดร.พรรษา เอกพรประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ประสพโชค ให้อทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.เมธา อึ้งทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหล้า	วิทยาลัยดุสิตธานี
ผศ.ดร.กัม พรประเสริฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ผศ.ดร.พรสิริ ซาติปรีชา	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รศ.ดร.ปัญญา สำราญพันธ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผศ.ดร.นภดล เชนะโยธิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผศ.สมจินต์ อักษรธรรม	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ดร.น่านน้ำ บัวคล้าย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ดร.ต้นติกร พิษณุพิบูล	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ดร. อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์	สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ดร.งามเฉิด ด้านพัฒนามงคล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร. ยุทธนา คงจัน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.โสธมา เครือเมฆ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร. วสพร นิษรัตน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร. พรหมพักตร์ บุญรักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ. กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร. กัลยารัตน์ เชี่ยวชาญ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ดร. จีรวดี อินทกาญจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ดร.อุทุมพร อยู่สุข	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ฉบับนี้ จัดพิมพ์ขึ้นเป็นปีที่ 7 ฉบับที่ 2 (มกราคม - มิถุนายน 2566) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทุกบทความเน้นเนื้อหาที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเนื้อหาของบทความทั้งรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา โดยแต่ละบทความผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อพัฒนาคุณภาพวารสารและเป็นประโยชน์สูงสุด

ในนามของกองบรรณาธิการของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ขอถือโอกาสเชิญชวนคณาจารย์ นักวิชาการและผู้สนใจเสนอบทความเข้ารับการจัดพิมพ์เผยแพร่ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณที่ท่านผู้อ่านได้ให้ความสนใจวารสารฯ มาโดยตลอด

ดร.ฐิติพร กรัยวิเชียร

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

ปีที่ 7 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม-ธันวาคม 2566

บทความวิจัย

- 1-11 การลดขั้นตอนการแปลงเชิงอนุพันธ์สำหรับการสั่นของเมมเบรน
REDUCED DIFFERENTIAL TRANSFORMATION METHOD FOR VIBRATION OF MEMBRANES
กมลภัสสร มั่นศิลป์ ฐาปนา นามประดิษฐ์ วิศรุต คล้ายแจ้
- 12-24 การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน
COMPARISON OF FEATURE SELECTION METHODS TO IMPROVE DIABETES PREDICTIONS
สรรภัส สังเกตู ปราณี มณีรัตน์
- 25-38 ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหววัตถุด้วยการประมวลผลภาพ
MOTION DETECTION SYSTEM OF MOVING OBJECTS USING IMAGE PROCESSING
วรุฒิ กังหัน เกียรติยศ ยาทา ชลธิศ ปิติภูมิสุขสันต์ อภิชาติ ไชยพร
- 39-53 การลดความสูญเสียการผลิตสายไฟรถยนต์ กรณีศึกษา : เครื่องจักร AC81 – 18
WIRE LOSS REDUCTION CASE STUDY: MACHINE AC81 – 18
เถลิง พลเจริญ วรเทพ ตริวิจิตร ชาคritt ศรีทอง
- 54-63 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของมีดกลึงโลหะผสม Al₂O₃-TiC ในการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140
STUDY OF THE OPTIMUM CONDITIONS OF AL₂O₃-TiC ALLOY TURNING INSERTS FOR TURNING AISI 4140 WORK PIECES.
ภุชประดิษฐ์ แปงจิตต์
- 64-77 การพัฒนาฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ กรณีศึกษา : โรงงานอาหารสัตว์
DEVELOPMENT OF STANDARD JOB CONDITION SHEET FOR DEFECTIVE REDUCTION IN PACKAGING PROCESS CASE STUDY: FEED MILL FACTORY
กวิณ พินสารายู ฉัตรชัย เหล่าเขตการณ์ สุนัฐวิทย์ น้อยโสภา ปฏิพัฒน์ แยมชุตี เกิดมณี
- 78-89 แบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า
MODELING OF SOLID OXIDE FUEL CELL FOR VOLTAGE SOURCE INVERTERS WITH LCL-FILTERS FOR CONNECTING TO THE THREE-PHASE GRID OF ELECTRICITY
กำจัด ใจตรง ปิยะนัฐ ใจตรง

Received: Jun 10, 2023

Revised: Aug 24, 2023

Accepted: Aug 28, 2023

การลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์สำหรับการสั่นของเมมเบรน

Reduced Differential Transformation Method for Vibration of Membranes

กมลภัสสร มั่นศิลป์^{1*} ฐาปนา นามประดิษฐ์² วิศรุต คล้ายแจ้ง³^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก³ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชKamonpad Mansilp^{1*} Thapana Nampradit² Wisarut Klaychang³^{1,2} Department of Integrated Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and Technology Chanthaburi campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok³ Faculty of Academie, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

E-mail Kamonpad_ma@rmutto.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แสดงการหาผลเฉลยประมาณค่าโดยวิธีการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์(RDTM) ในรูปแบบ 3 มิติของการแปลงเชิงอนุพันธ์(DTM)ของสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนโดยกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าขอบ พิจารณาจากผลเฉลยวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลเฉลยประมาณค่าของวิธีการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก จึงทำให้วิธีการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนได้อย่างง่าย เมื่อเราเพิ่มพจน์การหน่วง พจน์การหน่วงกับแรงภายนอกและพจน์แรงภายนอก จะพบว่า แอมพลิจูดของกราฟและค่าของผลเฉลยในแต่ละเวลาลดลง วิธีการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์(RDTM)นี้ จึงเป็นวิธีลดชั้นในการหาผลเฉลยจากรูปแบบเดิมที่ซับซ้อนที่มีอยู่ก่อนเดิมทำให้สามารถหาผลเฉลยประมาณค่าได้อย่างง่ายและลดขั้นตอนในการทำงาน โดยฟังก์ชันของผลเฉลยอยู่ในรูปฟังก์ชันพหุนาม

คำสำคัญ: วิธีการแปลงเชิงอนุพันธ์, วิธีการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์, สมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรน

Abstract

This research demonstrates the calculation of an estimated solution for the membrane motion equation with given initial and boundary conditions using the 3D reduced differential transformation method (RDTM) obtained from the normal differential transformation (DTM). By comparing the analytical solution and the approximate solution obtained from RDTM, it is found that the approximate error is considerably small. Therefore, the RDTM is effective in solving the equation of membrane motion. In addition, adding a damping term, an external force term as well as both damping and external force terms result in a decrease in the approximate solution amplitude for each time. In conclusion, the RDTM is the method with less complexity compared to the analytical method, so that it is possible to find an approximate solution in terms of the polynomials of t conveniently.

Keywords: Differential Transformation Method, Reduced Differential Transformation Method, The equation of motion of a membrane

บทนำ

นักวิจัยหลายคนพยายามที่จะเข้าใจปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยการใช้ความรู้จากสาขาต่าง ๆ เช่น วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอุตสาหการ พลังงานและการแพทย์ ปัญหาเหล่านี้ส่วนใหญ่ได้รับการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์บางรูปแบบโดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ (Ordinary Differential Equation : ODE) และสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation : PDE) ปัญหาเหล่านี้จำเป็นต้องมีการหาผลเฉลยและวิธีการแก้ไขที่ถูกต้องไม่ว่าจะเป็นวิธีการหาผลเฉลยเชิงวิเคราะห์หรือการแก้ปัญหาโดยการหาผลเฉลยประมาณค่า

การแปลงเชิงอนุพันธ์(Differential Transformation Method : DTM) เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ใช้ในงานวิจัยจำนวนมากเพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญ(ODE) และสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย(PDE) การศึกษาการแปลงเชิงอนุพันธ์ (DTM) ขึ้นอยู่กับการกระจายของอนุกรมเทย์เลอร์ออดเดอร์สูง วิธีนี้เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์สามัญเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น Kothandapani, J. & Bharathi, V. (2016), Singh, J., Rashidi, M., Sushila, M.& Kumar, D. (2017), Zedan, A.& AliAlghamdi, M. (2012) และสำหรับการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ย่อยสองและสามมิติในปัญหาเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทั้งสอง วิธีการแปลงเชิงอนุพันธ์ (DTM) สามารถใช้ในการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ภายใต้เงื่อนไขเริ่มต้นและขอบเขตที่มีทั้งเงื่อนไขเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นภายในช่วงข้อผิดพลาดที่ยอมรับได้ Mirzaee, F.& Yari, M.K. (2015)

การลดขั้นตอนการแปลงเชิงอนุพันธ์(Reduced Differential Transformation Method : RDTM) เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้ประยุกต์ต่อจากการแปลงเชิงอนุพันธ์เพื่อช่วยลดขั้นตอนในการหาคำตอบให้ง่ายขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การลดขั้นตอนวิธีการแปลงเชิงอนุพันธ์แบบ 2 มิติและ 3 มิติได้ใช้ประยุกต์ในการหาผลเฉลยของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น Yildiray, K., Ibrahim, C.& Ayse Betul, K. (2011) ใช้ RDTM เพื่อหาผลเฉลยกับสมการ Sine-Gordon ซึ่งสามารถจัดผลเฉลยอยู่ในรูปอย่างง่าย ต่อมา Vineet, K., Mukesh, K.& Chaurasia, R.K. (2014) ได้ใช้ RDTM ใน 2 มิติ และ 3 มิติสำหรับสมการ Hyperbolic telegraph Yildiray, K.& Galip, O. (2010) ใช้ RDTM ในการหาผลเฉลยสมการ The generalized Korteweg - de Vries ทำให้ RDTM ถูกใช้แพร่หลายมากขึ้น Saravanan, A.& Magesh, N. (2013) จึงนำ RDTM มาเปรียบเทียบกับวิธี the domain decomposition สำหรับสมการ The Newell-Whitehead-Segel ซึ่ง RDTM สามารถแก้ปัญหาได้ดีในปัญหาไม่เชิงเส้นโดยใช้สัมประสิทธิ์พหุนาม Mohammed, O. Al-Amr. (2014) ได้ประยุกต์ RDTM เพื่อหาผลเฉลยของสมการอนุพันธ์ย่อยไม่เชิงเส้น Vineet, K. Mukesh, K. & Kumar, S. (2014), Vineet, K. Mishra, N. Kumar, S. Kumar, B. & Mukesh, K. (2014), Taghavi, A. Babaei, A. & Mohammadpour, A. (2015), Mohamed, S. & Khaled, A. (2017), Elsaid, A. & Helal, S.M. (2020), Timilehin, K.A. & Adedapo, C.L. (2021) ได้ใช้ RDTM ใน 2 มิติ และ 3 มิติเพื่อประมาณค่าด้วยเงื่อนไขเริ่มต้นและปัญหาค่าขอบซึ่งจัดผลเฉลยอยู่ในรูปแบบเฉพาะ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันพหุนามโดยใช้พจน์ก่อนหน้าประมาณค่าพจน์ถัดไป การประมาณค่าด้วยวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพอย่างมากกับสมการที่อธิบายพฤติกรรมของธรรมชาติในรูปแบบต่างๆได้

ในการศึกษาการแปลงเชิงอนุพันธ์ของการสั่นของเมมเบรน Mansilp, K.& Kasemsuwan, J. (2019) ซึ่งจะมีลักษณะการสั่นเหมือนหนังกลอง ผลเฉลยที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยวิเคราะห์ (analytical solution) ซึ่งเกิดค่าความผิดพลาดน้อยมากจึงทำให้ DTM เป็นวิธีการที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยประมาณค่าแต่บางครั้งการแปลงสมการอยู่ในรูปแบบที่ซับซ้อนและมีจำนวนการใช้สัญลักษณ์ผลบวกมาก ทำให้คอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการคำนวณมีค่าความผิดพลาด ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้ RDTM ซึ่งเป็นวิธีการที่ช่วยให้การหาผลเฉลยที่ซับซ้อนให้ง่ายขึ้นและเกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด

ขอบเขตงานวิจัย

1. สมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรน (The equation of motion of a membrane)

สมการการเคลื่อนที่ตามแนวขวางของการสั่นของเมมเบรน Rao, S. (2004) คือ

$$P \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) + f(x, y, t) = p(x, y) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (1)$$

เมื่อ $f(x, y, t)$ คือ แรงในทิศทางแกน z (แรงภายนอก)

p คือ ความเข้มสูงสุดที่จุดแรงดึง (ผลของความเค้นแรงดึงและความหนาของเมมเบรน)

$\rho(x, y)$ คือ น้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่
ให้ $f(x, y, t) = 0, P = 1$ และ $\rho(x, y) = 1$ แทนค่าใน (1)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \quad (2)$$

เงื่อนไขเริ่มต้น Rao, S. (2004) คือ

$$w(x, y, 0) = \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}, 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b,$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}(x, y, 0) = 0, 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b,$$

เมื่อกำหนดให้ $a = 1$ และ $b = 1$

ขอบเขตเงื่อนไขของสมการการสั่นของเมมเบรนคือ

$$w(x, 0, t) = 0, 0 \leq x \leq 1,$$

$$w(0, y, t) = 0, 0 \leq y \leq 1,$$

$$w(x, 1, t) = 0, 0 \leq x \leq 1,$$

$$w(1, y, t) = 0, 0 \leq y \leq 1, t \in R \quad (3)$$

2. ผลเฉลยวิเคราะห์ (Analytical solution)

จาก Rao, S. (2004) พิจารณา (2) เงื่อนไขเริ่มต้น $w(x, y, 0) = \sin \pi x \sin \pi y$ และ $\frac{\partial w}{\partial t}(x, y, 0) = 0$ ด้วย

ขอบเขตเริ่มต้นใน (3) Mansilp, K. & Kasemsuwan, J. (2019) เราจะได้ผลเฉลยวิเคราะห์ (analytical solution) คือ

$$w(x, y, t) = \sin \pi x \sin \pi y \cos \sqrt{2} \pi t \quad (4)$$

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. การแปลงเชิงอนุพันธ์สามมิติ (Three-Dimensional Differential Transform Method) Mansilp, K. & Kasemsuwan, J. (2019)

นิยามพื้นฐานของการแปลงเชิงอนุพันธ์คือ

นิยามที่ 1 การแปลงเชิงอนุพันธ์สามมิติของฟังก์ชัน $w(x, y, t)$ กำหนดโดย

$$w(x, y, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{h=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} W(k, h, m) x^k y^h t^m \quad (5)$$

นิยามที่ 2 การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์สามมิติของลำดับ $\{W(k, h, m)\}_{k, h, m=0}^{\infty}$ กำหนดโดย

$$W(k, h, m) = \frac{1}{k! h! m!} \left. \frac{\partial^{k+h+m} w(x, y, t)}{\partial x^k \partial y^h \partial t^m} \right|_{(0,0,0)} \quad (6)$$

3. การลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์ (Reduced Differential Transform Method) Mohamed, S., & Khaled, A. (2017)

นิยามพื้นฐานของการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์ โดยพิจารณาฟังก์ชันสามตัวแปร $w(x, y, t)$ เขียนอยู่ในรูปผลคูณของฟังก์ชันตัวแปรเดียวสามฟังก์ชัน เช่น $w(x, y, t) = f(x)h(y)g(t)$ จากคุณสมบัติการแปลงเชิงอนุพันธ์สามารถแสดงได้ดังนี้

$$w(x, y, t) = \left(\sum_{i=0}^{\infty} F(i)x^i \right) \left(\sum_{j=0}^{\infty} H(j)y^j \right) \left(\sum_{k=0}^{\infty} G(k)t^k \right) = \sum_{k=0}^{\infty} W_k(x, y)t^k \tag{7}$$

เมื่อ $W_k(x, y)$ ถูกเรียกว่า t-dimensional spectrum function ของพื้นฐานนิยามของการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์ดังนี้

นิยามที่ 3 ถ้าฟังก์ชัน $w(x, y, t)$ วิเคราะห์ความต่อเนื่องเวลาของ t ภายใต้โดเมนที่เราพิจารณา กำหนดโดย

$$W_k(x, y) = \frac{1}{k!} \left[\frac{\partial^k}{\partial t^k} w(x, y, t) \right]_{t=0} \tag{8}$$

เมื่อ t-dimensional spectrum function $W_k(x, y)$ คือ การแปลงฟังก์ชัน $w(x, y, t)$ แทนฟังก์ชันเริ่มต้น และ $W_k(x, y)$ หมายถึง ฟังก์ชันแปลงเชิงอนุพันธ์

นิยามที่ 4 การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์ $W_k(x, y)$ กำหนดโดย

$$w(x, y, t) = \sum_{k=0}^{\infty} W_k(x, y)t^k \tag{9}$$

รวมสมการ(8) และ(9) จะได้

$$w(x, y, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \left[\frac{\partial^k w(x, y, t)}{\partial t^k} \right]_{t=0} t^k \tag{10}$$

จากสมการ(10) การลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์จะสามารถเขียนฟังก์ชันอยู่ในรูปอนุกรมกำลัง

ตารางที่1 การดำเนินการพื้นฐานสำหรับการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์(RDTM)

รูปแบบฟังก์ชันพื้นฐาน	รูปแบบการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์(RDTM)
$u(x, t)$	$\frac{1}{k!} \frac{\partial^k}{\partial t^k} w(x, y, t) \Big _{t=0}$
$u(x, t) = w(x, t) \pm v(x, t)$	$U_k(x) = W_k(x) \pm V_k(x)$
$u(x, t) = \alpha w(x, t)$	$U_k(x) = \alpha W_k(x)$ เมื่อ α เป็นค่าคงตัว
$u(x, t) = x^m t^n$	$U_k(x) = x^m \delta(k - n), \delta(k) = \begin{cases} 1, k=0 \\ 0, k \neq 0 \end{cases}$
$u(x, t) = x^m t^n w(x, y, t)$	$U_k(x) = x^m W(k - n)$
$u(x, t) = w(x, t)v(x, t)$	$U_k(x) = \sum_{r=0}^k W_r(x)V_{k-r}(x) = \sum_{r=0}^k V_r(x)W_{k-r}(x)$
$u(x, t) = \frac{\partial^r}{\partial t^r} w(x, t)$	$U_k(x) = (k + 1) \dots (k + r) W_{k+r}(x) = \frac{(k + r)!}{k!} W_{k+r}(x)$

รูปแบบฟังก์ชันพื้นฐาน	รูปแบบการลดชั้นการแปลงเชิงอนุพันธ์(RDTM)
$u(x,t) = \frac{\partial}{\partial x} w(x,t)$	$U_k(x) = \frac{\partial}{\partial x} W_k(x)$
$u(x,t) = \frac{\partial}{\partial x^2} w(x,t)$	$U_k(x) = \frac{\partial}{\partial x^2} W_k(x)$

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในส่วนนี้แสดงการประมาณค่าผลเฉลยด้วย RDTM ในรูปแบบของการหาค่าสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรน, สมการที่มีพจน์การหน่วง สมการที่มีพจน์การหน่วงกับแรงภายนอก และสมการที่มีแรงภายนอกมากระทำ

ตัวอย่างที่ 3.1 พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรน Rao, S. (2004)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (11)$$

เงื่อนไขเริ่มต้น

$$\begin{aligned} w(x, y, 0) &= \sin \frac{\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b}, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, \\ \frac{\partial w}{\partial t}(x, y, 0) &= 0, 0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1 \end{aligned} \quad (12)$$

ขอบเขตเริ่มต้น

$$\begin{aligned} w(x, 0, t) &= 0, 0 \leq x \leq 1, \\ w(0, y, t) &= 0, 0 \leq y \leq 1, \\ w(x, 1, t) &= 0, 0 \leq x \leq 1, \\ w(1, y, t) &= 0, 0 \leq y \leq 1, t \in R \end{aligned} \quad (13)$$

เปรียบเทียบกับ (11) ในรูปแบบ RDTM จากตารางที่ 1 จะได้

$$(k+1)(k+2)W_{k+2}(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} W_k(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} W_k(x, y) \quad (14)$$

จาก (12) จะได้

$$W_0 = \sin \pi x \sin \pi y, W_1 = 0 \quad (15)$$

นำ (15) มาแทนค่า (14) เมื่อ $k=0$ จะได้

$$\begin{aligned} (0+1)(0+2)W_2(x, y) &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} W_0(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} W_0(x, y) \\ (1)(2)W_2(x, y) &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} (\sin \pi x \sin \pi y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} (\sin \pi x \sin \pi y) \\ W_2(x, y) &= (-\pi^2)(\sin \pi x \sin \pi y). \end{aligned}$$

แทนค่า $k=1, k=2, k=3, \dots$ จะได้

$$W_3(x, y) = 0,$$

$$W_4(x, y) = \left(\frac{\pi^4}{6}\right)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_5(x, y) = 0, \dots$$

ใช้การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์ด้วย RDTM ของ $W_k(x, y)$ เราจะได้ผลเฉลยดังนี้

$$w(x, y, t) = \left[1 - \pi^2 t^2 + \frac{\pi^4}{6} t^4 + \frac{\pi^6}{90} t^6 + \dots \right] (\sin \pi x \sin \pi y) \quad (16)$$

ตัวอย่างที่ 3.2 พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วง(with damping term)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{\partial w}{\partial t} \quad (17)$$

เปรียบเทียบกับ (17) ในรูปแบบ RDTM จากตารางที่ 1 จะได้

$$\begin{aligned} & (k+1)(k+2)W_{k+2}(x, y) \\ &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} W_k(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} W_k(x, y) - (k+1)W_{k+1}(x, y) \end{aligned} \quad (18)$$

นำ (15) มาแทนค่า (18) เมื่อ $k=0, k=1, k=2, k=3, \dots$ จะได้

$$W_2(x, y) = (-\pi^2)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_3(x, y) = \left(\frac{\pi^2}{3}\right)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_4(x, y) = (2\pi^4 - \pi^2)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_5(x, y) = \left(\frac{\pi^2}{60} - \frac{\pi^4}{15}\right)(\sin \pi x \sin \pi y), \dots$$

ใช้การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์ด้วย RDTM ของ $W_k(x, y)$ เราจะได้ผลเฉลยดังนี้

$$\begin{aligned} w(x, y, t) &= \left[1 + (-\pi^2)t^2 + \left(\frac{\pi^2}{3}\right)t^3 + \left(\frac{\pi^4}{6} - \frac{\pi^2}{12}\right)t^4 \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{\pi^2}{60} + \frac{\pi^4}{15}\right)t^5 + \dots \right] (\sin \pi x \sin \pi y) \end{aligned} \quad (19)$$

ตัวอย่างที่ 3.3 พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วงกับแรงภายนอกกระทำ (w) (with damping term and external force)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial w}{\partial t} + w. \quad (20)$$

เปรียบเทียบกับ (20) ในรูปแบบวิธี RDTM จากตารางที่ 1 จะได้

$$(k+1)(k+2)W_{k+2}(x, y)$$

$$= \frac{\partial^2}{\partial x^2} W_k(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} W_k(x, y) - 2(k+1)W_{k+1}(x, y) + W_k(x, y) \quad (21)$$

นำ (15) มาแทนค่า (21) เมื่อ $k = 0, k = 1, k = 2, k = 3, \dots$ จะได้

$$W_2(x, y) = (-\pi^2 + 1)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_3(x, y) = \left(\frac{2\pi^2}{3} - 1\right)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_4(x, y) = \left(\frac{\pi^4}{6} - \frac{\pi^2}{2} + \frac{1}{8}\right)(\sin \pi x \sin \pi y),$$

$$W_5(x, y) = \left(\frac{2\pi^2}{15} + \frac{1}{30}\right)(\sin \pi x \sin \pi y), \dots$$

ใช้การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์ด้วย RDTM ของ $W_k(x, y)$ เราจะได้ผลเฉลยดังนี้

$$w(x, y, t) = \left[1 + (-\pi^2)t^2 + \left(\frac{\pi^2}{3}\right)t^3 + \left(\frac{\pi^4}{6} - \frac{\pi^2}{12}\right)t^4 + \left(\frac{\pi^2}{60} + \frac{\pi^4}{15}\right)t^5 + \dots \right] (\sin \pi x \sin \pi y) \quad (22)$$

ตัวอย่างที่ 3.4 พิจารณาสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีแรงภายนอกกระทำ (w^2)

(with external force)

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - w^2 \quad (23)$$

เปรียบเทียบกับ (23) ในรูปแบบ RDTM จากตารางที่ 1 จะได้

$$(k+1)(k+2)W_{k+2}(x, y) = \frac{\partial^2}{\partial x^2} W_k(x, y) + \frac{\partial^2}{\partial y^2} W_k(x, y) - \sum_{r=0}^k W_r(x, y)W_{k-r}(x, y) \quad (24)$$

นำ (15) มาแทนค่า (24) เมื่อ $k = 0, k = 1, k = 2, k = 3, \dots$ จะได้

$$W_2(x, y) = -\left[\frac{(\sin \pi x \sin \pi y)(2\pi^2 + \sin \pi x \sin \pi y)}{2} \right],$$

$$W_3(x, y) = 0,$$

$$W_4(x, y) = \left[\frac{\sin(\pi x)^3 \sin(\pi y)^3}{12} \right] - \left[\frac{\pi^2 \sin(\pi y)^2 + \pi^2 \sin(\pi x)^2}{12} \right] + \left[\frac{\pi^2 \sin(\pi x)^2 \sin(\pi y)^2}{2} \right] + \left[\frac{\pi^4 \sin(\pi x) \sin(\pi y)}{6} \right],$$

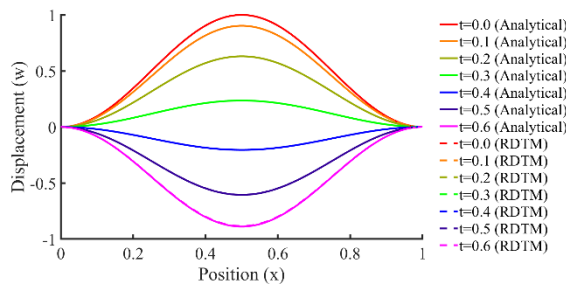
$$W_5(x, y) = 0, \dots$$

ใช้การแปลงผกผันเชิงอนุพันธ์ด้วย RDTM ของ $W_k(x, y)$ เราจะได้ผลเฉลยดังนี้

$$\begin{aligned}
 w(x, y, t) = & \sin \pi x \sin \pi y - \left[\frac{(\sin \pi x \sin \pi y)(2\pi^2 + \sin \pi x \sin \pi y)}{2} \right] t^2 \\
 & + \left[\left(\frac{\sin(\pi x)^3 \sin(\pi y)^3}{12} \right) - \left(\frac{\pi^2 \sin(\pi y)^2 + \pi^2 \sin(\pi x)^2}{12} \right) \right. \\
 & \left. + \left(\frac{\pi^2 \sin(\pi x)^2 \sin(\pi y)^2}{2} \right) + \left(\frac{\pi^4 \sin(\pi x) \sin(\pi y)}{6} \right) \right] t^4 \\
 & + \dots
 \end{aligned}
 \tag{25}$$

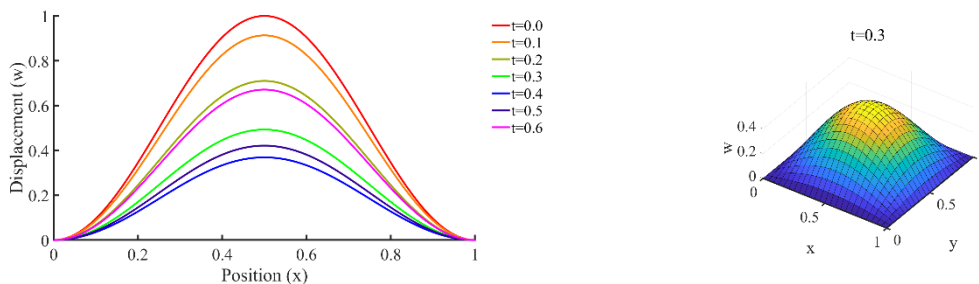
ผลการวิจัย

ต่อไปนี้เป็น การแสดงผลด้วยกราฟจากตัวอย่างที่ 3.1-3.4 โดยในรูปที่ 1 จะเป็นการแสดงผลเปรียบเทียบผลเฉลยวิเคราะห์ (analytical solution) ของสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรน(4) กับผลเฉลยประมาณค่าด้วยRDTM จากตัวอย่างที่ 1 จะเห็นได้ว่ากราฟที่ทับกันสนิทพอดี แสดงว่า การหาผลเฉลยแบบประมาณค่าด้วยRDTM สามารถหาผลเฉลยได้อย่างแม่นยำ โดยแสดงค่าในตารางที่ 2

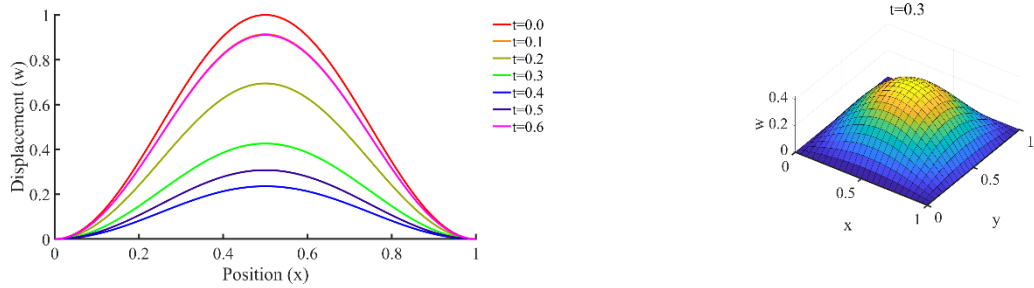


รูปที่ 1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างแอมพลิจูดของกราฟผลเฉลยวิเคราะห์กับกราฟผลเฉลยประมาณค่าด้วยวิธี RDTM

การประมาณค่าผลเฉลยด้วยRDTM ของสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วงในตัวอย่างที่ 3.2 แสดงผลในรูปที่ 2 และการประมาณค่าผลเฉลยด้วยRDTM สมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วงกับแรงภายนอกมากกระทำ (w) ในตัวอย่างที่ 3.3 แสดงผลในรูปที่ 3 พบว่า เมื่อเราเพิ่มพจน์การหน่วงเพิ่มขึ้นและมีแรงภายนอกมากกระทำ จะทำให้แอมพลิจูดของกราฟลดลง เปรียบเทียบจากรูปที่ 2 และรูปที่ 3 และแสดงค่าในตารางที่ 3

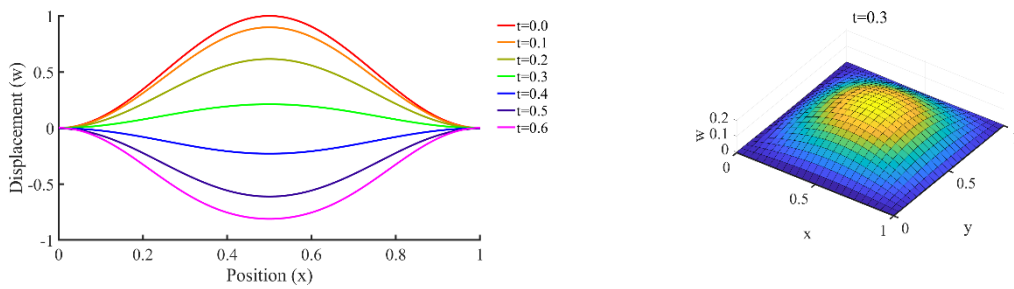


รูปที่ 2 กราฟสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วงด้วยวิธี RDTM



รูปที่ 3 กราฟสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีพจน์การหน่วงกับแรงภายนอกมากระทำ (w) ด้วย RDTM

เมื่อเราเพิ่มพจน์ที่มีแรงภายนอกมากระทำ (w^2) แต่ไม่มีพจน์การหน่วงแสดงในตัวอย่างที่ 3.4 การแสดงผลของกราฟรูปที่ 4 แอมพลิจูดจะลดลงกว่ากราฟสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีแรงภายนอกมากระทำในตัวอย่างที่ 3.1 และแสดงค่าในตารางที่ 4



รูปที่ 4 กราฟสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนที่มีแรงภายนอกมากระทำ (w^2) ด้วย RDTM

ตารางที่ 2 ค่าของผลเฉลยวิเคราะห์ (analytical solution), ผลเฉลยประมาณค่าด้วย RDTM และ ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อ $x = 0.25, y = 0.25$

<i>time(sec)</i>	<i>w(analytic)</i>	<i>w(RDTM)</i>	$ w(exact) - w(RDTM) $
t=0.0	0.500000	0.500000	0.000000
t=0.1	0.451458	0.451458	0.000000
t=0.2	0.315259	0.315259	0.000000
t=0.3	0.117846	0.117849	0.000002
t=0.4	-0.102448	-0.102405	0.000042
t=0.5	-0.302850	-0.302461	0.000389
t=0.6	-0.444449	-0.442081	0.002367

ตารางที่ 3 ค่าของผลเฉลยประมาณค่า RDTM, RDTM with damping, RDTM with damping + external force และค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อ $x = 0.25, y = 0.25$

$time(sec)$	$w(RDTM)$	$w(damping)$	$w(damping + ext.)$	$ w(RDTM) - w(damping) $	$ w(RDTM) - w(damping + ext.) $
t=0.0	0.500000	0.500000	0.500000	0.000000	0.000000
t=0.1	0.451458	0.456554	0.456856	0.000509	0.000539
t=0.2	0.315259	0.354950	0.347160	0.039691	0.031901
t=0.3	0.117849	0.246386	0.213073	0.128537	0.095224
t=0.4	-0.102405	0.184403	0.117779	0.286808	0.220184
t=0.5	-0.302461	0.210517	0.153754	0.512978	0.456215
t=0.6	-0.442081	0.335447	0.455315	0.777528	0.897396

ตารางที่ 4 ค่าของผลเฉลยประมาณค่า RDTM, RDTM with external force และค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อ $x = 0.25, y = 0.25$

$time(sec)$	$w(RDTM)$	$w(ext.(w^2))$	$ w(RDTM) - w(ext.(w^2)) $
t=0.0	0.500000	0.500000	0.000000
t=0.1	0.451458	0.456856	0.005398
t=0.2	0.315259	0.347160	0.031901
t=0.3	0.117849	0.213073	0.012881
t=0.4	-0.102405	0.117779	0.220184
t=0.5	-0.302461	0.153754	0.456215
t=0.6	-0.442081	0.455315	0.897396

สรุปผลการวิจัย

เมื่อพิจารณารูปและค่าจากตาราง เราพบว่า RDTM มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยประมาณค่าของสมการการเคลื่อนที่ของเมมเบรนได้อย่างแม่นยำซึ่งเปรียบเทียบกับกราฟผลเฉลยวิเคราะห์แล้วค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ดังนั้นเมื่อพิจารณารูปที่มีพจน์การหน่วง และพจน์การหน่วงกับแรงภายนอกจะพบว่า แอมพลิจูดของกราฟลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อเราเพิ่มพจน์ที่มีแรงภายนอกอย่างเดียว แอมพลิจูดของกราฟมีค่าลดลงเช่นกัน

References

- Kothandapani, J., & Bharathi, V. (2016). Numerical approximation of nonlinear fractional differential-difference equations by using Modified He-Laplace method. *Alexandria Engineering Journal*, 55, 645-651.
- Singh, J., Rashidi, M., Sushila, M., & Kumar, D. (2017). A hybrid computational approach for Jeffery-Hamel flow in non-parallel walls. *Neural Computing and Applications*. Doi:10.1007/s00521-017-3198-y.
- Zedan, A., & AliAlghamdi, M. (2012). Solution of (3+1)-Dimensional nonlinear cubic Schrodinger equation by differential transform method. *Mathematical Problem in Engineering*. Doi:1155/2021/531823.
- Mirzaee, F., & Yari, M.K. (2015). A novel computing three-dimension differential transform method for solving

- fuzzy partial differential equations. *Aim Shams Engineering Journal*, 7(2), 695-708.
- Yildiray, K., Ibrahim, C., & Ayse Betul, K. (2011). Numerical solution of sine-gordon equation by reduced differential transform method. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2011 Vol 1*. London, U.K.
- Vineet, K., Mukesh, K., & Chaurasia, R.K. (2014). Reduced differential transform method to solve two and three dimension second order hyperbolic telegraph equations. *Journal of King Saud University – Engineering Sciences*, 29(2), 166-171.
- Yildiray, K., & Galip, O. (2010). Reduced differential transform method for generalized KDV equations. *Mathematical and Computational Applications*, 15(3), 382-293.
- Saravanan, A., & Magesh, N. (2013). A comparison between the reduced differential transform method and the adomain decomposition method for the Newell – Whitehead – Segel equations. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 21, 259-265.
- Mohammed, O. Al-Amr. (2014). New applications of reduced differential transform method. *Alexandria Engineering Journal*, 53, 243-247.
- Vineet, K. Mukesh, K., & Kumar, S. (2014). Analytical approximations of two and three-dimensional time-fractional telegraphic equation by reduced differential transform method. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 60-66.
- Vineet, K. Mishra, N. Kumar, S. Kumar, B., & Mukesh, K. (2014). Reduced differential transform method for solving $(1+n)$ – Dimensional Burgers' equation. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 115 - 119.
- Taghavi, A. Babaei, A., & Mohammadpour, A. (2015). Application of reduced differential transform method for solving nonlinear reaction-diffusion-convection problems. *Applications and Applied Mathematics*, 10(1), 162-170.
- Mohamed, S., & Khaled, A. (2017). Reduced differential transform method for nonlinear integral member of kadomtsev-petviashvili hierarchy differential equation. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 25, 1-7.
- Elsaid, A., & Helal, S.M. (2020). A new algorithm for computing the differential transform in nonlinear two-dimensional partial differential equation. *Journal of King Saud University-science*, 32, 858-861.
- Timilehin, K.A., & Adedapo, C.L. (2021). A solitary wave solution to the generalized burgers-fisher's equation using an improved differential transform method: A hybrid scheme approach. *Heliyon*, 7, e07001.
- Mansilp, K., & Kasemsuwan, J. (2019). Differential transform method for vibration of membranes. *Songklanakarinn Journal Science and Technology*, 41(4), 716-726.
- Rao, S. (2004). *Mechanical vibrations*. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall.

การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุง การพยากรณ์โรคเบาหวาน

COMPARISON OF FEATURE SELECTION METHODS TO IMPROVE DIABETES PREDICTIONS

สรรรักษ์ สังเกตู, และปราณี มณีรัตน์
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
Sanpath Sunggad, Paralee Maneerat
Information Technology, Sripatum University
sanpath.sug@spumail.net

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน เพื่อพัฒนาการคัดกรองโรคเบาหวานจากข้อมูลผู้เข้ารับคัดกรองโรค เนื่องจากเบาหวานเป็นหนึ่งในกลุ่มโรคไม่ติดต่อ ซึ่งเป็นปัญหาสุขภาพอันดับหนึ่งของโลกทั้งจำนวนของการเสียชีวิต จากการรายงานข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (WHO) พบประชากรทั่วโลกเสียชีวิตจากโรคกลุ่มโรคไม่ติดต่อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในแต่ละปีพบผู้เสียชีวิตจากโรคไม่ติดต่อในกลุ่มอายุ 30-69 ปี มากถึง 15 ล้านคน ในประเทศไทยพบเพศชายมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่า เพศหญิง อาการของโรคเบาหวานที่พบบ่อย มักพบอาการเหล่านี้ร่วมกัน อาการปัสสาวะบ่อย, อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย, อาการ น้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ, อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง, อาการกินจุ หิวบ่อย, อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด, สายตาพร่ามัวมองไม่ชัดเจน, คันตามผิวหนัง, อาการหงุดหงิดง่าย, อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก, อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน, อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง, อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม และอาการสะสมไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกินปกติ ผู้วิจัยได้ทำการนำคุณลักษณะของโรคเบาหวานทั้ง 16 คุณลักษณะ มาศึกษาเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญ ที่ใช้ในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน

คำสำคัญ: โรคเบาหวาน, การคัดกรองโรคเบาหวานเบาหวาน, การคัดเลือกคุณลักษณะ

Abstract

This research aims to compare methods for selecting key characteristics to enhance the prognosis of diabetes. Its objective is to develop a diabetes screening process based on data obtained from individuals undergoing diabetes screening. Diabetes ranks as a leading non-communicable disease and represents a primary global health concern, according to the World Health Organization (WHO). There's a growing trend in fatalities due to non-communicable diseases globally. Annually, approximately 15 million deaths occur within the 30-69 age group due to non-communicable diseases. In Thailand, males exhibit higher mortality rates than females. Commonly observed symptoms among individuals with diabetes include frequent urination, increased thirst, unexplained weight loss, fatigue, increased hunger, fungal infections, blurred vision, itchy skin, irritability, slow-healing wounds, numbness, muscle stiffness, hair loss, and abnormal fat accumulation in various body parts. The research compared the 16 characteristics of diabetes to refine methods for selecting crucial features that significantly improve disease prognosis. The aim is to enhance understanding regarding the most suitable feature selection methods for diabetes screening. Furthermore, the study endeavors to provide valuable information for developing future

strategies in managing and treating this condition effectively. Moreover, the research aims to increase the efficiency of diabetes screening to reduce risks and enable effective early-stage treatment.

Keywords: Diabetes, Diabetes screening, Feature Selection.

บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน เพื่อพัฒนาการคัดกรองโรคเบาหวานจากข้อมูลผู้เข้ารับคัดกรองโรค เนื่องจากเบาหวานเป็นหนึ่งในกลุ่มโรคไม่ติดต่อ ซึ่งเป็นปัญหาสุขภาพอันดับหนึ่งของโลกทั้งจำนวนของการเสียชีวิต จากการรายงานข้อมูลขององค์การอนามัยโลก (WHO) พบประชากรทั่วโลกเสียชีวิตจากโรคลกลุ่มโรคไม่ติดต้อมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งในแต่ละปีพบผู้เสียชีวิตจากโรคไม่ติดต่อในกลุ่มอายุ 30-69 ปี มากถึง 15 ล้านคน ในประเทศไทยพบเพศชายมีอัตราการเสียชีวิตสูงกว่า เพศหญิง อาการของโรคเบาหวานผู้ป่วยมักมีอาการเหล่านี้ร่วมกัน อาการปัสสาวะบ่อย, อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย, อาการ น้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ, อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง, อาการกินจุ หิวบ่อย, อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด, สายตาพร่ามัวมองไม่ชัดเจน, คันตามผิวหนัง, อาการหงุดหงิดง่าย, อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก, อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน, อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง, อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม และอาการสะสมไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกินปกติ ผู้วิจัยได้ทำการนำคุณลักษณะของโรคเบาหวานทั้ง 16 คุณลักษณะ มาศึกษาเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญ ที่ใช้ในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน งานวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งหวังที่ผลลัพธ์จากการศึกษานี้จะช่วยให้มีความเข้าใจมากขึ้นเกี่ยวกับวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการคัดกรองโรคเบาหวาน และเป็นข้อมูลที่มีคุณค่าในการพัฒนาแนวทางในการจัดการและการรักษาโรคนี้ในอนาคต นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังมีเป้าหมายที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการคัดกรองโรคเบาหวานเพื่อลดความเสี่ยงและสามารถรักษาโรคเบาหวานเพื่อลดความเสี่ยงและสามารถรักษาโรคในระยะต้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการพยากรณ์โรคเบาหวาน
2. เพื่อพัฒนากระบวนการคัดกรองโรคเบาหวานในกลุ่มที่ยังไม่ครอบคลุมทุกกลุ่มอายุ
3. เปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน เพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการคัดกรองโรคเบาหวานในกลุ่มที่มีอาการแรกเริ่มของการเป็นโรคเบาหวานเพื่อให้กระบวนการคัดกรองครอบคลุมในประชากรทุกกลุ่มอายุ เป้าหมายของการวิจัยเพื่อการศึกษาวิธีการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน จากการเลือกคุณลักษณะที่สำคัญของอาการของโรคเบาหวานสามารถลดจำนวนมิติของคุณลักษณะของข้อมูลลง เพื่อการพัฒนาไปสู่การใช้งานจริงในกรณีที่มีข้อจำกัดของข้อมูลและเวลาในการประมวลผล

ขั้นตอนการศึกษา

การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเป็นโรคเบาหวานพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้เป็นโรคเบาหวานมีอยู่หลายปัจจัยที่สามารถสรุปได้ดังนี้

อายุ เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรคเบาหวานพบว่าผู้ป่วยที่อายุมากขึ้นมีปัจจัยเสี่ยงที่จะเป็นโรคเบาหวาน

เพศ เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรคเบาหวานโดยพบว่าเพศชายกับเพศหญิงจะมีความเสี่ยงในการ

เป็นโรคเบาหวานที่แตกต่างกัน

อาการแรกเริ่มของผู้ป่วยโรคเบาหวาน เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรคเบาหวาน พบว่าผู้ป่วยที่ไปพบแพทย์มักไปด้วยอาการเหล่านี้ร่วมกันอาการปัสสาวะบ่อย, อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย, อาการ น้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ, อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง, อาการกินจุ หิวบ่อย, อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด, สายตาพร่ามัวมองไม่ชัดเจน, คันตามผิวหนัง, อาการหงุดหงิดง่าย, อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก, อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน, อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง, อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม และอาการสะสมไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกินปกติ

ศึกษาวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะ

การคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection)

เป็นการลดขนาดหรือมิติของข้อมูลและยังคงคุณลักษณะที่สำคัญของข้อมูลจากการจำแนกประเภทข้อมูล (classification) จะพบว่าบางครั้งจำนวน คุณลักษณะ (Attribute) หรือ ฟีเจอร์ (Feature) นั้นมีจำนวน ซึ่งจำเป็นต้องทำการคัดเลือกคุณลักษณะ ที่สำคัญมาใช้งาน ขั้นตอนนี้เรียกว่าการคัดเลือกคุณลักษณะ (Feature Selection) โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. Filter approach

เป็นการคัดเลือกฟีเจอร์โดยใช้การคำนวณค่าน้ำหนักซึ่งอาจจะเป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละฟีเจอร์และคลาสต่างๆและจะเลือกฟีเจอร์โดยเรียงลำดับตามค่าน้ำหนักที่คำนวณได้แล้วเลือกฟีเจอร์ที่มีค่าน้ำหนักมากกว่าที่ต้องการมาใช้งานต่อไปวิธีการนี้จะไม่มีการสร้างโมเดลเพื่อคัดเลือกฟีเจอร์เทคนิคในการคำนวณค่าน้ำหนักของฟีเจอร์ต่างๆ มีหลายวิธี เช่น Correlation Based Feature Selection (CFS), Information Gain (IG), Gain Ratio (GR), Chi Square, Evolutionary

1.1 Correlation Based Feature Selection (CFS)

เป็นการหากลุ่มคุณลักษณะที่ได้รับการประเมินค่าจากความสามารถในการคาดการณ์โดยคุณลักษณะที่ถูกคัดเลือกใช้สำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูล

1.2 Information Gain (IG)

เป็นการพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นของแต่ละคุณลักษณะที่เป็นไปได้แล้ววัดค่าความไร้ระเบียบ (Entropy) เพื่อคัดเลือกคุณลักษณะที่มีความสำคัญในการจำแนกกลุ่มได้ดีที่สุด

1.3 Gain Ratio (GR)

เป็นเทคนิคเพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของมิติข้อมูลโดยการวัด Gain Ratio ค่าเกณฑ์ความรู้ในการแบ่งชุดข้อมูลจะทำให้เกิดความเอนเอียงเกิดขึ้นเมื่อแอทริบิวต์ที่ทำการ พิจารณามีค่าที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยในการใช้ค่าเกณฑ์ความรู้มักจะทำการเลือกแอทริบิวต์ที่มีค่าที่เกิดขึ้น จากความเอนเอียงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้ค่าเกณฑ์ความรู้ การจะลดทอนความเอนเอียงลงด้วยตัวชี้วัดการแบ่งข้อมูลใหม่ เรียกว่า อัตราส่วนเกณฑ์ (gain ratio) ที่จะประยุกต์ใช้การทำนอร์มัลไลซ์ค่าเกณฑ์ความรู้ด้วยการใช้ค่า Split Information

1.4 Chi Square

เป็นการวัดโดยใช้สถิติประมาณความสัมพันธ์ร่วมระหว่างคุณลักษณะเฉพาะกับคลาสของคุณลักษณะเฉพาะ การทดสอบผลรวมของสัดส่วนกำลังสองของผลต่าง ระหว่างความถี่ของค่าที่สังเกตกับค่าความถี่ของค่าคาดหวัง หรือใช้ทดสอบการแจกแจงของข้อมูล มักใช้กับข้อมูลที่แจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous data)

1.5 Evolutionary Selection

เป็นการสุ่มเลือกคุณลักษณะซึ่งเป็นตัวแปรการพยากรณ์เข้ามาในสมการที่ละตัวและทำการทดสอบหาประสิทธิภาพในการพยากรณ์ค่าตอบหากค่าประสิทธิภาพในการคาดการณ์สูงขึ้นจะเก็บคุณลักษณะนั้นไว้ แล้วทำการสุ่มเลือกคุณลักษณะอื่นเข้าไปเพิ่ม หากค่าประสิทธิภาพของโมเดลลดลงก็จะตัดคุณลักษณะนั้นออก

2. Wrapper approach

เป็นการคัดเลือกฟีเจอร์ด้วยการสร้างโมเดล (Classification model) ขึ้นมาจากเซตของฟีเจอร์ที่กำหนดไว้และวัดประสิทธิภาพการทำงานของโมเดล และเลือกเซตของฟีเจอร์ที่ทำให้โมเดลมีประสิทธิภาพมากที่สุดมาใช้งาน เช่น โมเดลที่ให้ค่าความถูกต้อง (Accuracy) มากที่สุดการคัดเลือกฟีเจอร์ด้วยวิธีการนี้แบ่งย่อยได้เป็น 2 แบบ

2.1 Forward Selection

เป็นการเพิ่มคุณลักษณะครั้งละหนึ่งคุณลักษณะถ้าคุณลักษณะที่ใส่เพิ่มให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ดีจะถูกเลือกเก็บไว้และเลือกคุณลักษณะอื่นๆมาเพิ่มต่อจนประสิทธิภาพของโมเดลไม่มีการเพิ่มขึ้นจากเดิมจึงหยุดทำงาน

2.2 Backward Elimination

เป็นการตัดคุณลักษณะออกโดยเริ่มต้นจากคุณลักษณะทั้งหมดและตัดคุณลักษณะที่ไม่สำคัญออกทีละคุณลักษณะถ้าคุณลักษณะที่ตัดออกให้ประสิทธิภาพของโมเดลที่ดีให้ตัดคุณลักษณะอื่นๆต่อไปจนกว่าประสิทธิภาพของโมเดลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

ศึกษาวิธีการวัดประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์

การวัดประสิทธิภาพตัวแบบการพยากรณ์โดยใช้เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของตัวแบบรู้จำด้วยวิธี Predictive Modeling ซึ่งประกอบด้วยค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าความระลึก (Recall) ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) และค่าความถูกต้อง (Accuracy) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ซึ่ง 1 หมายถึง ประสิทธิภาพดี สามารถคำนวณค่า Accuracy หรือ ค่าความถูกต้องที่แสดงถึงประสิทธิภาพของ Model ที่โมเดลทายถูกทั้งหมดผลการพยากรณ์แบบ True Positive และ True Negative ดังสมการด้านล่าง

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{True Positive} + \text{True Negative}}{\text{True Positive} + \text{True Negative} + \text{False Positive} + \text{False Negative}}$$

สามารถคำนวณค่า Precision หรือ ค่าความแม่นยำที่แสดงถึงประสิทธิภาพของ Model ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของ Model เมื่อผลการพยากรณ์แบบ False Positive เช่น ในกรณีของการพยากรณ์ว่าเป็น เบาหวาน หรือไม่เป็นเบาหวาน ผลการพยากรณ์แบบ False Positive หมายถึงกลุ่มคนที่ปกติแต่พยากรณ์ว่าเป็นเบาหวาน เป็นต้น

$$\text{Precision} = \frac{\text{True Positive}}{\text{True Positive} + \text{False Positive}}$$

สามารถคำนวณค่า Recall หรือ Sensitivity หรือ True Positive Rate ที่แสดงถึงประสิทธิภาพของ Model ผลการพยากรณ์แบบ False Negative ดังสมการด้านล่าง

$$\text{Recall หรือ Sensitivity หรือ True Positive Rate} = \frac{\text{True Positive}}{(\text{True Positive} + \text{False Negative})}$$

สามารถคำนวณค่า F1-score เพื่อวัดประสิทธิภาพของ Model จากค่า F1-score ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยฮาร์โมนิก (Harmonic Mean) ของ Precision และ Recall

$$\text{F1-score} = 2 \times \frac{(\text{Precision} \times \text{Recall})}{(\text{Precision} + \text{Recall})}$$

ศึกษาวิธีการทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล

การวัดค่าประสิทธิภาพของเทคนิควิธีต่างๆ จะต้องทำการเลือกข้อมูลสำหรับเรียนรู้ (Training Set) และ ข้อมูลสำหรับทดสอบ (Testing Set) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีสุ่มเลือกแบ่งข้อมูลแบบความเที่ยงตรง k กลุ่ม (k-Fold Cross Validation) โดยเริ่มจากการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นส่วนๆ ให้เท่าๆ กัน ต่อจากนั้นให้นำข้อมูลบางส่วนมาทำการเรียนรู้ และนำข้อมูลบางส่วนมาทำการทดสอบแบบจำลองที่ได้จากการเรียนรู้ โดยในการทำงานจะทำการเลือกสุ่มข้อมูล ออกเป็น k ชุดที่เท่าๆ กัน ในการทดลองครั้งแรก ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลชุดทดสอบและข้อมูลชุดที่เหลือเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ ในการทดลองครั้งที่ 2 ข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลชุดทดสอบและข้อมูลชุดที่เหลือเป็นข้อมูลชุดเรียนรู้ ทำจนกระทั่ง ข้อมูลทุกชุดได้ถูกนำมาเป็นข้อมูลชุดทดสอบและข้อมูลชุดเรียนรู้ ซึ่งจะมีการทดลองทั้งหมด k ครั้ง ในงานวิจัยนี้ได้ เลือกใช้ค่า k = 10

แผนการดำเนินงาน

การเตรียมข้อมูลโรคเบาหวาน ผู้วิจัยได้คัดเลือกชุดข้อมูลความเสี่ยงเบาหวานระยะเริ่มต้น (Early stage diabetes risk prediction dataset) ข้อมูลที่รวบรวมมาจากโรงพยาบาลโรคเบาหวานซิลเฮต (Sylhet Diabetic Hospital) ในประเทศบังกลาเทศ ซึ่งมีประชากรอยู่อาศัยในเมืองราว 20 ล้านคน สาเหตุที่เลือกใช้ชุดข้อมูลความเสี่ยงเบาหวานระยะ

เริ่มต้นจากโรงพยาบาลโรคเบาหวานซิลเฮตประเทศบังกลาเทศเนื่องจากเป็นโรงพยาบาลที่ให้บริการดูแลผู้ป่วยเบาหวาน โดยเฉพาะซึ่งให้บริการดูแลรักษาผู้ป่วยป่วยมาแล้วไม่น้อยกว่า 77,000 รายและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีการจัดทำโปรแกรมการรับรู้การป้องกันโรคเบาหวานและค่ายสุขภาพและจากวัฒนธรรมการกินอาหารประเภทข้าวผักและแป้งที่คล้ายคลึงกับประเทศไทยซึ่งมีข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับนำมาดำเนินการวิจัย สำหรับแหล่งที่มาของข้อมูลผู้วิจัยได้เลือกใช้จากแหล่งข้อมูลของ UCI Machine Learning Repository ซึ่งเป็นเว็บไซต์ที่รวบรวมฐานข้อมูล ทฤษฎีโดเมน สำหรับการวิเคราะห์เชิงประจักษ์ของอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง ถูกใช้งานโดยนักเรียนนักศึกษานักการศึกษานักวิจัยทั่วโลกได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในฐานะแหล่งข้อมูลหลักของชุดข้อมูล การเรียนรู้ของเครื่อง ติดตั้งโปรแกรม RapidMiner สำหรับใช้วิเคราะห์ชุดข้อมูล งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการทำโดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio Version 9.10 นำชุดข้อมูลที่มาวิเคราะห์ประเภทของข้อมูลที่อยู่ในแต่ละคุณลักษณะ

งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน เพื่อการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการคัดกรองโรคเบาหวานในกลุ่มที่มีอาการแรกเริ่มของการเป็นโรคเบาหวานเพื่อให้กระบวนการคัดกรองครอบคลุมในประชากรทุกกลุ่มอายุ เป้าหมายของการวิจัยเพื่อการศึกษาวิธีการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน จากการเลือกคุณลักษณะที่สำคัญของอาการของโรคเบาหวานสามารถลดจำนวนมิติของคุณลักษณะของข้อมูลลง เพื่อการพัฒนาไปสู่การใช้งานจริงในกรณีที่มีข้อจำกัดของข้อมูลและเวลาในการประมวลผล งานวิจัยนี้สามารถแบ่งตามประเด็นได้เป็น 7 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง

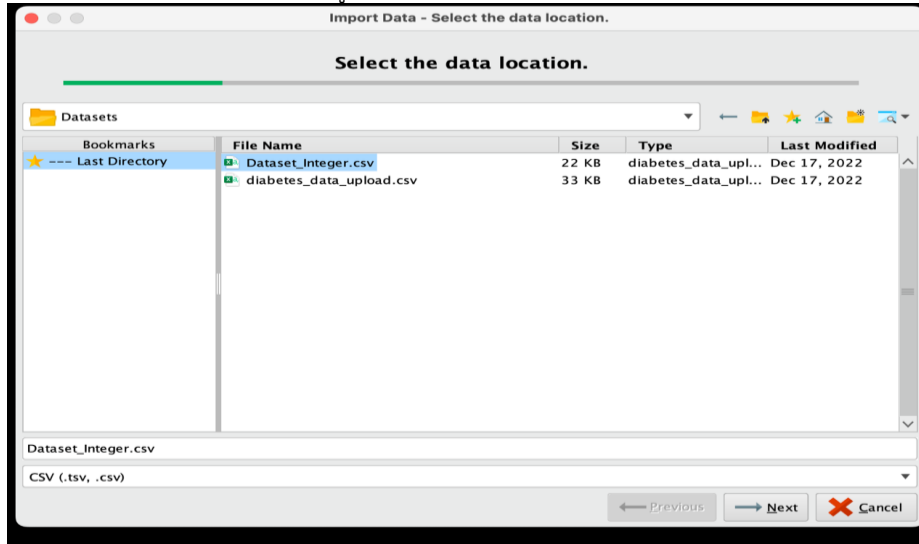
ผู้วิจัยได้คัดเลือกชุดข้อมูลความเสี่ยงเบาหวานระยะเริ่มต้น (Early stage diabetes risk prediction dataset) เป็นข้อมูลที่รวบรวมมาจากโรงพยาบาลโรคเบาหวานซิลเฮต (Sylhet Diabetic Hospital) ในประเทศบังกลาเทศ มีจำนวน 520 คน ซึ่งมีอาการของโรคเบาหวานที่พบบ่อยจำแนกได้เป็นคุณลักษณะที่ใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณลักษณะที่ใช้สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	แอททริบิวต์	ชนิดข้อมูล	คำอธิบาย
1	Age	Integer	อายุ
2	Gender	Polynomial	เพศ
3	Polyuria	Polynomial	อาการปัสสาวะบ่อย
4	Polydipsia	Polynomial	อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย
5	Sudden weight loss	Polynomial	อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ
6	Weakness	Polynomial	อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง
7	Polyphagia	Polynomial	อาการกินจุ หิวบ่อย
8	Genital thrush	Polynomial	อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด
9	Visual blurring	Polynomial	สายตาวัวมัวมองไม่ชัดเจน
10	Itching	Polynomial	คันตามผิวหนัง
11	Irritability	Polynomial	อาการหงุดหงิดง่าย
12	Delayed healing	Polynomial	อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก
13	Partial paresis	Polynomial	อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน
14	Muscle stiffness	Polynomial	อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง
15	Alopecia	Polynomial	อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม
16	Obesity	Polynomial	อาการสะสมไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกินปกติ
17	Class	Polynomial	การเป็นโรคเบาหวาน

ส่วนที่ 2 ปรับรูปแบบของข้อมูลให้เหมาะสมสำหรับนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูล

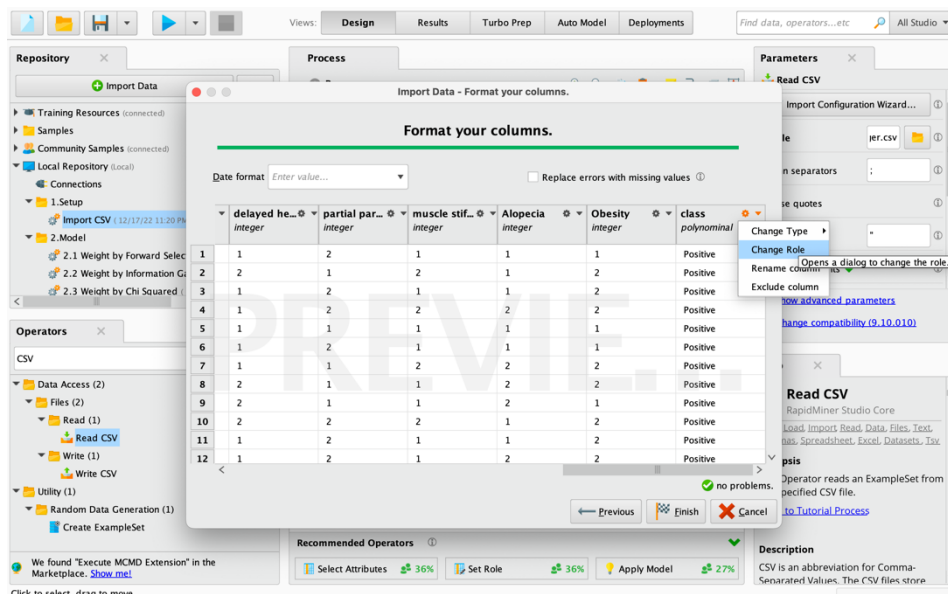
ในการวิจัยนี้มีการเตรียมข้อมูลในรูปแบบ Excel นามสกุล (.xlsx) เป็นหลัก โดยนำข้อมูลตั้งต้นมากำหนดค่าให้เหมาะสมก่อนนำเข้าโปรแกรม RapidMiner ดังนี้ กำหนดค่าให้เหมาะสมกับการวัดประสิทธิภาพโมเดลด้วยเทคนิค ซัพพอร์ทเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) โดยแปลงประเภทของข้อมูลที่เก็บไว้ในแต่ละคุณลักษณะจาก Polynomial เป็นประเภท Binominal โดยมีการจัดการกับข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 1 นำเข้าข้อมูลโดยใช้โปรแกรม RapidMiner Studio

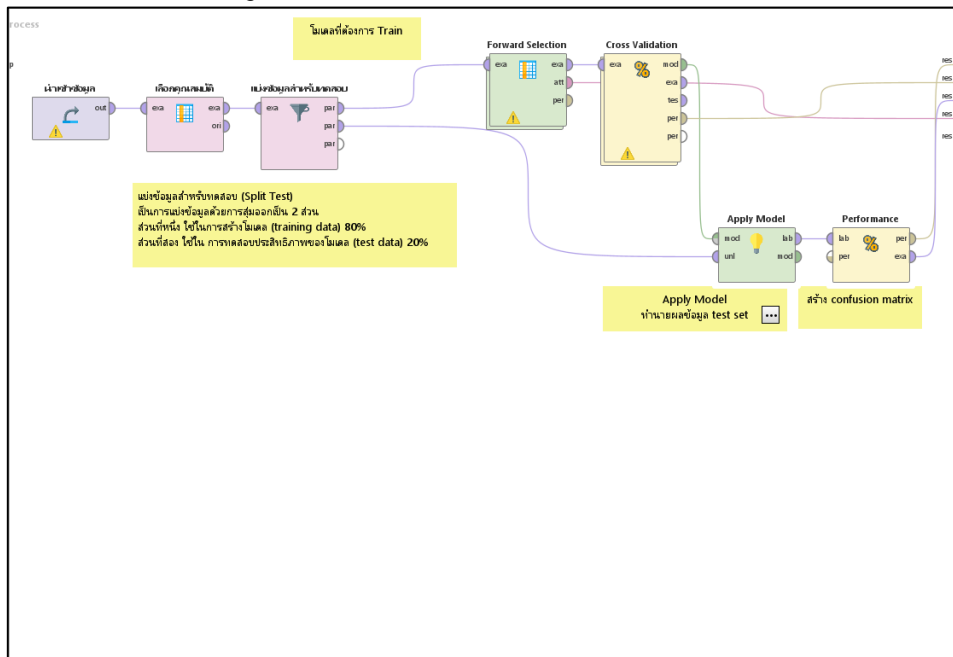
ส่วนที่ 3 กำหนดชนิดของคุณลักษณะสำหรับใช้เป็นคำตอบ

การวัดประสิทธิภาพการพยากรณ์จำเป็นต้องมีการสร้างคุณลักษณะที่เป็นคำตอบที่ จะต้องการจะสร้างโมเดลขึ้นมาพยากรณ์ หรือ เรียกว่า คลาส (Class) หรือตัวแปรตาม (Dependent variable)



ภาพที่ 2 เลือกคุณลักษณะสำหรับใช้เป็นคำตอบ

ส่วนที่ 4 การสร้างโมเดล (Modeling)



ภาพที่ 3 สร้างโมเดล

การสร้างโมเดลทำการกำหนดคุณสมบัติต่างๆ ในหน้าต่าง Process ดังนี้

4.1 ส่วนนำเข้าข้อมูล (Data set)

4.2 ส่วนเลือกคุณสมบัติ (Feature)

4.3 ส่วนแบ่งข้อมูล (Split Data) ทำการการแบ่งข้อมูลเป็นสองส่วน กำหนดให้ข้อมูลส่วนที่ 1 จำนวน 80% เป็นข้อมูลสำหรับสร้างโมเดล (Training Set) และข้อมูลส่วนที่ 2 จำนวน 20% เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล (Testing Set) กำหนดเงื่อนไขสำหรับการสุ่มตัวอย่างสำหรับใช้ทดสอบ ให้กำหนด local random seed = 1992

ส่วนที่ 5 วัดประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์

การวัดประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์จำเป็นต้องทดสอบความถูกต้องของโมเดลวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยเทคนิคซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) เพื่อตรวจสอบความประสิทธิภาพความแม่นยำของ การพยากรณ์การเป็นโรคเบาหวานใช้ Confusion Matrix มาคำนวณ การประเมินประสิทธิภาพของการพยากรณ์ปัจจัยที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพประกอบด้วย

ความแม่นยำของข้อมูล (Precision)

ค่าที่พยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวานได้ถูกต้อง (True Positive) เทียบกับค่าที่พยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวานได้ถูกต้อง (True Positive) และไม่ถูกต้อง (False Negative)

Recall (ความถูกต้องของการพยากรณ์)

ค่าความถูกต้องของการพยากรณ์ว่าจะเป็น จริง (True Positive) เทียบกับ จำนวนครั้งของเหตุการณ์ ที่เกิดขึ้นว่า จริง (True Positive) และ สิ่งที่พยากรณ์ไม่ตรงกับที่เกิดขึ้นจริง (False Negative) อธิบายได้ดังนี้ ค่าของการพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า เป็นโรคเบาหวาน เทียบกับ ค่าของการพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวาน กับ ค่าของการพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า ไม่เป็นโรคเบาหวาน

ความถูกต้อง (Accuracy) คือ การวัดความถูกต้องของการพยากรณ์ถูก โดยพิจารณาทุกกรณี อธิบายได้ดังนี้ โมเดลพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวานหรือไม่เป็นโรคเบาหวานได้ถูกต้องทั้งหมด เทียบกับค่าที่โมเดลพยากรณ์ว่าเป็นโรคเบาหวานถูกต้องและไม่ถูกต้อง

ความถ่วงดุล (F-measure) คือ ค่าเฉลี่ยของความแม่นยำและความถูกต้องของข้อมูลการพยากรณ์

True Positive คือ สิ่งที่การพยากรณ์ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง อธิบายได้ดังนี้ เป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า เป็นโรคเบาหวาน

True Negative คือ สิ่งที่การพยากรณ์ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง อธิบายได้ดังนี้ ไม่เป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า ไม่เป็นโรคเบาหวาน

False Positive คือ สิ่งที่การพยากรณ์ไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง อธิบายได้ดังนี้ ไม่เป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า เป็นโรคเบาหวาน

False Negative คือ สิ่งที่การพยากรณ์ไม่ตรงกับสิ่งที่เกิดขึ้น อธิบายได้ดังนี้ เป็นโรคเบาหวาน โมเดลพยากรณ์ว่า ไม่เป็นโรคเบาหวาน

ส่วนที่ 6 การประเมินผล

จากการดำเนินการลดคุณลักษณะของข้อมูลโดยใช้เทคนิควิธีต่าง ๆ การประเมินผล (Evaluation) เป็นขั้นตอนของการนำผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการพยากรณ์มาทำการทดสอบความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือของโมเดล โดยงานวิจัยครั้งนี้นำข้อมูลจากโมเดลการพยากรณ์ที่ผ่านกระบวนการลดมิติของข้อมูลโดยใช้การเลือกจากค่า Weight ที่มีความสัมพันธ์กันของข้อมูลน้อยที่สุดออกทีละค่า และผ่านการทดสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ของโมเดลด้วยวิธีการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด กำหนดให้ข้อมูลส่วนที่ 1 จำนวน 80% เป็นข้อมูลสำหรับสร้างโมเดล (Training Set) และข้อมูลส่วนที่ 2 จำนวน 20% เป็นข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล (Testing Set) การประเมินผลทำการวัดประสิทธิภาพของการพยากรณ์โดยใช้ Confusion Matrix แสดงผลได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 ผลประสิทธิภาพการพยากรณ์ของโมเดล หลังการลดจำนวนคุณลักษณะจากชุดข้อมูลสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล (Testing Set)

โมเดล	จำนวนคุณลักษณะ	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
1. Forward Selection	3	90.38%	92.19%	92.19%	92.19%
2. Information Gain Ratio (GR)	10	93.27%	92.54%	96.88%	94.66%
3. Chi Square	10	93.27%	92.54%	96.88%	94.66%
4. Correlation Based Feature Selection (CFS)	13	94.23%	93.94%	96.88%	95.38%
5. Information Gain (IG)	13	94.23%	93.94%	96.88%	95.38%
6. Evolutionary Selection	8	95.19%	98.36%	93.75%	96.00%
7. Backward Elimination	16	94.23%	95.31%	95.31%	95.31%

ส่วนที่ 7 สรุปผลการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน

สามารถสรุปผลประสิทธิภาพการพยากรณ์ของโมเดล จากการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน ผลการเปรียบเทียบการพยากรณ์ของโมเดล จากการเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือของโมเดลหลังลดจำนวนคุณลักษณะลง ซึ่งได้ค่าความน่าเชื่อถือของโมเดลไม่น้อยกว่าค่าเดิมก่อนดำเนินการลดจำนวนคุณลักษณะ

ตารางที่ 3 ผลประสิทธิภาพการพยากรณ์ของโมเดล ก่อนและหลังการลดจำนวนคุณลักษณะ

โมเดล	ก่อนลดจำนวนคุณลักษณะ		หลังลดจำนวนคุณลักษณะ	
	จำนวนคุณลักษณะ	F1-Score	จำนวนคุณลักษณะ	F1-Score
1. Forward Selection	16	91.59%	3	92.19%
2. Information Gain Ratio (GR)	16	94.19%	10	94.66%

โมเดล	ก่อนลดจำนวนคุณลักษณะ		หลังลดจำนวนคุณลักษณะ	
	จำนวนคุณลักษณะ	F1-Score	จำนวนคุณลักษณะ	F1-Score
3. Chi Square	16	94.19%	10	94.66%
4. Correlation Based Feature Selection (CFS)	16	94.19%	13	95.38%
5. Information Gain (IG)	16	94.19%	13	95.38%
6. Evolutionary Selection	16	94.44%	13	94.49%
7. Backward Elimination	16	93.68%	16	95.31%

ผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวานพบว่า โมเดล Forward Selection ให้ประสิทธิภาพในการลดจำนวนมิติของข้อมูลได้มากที่สุดจากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะของโรคเบาหวานลงเหลือ 3 คุณลักษณะ จากคุณลักษณะของโรคเบาหวานทั้งหมด 16 คุณลักษณะ โดยยังคงความถูกต้องในการพยากรณ์ไว้ ได้ผลประสิทธิภาพการพยากรณ์โรคเบาหวาน เป็นร้อยละ 92.19

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยพบว่าวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการคัดกรองโรคเบาหวาน หลังจากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงคุณลักษณะของโรคเบาหวานโดยทั้งหมด 16 คุณลักษณะ มีคุณลักษณะแต่ละคุณลักษณะที่มีค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ตัวแปรต้นที่ส่งผลต่อตัวแปรเป้าหมายที่ผู้วิจัยศึกษา ในงานวิจัยนี้คือ ผลการพยากรณ์การเป็นโรคเบาหวานและไม่เป็นโรคเบาหวาน พบว่าข้อมูลคุณลักษณะต่าง ๆ ที่นำมาวิเคราะห์จะมีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์การเป็นโรคเบาหวานและไม่เป็นโรคเบาหวานพบว่าคุณลักษณะที่มีค่าน้ำหนัก (Weight) ที่ส่งผลต่อตัวแปรเป้าหมายที่พบในแต่ละโมเดลเรียงตามค่าน้ำหนักจากมีค่ามากที่สุดไปน้อยที่สุดสามารถแจกแจงได้ดังนี้

โมเดล Forward Selection

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 3 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ เพศ (Gender), อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย (Polydipsia)

โมเดล Information Gain Ratio (GR)

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 10 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย (Polydipsia), อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), เพศ (Gender), อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis), อายุ (Age), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), อาการกินจุ หิวบ่อย (Polyphagia), อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม (Alopecia), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัดเจน (Visual blurring)

โมเดล Chi Square

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 10 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย (Polydipsia), , อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), เพศ (Gender), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis), อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss), อาการกินจุ หิวบ่อย (Polyphagia), อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม (Alopecia), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), อายุ (Age), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัดเจน (Visual blurring)

โมเดล Correlation Based Feature Selection (CFS)

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 13 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อาการกระหายน้ำหิวน้ำบ่อย (Polydipsia), , อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), เพศ (Gender), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis), อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss), อาการกินจุ

หิวบ่อย (Polyphagia), อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม (Alopecia), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัด (Visual blurring), อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง (Weakness), อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง (Muscle stiffness), อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด (Genital thrush), อายุ (Age)

โมเดล Information Gain (IG)

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 13 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อาการกระหายน้ำหิวบ่อย (Polydipsia), , อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), เพศ (Gender), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis), อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss), อาการกินจุหิวบ่อย (Polyphagia), อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม (Alopecia), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัด (Visual blurring), อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง (Weakness), อายุ (Age), อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง (Muscle stiffness), อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด (Genital thrush)

โมเดล Evolutionary Selection

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 13 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อายุ (Age), เพศ (Gender), อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), อาการกระหายน้ำหิวบ่อย (Polydipsia), อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss), อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง (Weakness), อาการกินจุหิวบ่อย (Polyphagia), อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด (Genital thrush), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัด (Visual blurring), อาการคันตามผิวหนัง (Itching), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก (Delayed healing), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis)

โมเดล Backward Elimination

จากการลดจำนวนมิติของคุณลักษณะลงเหลือ 16 คุณลักษณะ พบว่าคุณลักษณะ ที่มีค่าน้ำหนักที่ส่งผลต่อการพยากรณ์มีดังนี้ อายุ (Age), เพศ (Gender), อาการปัสสาวะบ่อย (Polyuria), อาการกระหายน้ำหิวบ่อย (Polydipsia), อาการอ่อนเพลียเหนื่อยง่ายไม่มีแรง (Weakness), อาการกินจุหิวบ่อย (Polyphagia), อาการโรคเชื้อราในช่องคลอด (Genital thrush), สายตาพร่ามัวมองไม่ชัด (Visual blurring), อาการคันตามผิวหนัง (Itching), อาการหงุดหงิดง่าย (Irritability), อาการเป็นแผลง่ายแผลหายยาก (Delayed healing), อาการเหน็บชาหรือภาวะอัมพาตเฉพาะส่วน (Partial paresis), อาการกล้ามเนื้อหดเกร็ง (Muscle stiffness), อาการการร่วงของผมเป็นหย่อม (Alopecia), อาการสะสมไขมันในส่วนต่างๆ ของร่างกายเกินปกติ (Obesity) ,อาการน้ำหนักลดโดยไม่ทราบสาเหตุ (Sudden weight loss)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์โรคเบาหวาน โดยมีข้อเสนอเพิ่มเติมดังนี้

1. ต้นแบบของการการเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญการพยากรณ์โรคเบาหวาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการพัฒนาและออกแบบซอฟต์แวร์ที่ใช้งานในการคัดกรองโรคได้จริง
2. การกำหนดคุณลักษณะของการพยากรณ์โรคเบาหวาน อาจมีการนำผลของวิธีที่ได้ผลลัพธ์ดีที่สุดมาพัฒนาคัดกรองผู้ป่วยแรกเริ่มโรคเบาหวานสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- อัจฉิมา มณฑาพันธุ์. (2562). *การเปรียบเทียบวิธีการคัดเลือกคุณลักษณะที่สำคัญในการปรับปรุงการพยากรณ์มะเร็งเต้านม*. ผลงานวิจัย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- ภาณุวัฒน์ เมฆะ, พลดิพงษ์ มูสิกอง, ฐิติภาส ผลากอง, พาสน์ ปราโมกษ์ชน และ พยุงศักดิ์ เกษมสำราญ. (2566). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลจำแนกภาพสำหรับโรคใบข้าวโพด. *วารสารแม่ใจเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม*, 9(2), 1-16.

- กฤตกนก ศรีพิมพ์สอ และ กิตติพล วิแสง. (2566). การพยากรณ์โรคเบาหวานด้วยเทคนิคเหมืองข้อมูล. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 10(1), 51-63.
- กองโรคไม่ติดต่อ กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2564). สืบค้นจาก <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents.php?tid=32&gid=1-020>
- สมาคมโรคเบาหวานแห่งประเทศไทย. (2564). *วารสารเบาหวาน*, 53(1).
- นงเยาว์ ไนอรุณ. (2564). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองการพยากรณ์ความเสี่ยงโรคหัวใจ และหลอดเลือดโดยใช้อัลกอริทึมเหมืองข้อมูล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 40 (2), 137-147.
- สาธิตา สุระธรรม และ พรศรี ศรีอำภุภาพร. (2564). การให้ความรู้และสนับสนุนช่วยเหลือเพื่อการจัดการตนเองของผู้เป็นเบาหวาน: กรณีศึกษาวัยรุ่นเบาหวานชนิดที่ 1. *วารสารพยาบาลสหภาพชาติไทย*, 14(2), 25-36.
- Early stage diabetes risk prediction dataset. (2020). *UCI Machine Learning Repository*. Retrieved from <https://doi.org/10.24432/C5VG8H>.
- รณิดา เตชะสุวรรณา, สุทัศน์ โชตนะพันธ์, กนิษฐา จำรูญสวัสดิ์, บัณฑิต ศรไพศาล และ ประวิช ตัญญูสิทธิสุนทร. (2563). ปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่สองในคนไทย. *วารสารควบคุมโรค*, 46(3), 268-279.
- สำเนา แก้วโบราณ, นิภาวรรณ สามารถกิจ และ เขมมาธิ มาสิงบุญ. (2562). ปัจจัยพยากรณ์พฤติกรรมป้องกันโรคเบาหวานในวัยรุ่นที่มีภาวะเสี่ยงต่อโรคเบาหวาน ในจังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารการพยาบาลและการดูแลสุขภาพ*, 37(2), 218-27.
- ธวัชระพงษ์ วงศ์สกุล. (2563). การกำหนดค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์เพื่อการตัดสินใจ. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์*, 1(2), 63-71.
- วรพรรณ เจริญชา. (2563). การตรวจสอบค่านอกเกณฑ์ในตัวอย่างสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงปกติโดยใช้สัมประสิทธิ์ความเบ้. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 25(1), 236-245.
- พนิดา สมบัติมาก, ภัสสร จันทรหอม, ศุภกร รัศมี, โอฬาร รุ่งมณีธรรมคุณ และ สายชล สินสมบุรณ์ทอง. (2562). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจำแนกเมื่อข้อมูลมีค่านอกเกณฑ์ในการทำเหมืองข้อมูล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 27(6), 975-985.
- กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2562). *แนวทางการเฝ้าระวังโรค ของกระทรวงสาธารณสุข*. กรุงเทพฯ: องค์การรับส่งสินค้าและวัสดุภัณฑ์.
- กระทรวงสาธารณสุข. (2561). *รายงานผลการสำรวจพฤติกรรมเสี่ยงโรคไม่ติดต่อและการบาดเจ็บ พ.ศ. 2561*. นทบุรี.
- ธีร์ธวัช แก้ววิจิตร, นิตยา เกิดประสพ และ กิตติศักดิ์ เกิดประสพ. (2559). การเพิ่มประสิทธิภาพซอฟต์แวร์เวกเตอร์รีเกรสชันในการพยากรณ์อนุกรมเวลา. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 36(4), 452-458.
- จิราพร เดชมา, วนิดา ดุรงค์ฤทธิชัย และ วิชุดา กิจจรธรรม. (2556). การศึกษาปัจจัยพยากรณ์ภาวะแทรกซ้อนให้ผู้ป่วยเบาหวานในชุมชนภายใต้ทฤษฎีการพยาบาลของคิง. *วารสารพยาบาลสาธารณสุข*, 27(2), 63-80.
- Maeda-Gutiérrez, V., Galván-Tejada, C. E., Cruz, M., Galván-Tejada, J. I., Gamboa-Rosales, H., García-Hernández, A., Luna-García, H., Gonzalez-Curiel, I., & Martínez-Acuña, M. (2021). Risk-Profile and Feature Selection Comparison in Diabetic Retinopathy. *Journal of personalized medicine*, 11(12), 1327.
- Kulkarni, A., Chong, D., & Batarseh, Feras A. (2020). 5 - Foundations of data imbalance and solutions for a data democracy, *Data Democracy*, 83-106.
- Nai-arun, N., & Moungrmai, M. (2020). Diagnostic Prediction Models for Cardiovascular Disease Risk using Data Mining Techniques. *Journal of ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 14(2), 113-121.
- Lukmanto, Rian B., Suhajito., Nugroho, A., & Akbar, H. (2019). Early Detection of Diabetes Mellitus using Feature Selection and Fuzzy Support Vector Machine. *Procedia Computer Science*, 157, 46-54.

- Rubaiat, S. Y., Rahman, M. M., & Hasan, M. K. (2018). Important Feature Selection & Accuracy Comparisons of Different Machine Learning Models for Early Diabetes Detection. *International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET), Dhaka, Bangladesh*, 1-6.
- Suksawatchon, U., Suksawatchon, J., & Lawang, W. (2018). Health Risk Analysis Expert System for Family Caregiver of Person with Disabilities using Data Mining Techniques. *ECTI Transactions on Computer and Information Technology*, 12(1), 62-72
- Assari, R., Azimi, P., & Taghva, M. R. (2017). Heart Disease Diagnosis Using Data Mining Techniques. *International Journal of Economics & Management Science*, 6(3), 72-79.
- Tuso P. (2014). Prediabetes and lifestyle modification: time to prevent a preventable disease. *Perm J. Summer*, 18(3), 88-93.
- Ali, J., Khan, R., Ahmad, N., & Maqsood, I. (2012). Random forests and decision tree. *International Journal of Computer Science*, 9(5), 272-278.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Journal of Machine Learning*, 5-32.

Translated Thai References

- Montaphan, A. (2019). *Comparison of Feature Selection Methods to Improve Breast Cancer Prediction. Name of Researcher*. School of Information Technology, Sripatum University.
- Mekha, P., Musikong, P., Palakong, N., Pramokchon, P., & Kasemsumran, P. (2023). Performance Comparison of Image Classification Models for Corn Leaf Disease. *Maejo Information Technology and Innovation Journal (MITIJ)*, 9(2), 1-16.
- Sripimsor, K., & Wisaeng, K. (2023). Diabetes Mellitus by Using Data Mining Techniques. *Journal of Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University*, 10(1), 51-63.
- Division of Non Communicable Disease, Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2021). Retrieved from <http://www.thaincd.com/2016/mission/documents.php?tid=32&gid=1-020>.
- Diabetes Association of Thailand. (2021). *Thai Diabetes Bulletin*, 53(1).
- Nai-arun, N. (2021). The Performance Comparison of Cardiovascular Risk Prediction Models using Data Mining Algorithms. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 40(2), 137-147.
- Suratham, S., & Sriussadaporn, P. (2021). Diabetes Self-Management Education and Support: Case Study of Type 1 Diabetes Adolescents. *Thai Red Cross Nursing Journal*, 14(2), 25-36.
- Techasuwan, R., & et al. (2020). Risk Factors for Developing Type 2 Diabetes in Thai People. *Disease Control Journal*, 46(3), 268-279.
- Kaewboran, S., Samartkit, N., & Masingboon, K. (2019). Factors Predicting Diabetes Prevention Behaviors Among Adolescents at Risk for Type 2 Diabetes in Samutprakan Province. *Journal of Nursing and Therapeutic Care*, 37(2), 218-27.
- Wongsakul, T. (2020). Determining Weights of Criteria for Decision Making. *Journal of Industrial Technology Buriram Rajabhat University*, 1(2), 63-71.
- Jareankam, W. (2020). A Detection of Outliers in Random Sample from Normally Distributed Population Using Coefficient of Skewness. *Burapha Science Journal*, 25(1) 236-245.
- Sombatmak, P., Janhom, P., Ratsamee, S., Rungmaneethummakun, O., & Sinsomboonthong, S. (2019). Performance Comparison of Data Mining's Classification Methods on Data Set with Outliers. *Thai Science and Technology Journal*, 27(6), 975-985.

- Department of Disease Control, Ministry of Public Health. (2019). *Disease surveillance of the Ministry of Public Health*. Bangkok: Express Transportation Organization.
- Ministry of Public Health. (2018). *Report on the results of a survey of risky behaviors for non-communicable diseases and injuries 2018*. Nonthaburi.
- Kaewwijit, T., & et al. (2016). The Improvement of Support Vector Regression to Forecast Time Series. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, 36(4), 452-458.
- Dechma, J., & et al. (2016). The Study of Predictive Factors' Complications of Diabetes Mellitus Client in Community Under King's Nursing Theory. *The Journal of Public Health Nursing*, 27(2), 63-80.

Received: Oct 21, 2023

Revised: Dec 12, 2023

Accepted: Dec 22, 2023

ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหววัตถุด้วยการประมวลผลภาพ

MOTION DETECTION SYSTEM OF MOVING OBJECTS USING IMAGE PROCESSING

วรวิทย์ กังหัน¹, เกียรติยศ ยาทา², ชลธิศ พิติภูมิสุขสันต์^{3*}, อภิชาติ ไชยพร⁴¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตและอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร⁵สาขาวิชาวิศวกรรมสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สถาบันโคเซ็นแห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังWorawut Kunghun¹, Kiattiyot Yata², Chonlathit Pitipoomsuksan^{3*}, Apichat chaiyaporn⁴¹Department of Teacher Training in Mechanical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok²Mechanical engineering, faculty of engineering, Thonburi University³Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon⁴Department of Mechatronics Engineering, KOSEN-KMITL, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

*Corresponding author: chonlathit.p@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการตรวจจับการเคลื่อนไหววัตถุด้วยการประมวลผลภาพโดยนำสัญญาณจากระบบการประมวลผลทางภาพใช้ไปควบคุมระบบไฟฟ้าต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ สำหรับการตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้องที่มีการควบคุมปริมาณแสงคงที่ การคำนวณใช้ข้อมูลเชิงเมทริกซ์จากจำนวนพิกเซลในเฟรมภาพโดยการรับภาพมาจากกล้องเว็บแคม การทดลองและวิเคราะห์ผลจากการเปรียบเทียบค่าจำนวนจุดภาพที่เกิดขึ้นจากลักษณะพฤติกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ที่เป็นธรรมชาติ โดยค่าเฉลี่ยของการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ที่ได้ทดลองจะมีค่ามากกว่าเท่ากับ 230,000 พิกเซล จากการตรวจจับความเคลื่อนไหวของมนุษย์จำนวน 1 คน ภายในห้องขนาด 8 x 16 เมตร และค่าความสว่างที่ 70 ลักซ์ ควบคุมระบบไฟฟ้าต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ เพื่ออำนวยความสะดวก และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการใช้งานในพื้นที่ดังกล่าว ทำให้สามารถช่วยลดการใช้การไฟฟ้า และช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง เพื่อเป็นทางเลือกทดแทนวิธีการใช้เซนเซอร์การตรวจจับที่มีราคาที่สูง และระบบการประมวลผลทางภาพยังสามารถบันทึกเป็นรูปแบบกล้องวงจรปิดได้อีกทาง

คำสำคัญ : เทคนิคการประมวลผลภาพ, การตรวจจับการเคลื่อนไหว, ค่าความเคลื่อนไหว

Abstract

This research introduces motion detection through image processing by utilizing signals from an image processing system to control various electrical systems automatically. For motion detection in a room with controlled constant lighting, calculations involve matrix-based data derived from pixel counts in image frames taken by a webcam. Experimental trials and result analysis involve comparing the number of image points generated by various natural human behaviors. The average motion detection value for a single person in the experiment exceeds 230,000 pixels. The motion of a single person is detected within an 8 x 16-meter room with controlled lighting at 70 Lux. The detected motion is used to

automatically control various electrical systems for convenience and to reduce electricity consumption in unoccupied areas. This not only helps decrease overall electricity usage but also contributes to mitigating global warming. Furthermore, it serves as a cost-effective alternative to expensive sensor-based detection methods. The image processing system can also be configured to record in closed-circuit camera format.

Keywords : Image Processing, Motion Detection, Index Detection

บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีในการตรวจจับได้เข้ามามีบทบาทในการใช้ชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นในการทำงานหรือในการใช้ชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor Technology) เช่น เซนเซอร์ตรวจจับวัตถุ (Proximity Sensor), อุปกรณ์ที่ใช้แสงเพื่อตรวจจับ (LiDAR Sensor) และการสแกนเนอร์ด้วยการยิงแสงเลเซอร์ (Laser Scanner) เซนเซอร์ที่ใช้ลำแสง (Photo sensor) และเซนเซอร์แสงอินฟราเรด (Infrared Sensor) เป็นต้น ซึ่งเซนเซอร์ที่มีความแม่นยำสูงมักมีราคาสูง เนื่องจากการออกแบบและผลิตเซนเซอร์ที่ให้ค่าที่แม่นยำต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและใช้วัสดุที่มีคุณภาพสูง ทำให้มีต้นทุนการผลิตที่สูงตาม เซนเซอร์ที่มีความสามารถในการค้นหาวัตถุที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น การตรวจจับวัตถุที่เคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วและซับซ้อนต้องใช้เซนเซอร์ที่สามารถทำงานในเวลาเรียลไทม์และมีที่เจอร์ที่มากพอเพื่อค้นหาวัตถุ นั้น ๆ และราคาของเซนเซอร์ยังขึ้นอยู่กับความสามารถทางเทคนิคอื่น ๆ ที่ระบบมี เช่น การสื่อสารไร้สาย ความสามารถในการทำงานในสภาวะแวดล้อมที่ทนทาน ความสามารถในการทำงานในเชิงพาณิชย์ และความสามารถในการทำงานร่วมกับระบบอื่น ๆ แม้ว่าหลักการใช้เซนเซอร์ความแม่นยำสูงพร้อมกับกล้องดิจิทัลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม มีวิธีอื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยี AI ที่ทันสมัยสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผลรูปภาพจากกล้อง และทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ราคาแพง (W.-S. Kim, et al, 2020) ได้สร้างการตรวจจับเส้นทางสำหรับ

การเดินทางอัตโนมัติในสวนแอปเปิ้ล ในวิธีการที่ถูกรับรองนี้ใช้เครือข่ายประสาทเชิงลึก (CNN) ที่ใช้พีซีในการจำแนกภาพเพื่อบริเวณของเส้นทาง ซึ่งรวมถึงการตัดต่อภาพที่เป็นพัทซ์จากรูปภาพนำเข้าสู่ด้วยหน้าต่างเลื่อนและสร้างแผนที่คะแนนเส้นทางด้วย CNN 4 ชั้น สำหรับการจำแนกต้นไม้และเส้นทาง การแบ่งส่วนของพื้นที่เส้นทาง และการตรวจจับเส้นทางเป้าหมายพร้อมกับการกำหนดเส้นขอบ (Y. Shin, et al, 2020) ได้พัฒนากลยุทธ์การประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการฝึกฝนเครือข่ายประสาทลึกอย่างมีประสิทธิภาพ เครือข่ายประสาทเชิงลึกสกัดและตรวจจับลักษณะของพื้นที่ในภาพสำหรับการตรวจจับรอยร้าวทางถนนแล้วจึงจำแนกภาพตามลักษณะ (H. Fujiyoshi, et al, 2019) ได้สาธิตว่าการเรียนรู้เชิงลึกถูกนำไปใช้ในงานการระบุรูปภาพแต่ละภาพ รวมถึงการอธิบายการซับซ้อนอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยีการระบุปัญหาที่เกี่ยวข้อง (P. M. Blok, et al 2019)

ได้ตรวจสอบความเป็นไปได้ของอัลกอริทึมการทำเคลื่อนที่แบบนุ่มนวลสำหรับหุ่นยนต์ในสวนแอปเปิ้ลโดยใช้สแกนเนอร์ LiDAR 2 มิติ การศึกษานี้เน้นที่การนำทางของหุ่นยนต์ในแถวและไม่ได้พูดถึงการเลี่ยงอัตโนมัติหรือการตรวจจับอุปสรรคและพื้นที่ที่หวาดหวั่น จากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้นรวมถึงการใช้เซนเซอร์ที่ทันสมัยหรือการประมวลผลภาพที่ซับซ้อนด้วยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งต้องการชุดข้อมูลขนาดใหญ่ วิธีอื่น ๆ

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมาใช้ทดแทนเซนเซอร์ เช่น (ทรงพล นามคุณ, 2557) ได้สร้างระบบรักษาความปลอดภัยที่פקอาศัย โดยใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพจากระบบกล้องวงจรปิดในที่פקอาศัย โดยประยุกต์ใช้งานร่วมกับหุ่นยนต์รักษาความปลอดภัยที่สามารถติดตามการเคลื่อนที่และบันทึกภาพผู้บุกรุกได้ระบบเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตและระบบโทรศัพท์เพื่อแจ้งเตือนการบุกรุกไปยังเจ้าของหรือหน่วยงานรักษาความปลอดภัย ซึ่งจะทำให้ระบบรักษาความปลอดภัยในที่פקอาศัยและการติดตามผู้ทำผิดมีประสิทธิภาพมากขึ้น (ชูไฮดี สนิ และคณะ, 2563) ได้นำเสนอตัวตรวจจับรถไฟได้ด้วยหลักการประมวลผลสัญญาณวิดีโอสำหรับเครื่องกั้นทางอัตโนมัติ ตรวจจับรถไฟที่มีความเร็วไม่เกิน 120 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระบบสามารถตรวจจับรถไฟได้เป็นอย่างดี และมีความแม่นยำ โดยเครื่องกั้นทางสามารถทำงานได้ก่อนขบวนรถเคลื่อนที่มาถึงจุดตัดผ่านทางรถไฟ จึงถือได้ว่าเป็นเครื่องมือในการช่วยป้องกันอุบัติเหตุ ลดการพึ่งพาเทคโนโลยีที่มีราคาสูง (บอย และนรภัทร, 2564) การตรวจจับและแจ้งเตือนไฟไหม้หรืออัคคีภัยในอาคารไปจนถึงไฟป่า ด้วยการนำเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ โดยระบบมีอัตราความแม่นยำในการตรวจจับร้อยละ 40 อัตราความผิดพลาดที่ตรวจจับไฟไหม้ไม่ได้ร้อยละ 40 และมีอัตราการตรวจจับผิดพลาดในส่วนที่ไม่ใช่ไฟไหม้ร้อยละ 50 (ภาณุวัฒน์ และสัญญา, 2564) ได้

พัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ โดยใช้กระบวนการเตรียมภาพในการแปลงภาพเป็นเฟรมต่อเนื่องเพื่อใช้สำหรับการนำภาพไปประมวลผลภาพ พบว่า การตรวจจับควันไฟนั้น มีค่าความผิดพลาดในการตรวจจับอยู่ที่ 36.67% แต่จะสามารถตรวจจับควันไฟได้ในเวลาที่มีแสงเพียงพอเท่านั้นจึงจะทำให้การตรวจจับควันนั้นมีประสิทธิภาพ จากงานวิจัยที่กล่าวมาเป็นการใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพแทนการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ (Sensor Technology) ที่มีราคาสูง

ในบทความนี้นำเสนอการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพเพื่อนำสัญญาณจากระบบการประมวลผลทางภาพไปควบคุมระบบไฟฟ้าหรือใช้สำหรับนำสัญญาณไปสั่งการในรูปแบบอัตโนมัติ หรือไปทำการแจ้งเตือนความปลอดภัยได้อีกทาง โดยใช้ระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวในห้อง หรือพื้นที่โล่งแจ้ง เพื่ออำนวยความสะดวก และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการใช้งานในพื้นที่ดังกล่าว ทำให้สามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้า และช่วยลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง เพื่อเป็นทางเลือกทดแทนวิธีการใช้เซนเซอร์การตรวจจับที่มีราคาที่สูง และระบบการประมวลผลทางภาพยังสามารถบันทึกเป็นรูปแบบกล้องวงจรปิดได้อีกทาง

วิธีดำเนินการวิจัย

การรับภาพ และการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพ

ในการออกแบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพโดยใช้โปรแกรม MATLAB R2022b ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 ระบบบันทึกภาพ (Image Capture) โดยใช้กล้อง Webcam ยี่ห้อ Logitech รุ่น C920 ซึ่งข้อมูลภาพที่ใช้ประมวลผลจำเป็นต้องใช้กล้องที่มีการเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่องจึงเลือกใช้วีดีโอ 30 ภาพต่อวินาที ความละเอียดภาพ 1280H x 720P โดยทำการบันทึกภาพจากวีดีโอในชนิดอาร์จีบี (RGB color model) [9-10] คือ ภาพ 3 สี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ความละเอียดของภาพ 640 x 480 พิกเซล Frame Rate 30 FPS

ขั้นตอนที่ 2 การแปลงชนิดของภาพอาร์จีบี (RGB color model) จากขั้นตอนที่ 1 เป็นชนิดภาพที่มีระดับสีเทา (Grayscale Image) ที่ระดับความเข้มสีเทา โดยมีค่าสีระหว่าง 0-255 (8-bit) โดยใช้สมการในการแปลงภาพ [11] ดังสมการที่ 1

$$Gray = 0.299(R) + 0.587(G) + 0.114(B) \quad (1)$$

เมื่อ R คือ ค่าสีแดง ณ จุดที่ต้องการหา
 G คือ ค่าสีเขียว ณ จุดที่ต้องการหา
 B คือ ค่าสีน้ำเงิน ณ จุดที่ต้องการหา

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเทรชโฮลด์ (threshold) จากขั้นตอนที่ 2 เพื่อเปลี่ยนเป็นภาพชนิดภาพไบนารี (Binary Image) มีความเข้ม 2 ค่าเท่านั้น คือ 0 หมายถึง พิกเซลนั้นจะแสดงสีดำ และ 1 หมายถึง พิกเซลนั้นจะแสดงสีขาว เพื่อหาค่าของเทรชโฮลด์จากภาพ และใช้สมการเทรชโฮลด์ [12] ดังสมการที่ 2 การแปลงภาพในกระบวนการประมวลผลภาพ

$$\begin{aligned} g(x, y) &= 0; & f(x, y) < T \\ g(x, y) &= 255; & f(x, y) \geq T \end{aligned} \quad (2)$$

เมื่อ $g(x, y)$ คือ ค่าระดับสีเทาในจุดพิกเซลนั้นที่ถูกแปลง (มีค่า 0 กับ 1)
 $f(x, y)$ คือ ค่าระดับสีเทาในจุดพิกเซลนั้น
 T คือ ค่าเทรชโฮลด์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการประมวลผลตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ซึ่งภาพที่ได้ออกมาจะเป็นภาพความแตกต่าง (Different Image) ดังแสดงในภาพที่ 1 ของความเข้มข้นสีในเชิงเมทริกซ์ของทั้ง 2 ภาพในแต่ละพิกเซล หรือเดลด้าความเข้มข้นสีในแต่ละพิกเซล ดังสมการที่ 3

$$\Delta[Diff] = [(Im g1) - (Im g2)] \tag{3}$$

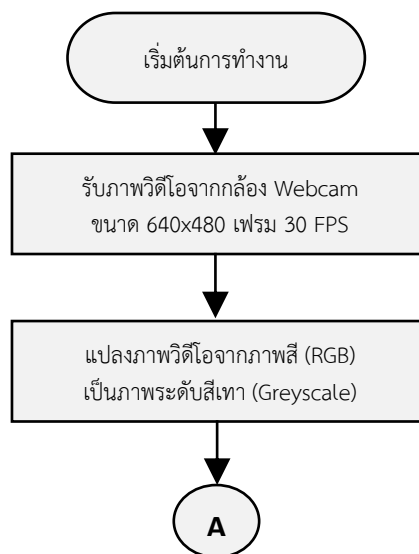
เมื่อ $(Im g1)$ คือ เมทริกซ์รูปภาพที่ 1
 $(Im g2)$ คือ เมทริกซ์รูปภาพที่ 2



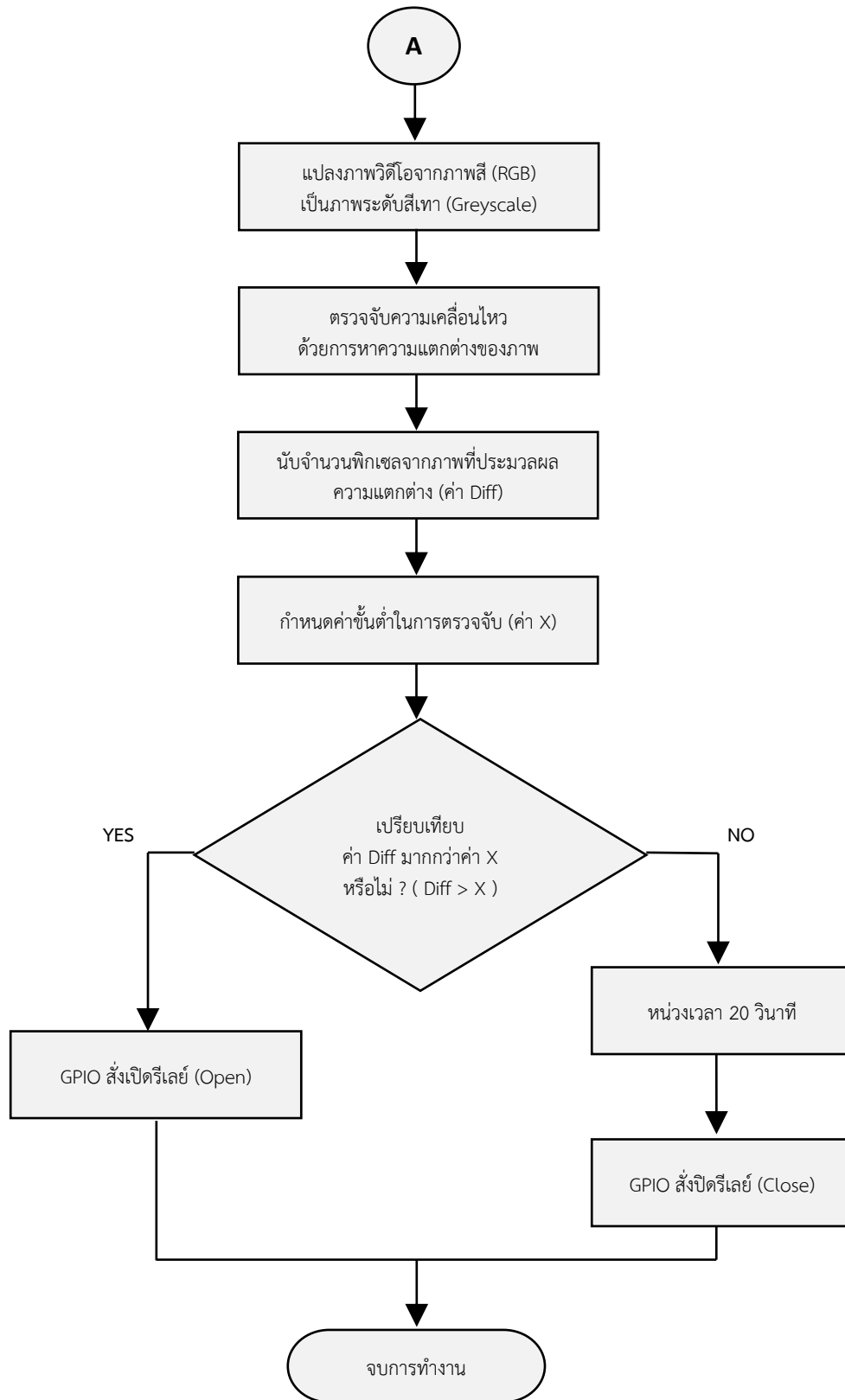
ภาพที่ 1 ผลลัพธ์ตัวแปร Diff ในรูปแบบข้อมูลภาพ

ขั้นตอนที่ 5 หลังจากที่ได้ภาพความแตกต่าง จากขั้นตอนที่ 4 ทำการนับและคำนวณพิกเซลสีขาวที่เกิดขึ้นในภาพ ซึ่งจะได้ค่าความแตกต่างของภาพ (Constant Different) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอเรียกว่า ค่าการตรวจจับความเคลื่อนไหว (Index Detection) เพื่อความง่ายต่อการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 กำหนดค่าขั้นต่ำของค่าการตรวจจับความเคลื่อนไหว (Index Detection) ซึ่งเมื่อค่าการตรวจจับความเคลื่อนไหวมีค่ามากกว่าที่กำหนดค่าขั้นต่ำ โปรแกรมจะส่งสัญญาณ GPIO แรงดัน 5 VDC ไปที่รีเลย์ เพื่อสั่งการให้ควบคุมระบบไฟฟ้าต่าง ๆ แบบอัตโนมัติ แต่ถ้าค่าการตรวจจับความเคลื่อนไหวน้อยกว่าค่าขั้นต่ำของการตรวจจับ โปรแกรมจะหยุดส่งสัญญาณ GPIO แรงดัน 5 VDC ไปที่รีเลย์ทันที ดังแสดงในภาพที่ 2



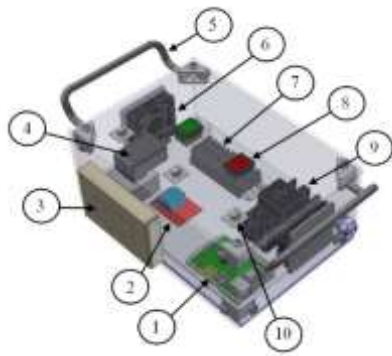
ภาพที่ 2 Flowchart การทำงานโปรแกรมของระบบตรวจจับการเคลื่อนไหววัตถุด้วยการประมวลผลภาพ



ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหววัตถุด้วยการประมวลผลภาพ (ต่อ)

ขั้นตอนการทดลอง

โครงสร้างเครื่องการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพ



ภาพที่ 3 เครื่องการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพ

จากภาพที่ 3 ส่วนประกอบโครงสร้างการตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพ ปิด-เปิด ระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ดังต่อไปนี้

- หมายเลข 1 บอร์ดควบคุม Raspberry Pi 3 Model B
- หมายเลข 2 บอร์ดรีเลย์ (Relay Module)
- หมายเลข 3 ปลั๊กไฟสำหรับต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า
- หมายเลข 4 หม้อแปลงไฟสำหรับต่อไฟเข้าบอร์ดควบคุม
- หมายเลข 5 ด้ามจับเครื่อง

- หมายเลข 6 พัดลมระบายอากาศ
- หมายเลข 7 เต้าต่อสายไฟ (Terminal Block)
- หมายเลข 8 สวิตช์เปิด-ปิดเครื่อง และสวิตช์บายพาส
- หมายเลข 9 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
- หมายเลข 10 สัญญาณไฟบอกสถานะของเครื่อง

การติดตั้งกล้องในการทดลอง จะติดตั้งกล้องในมุม Top View หรือมุมมองของกล้องวงจรปิด คือ ติดอยู่มุมห้อง ที่ความสูง 2.5 เมตร เพื่อมุมมองในภาพที่จะใช้ในโปรแกรมตรวจจับเป็นมุมกว้างและสามารถมองเห็นได้อย่างทั่วทั้งห้อง ห้องที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 8 เมตร x 16 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การติดตั้งกล้อง และห้องที่ใช้ในการทดลอง

จากการตรวจจับการเคลื่อนไหว ค่าการตรวจจับจะแปรผันกับจำนวนมนุษย์ คือ เมื่อมีมนุษย์เพิ่มขึ้น ค่าการตรวจจับจะเพิ่มขึ้นตาม จากตารางที่ 1 ได้ทำการตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในห้องเรียน ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งเป็นสถานที่ที่มีจำนวน

นักศึกษาใช้งานอยู่มาก แต่การทดลองนี้ต้องการค่าขั้นต่ำที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานโปรแกรมตรวจจับ ดังนั้นการทดลองจะมุ่งเน้นไปที่การตรวจจับที่ปริมาณคนน้อยที่สุดหรือก็คือหนึ่งคน



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการทดลองเบื้องต้นในปริมาณคนจำนวนมากกว่า 10 คนขึ้นไป

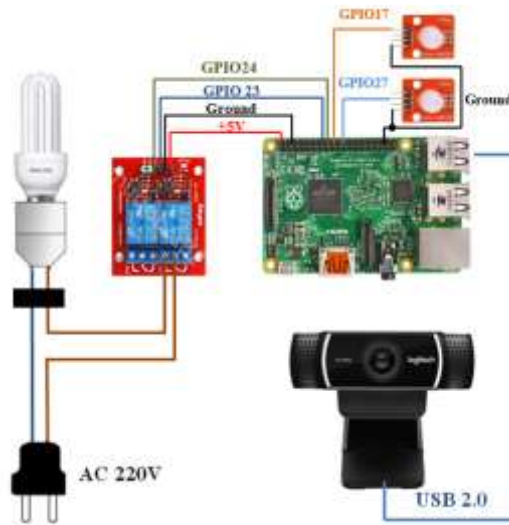
ตารางที่ 1 ค่าการตรวจจับจำนวนคนที่ใช้ในการทดลองภายในห้องเรียน

จำนวนคน	ค่าการตรวจจับ (Index Detection)
0	205312
1	286752
3	578163
>10	12640531

การตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยการประมวลผลภาพ ปิด-เปิด ระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวในห้อง เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ คือ หลอดไฟ ดังแสดงในภาพที่ 6 เพราะ การตรวจจับของงานวิจัยนี้ใช้การเปรียบเทียบภาพ ดังนั้นเรื่องแสงไฟจึงมีส่วนในการตรวจจับการเคลื่อนไหว

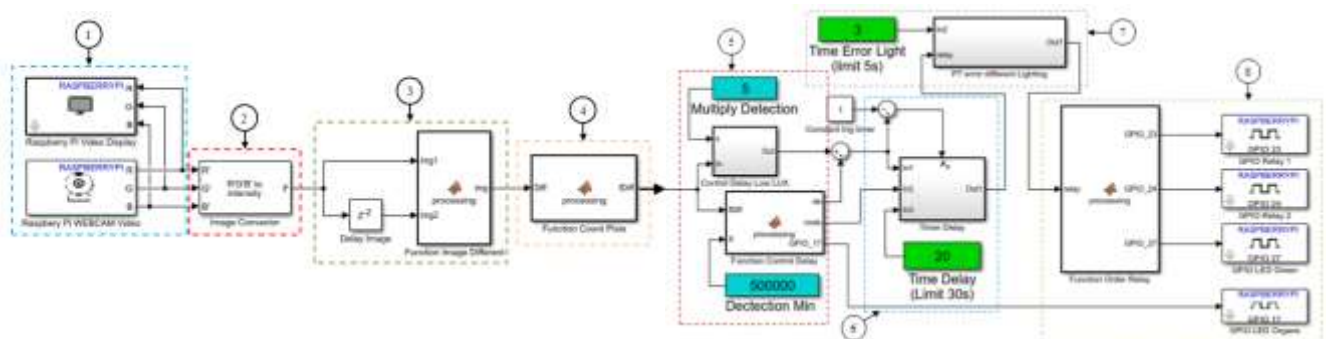


ภาพที่ 6 การติดตั้งหลอดไฟเพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 7 ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยภาพประมวลผลภาพ

จากภาพที่ 7 แสดงภาพรวมระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยภาพประมวลผลภาพ ปิด-เปิด ระบบไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบการตรวจจับการเคลื่อนไหวในห้องในขั้นตอนการออกแบบนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1. การออกแบบชุดประมวลผลภาพ 2.การออกแบบชุดสั่งการใช้งานรีเลย์3.การออกแบบชุดควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า และ 4.การออกแบบชุดสั่งงานไฟ LED บอกสถานะของเครื่อง



ภาพที่ 8 โปรแกรมตรวจจับที่พัฒนาบน Simulink และการแบ่งส่วนการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรม

จากภาพที่ 8 โปรแกรมตรวจจับที่พัฒนาบน Simulink และการแบ่งส่วนการทำงานต่าง ๆ ของโปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวด้วยภาพประมวลผลภาพ ดังต่อไปนี้

หมายเลข 1 การรับภาพจากกล้อง

หมายเลข 2 การแปลงภาพจากภาพสีเป็นภาพสีเทา

หมายเลข 3 การเปรียบเทียบภาพ

หมายเลข 4 การนับจำนวนพิกเซลของภาพ

หมายเลข 5 การประมวลผลค่าตัวเลขในการตรวจจับ

หมายเลข 6 การนับเวลาถอยหลังเพื่อปิดการใช้งานรีเลย์

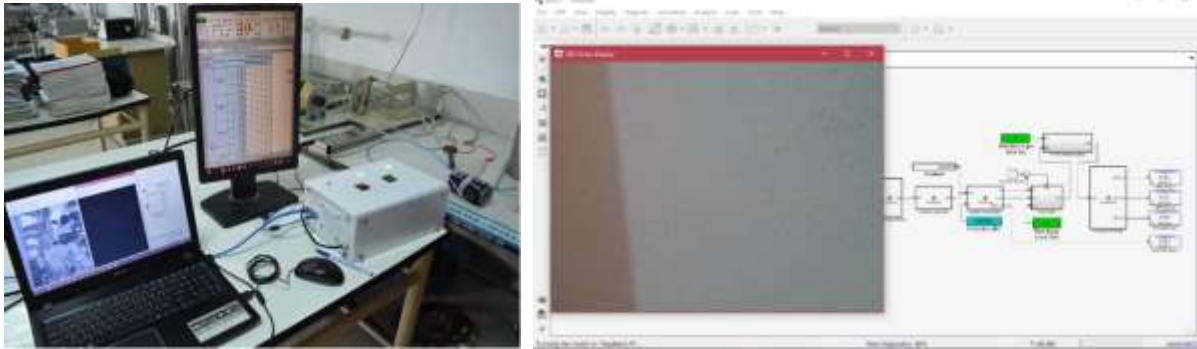
หมายเลข 7 การป้องกันการตรวจจับของภาพจากแสงเมื่อหลอดไฟหยุดทำงาน

หมายเลข 8 การสั่งงาน GPIO เพื่อควบคุมรีเลย์

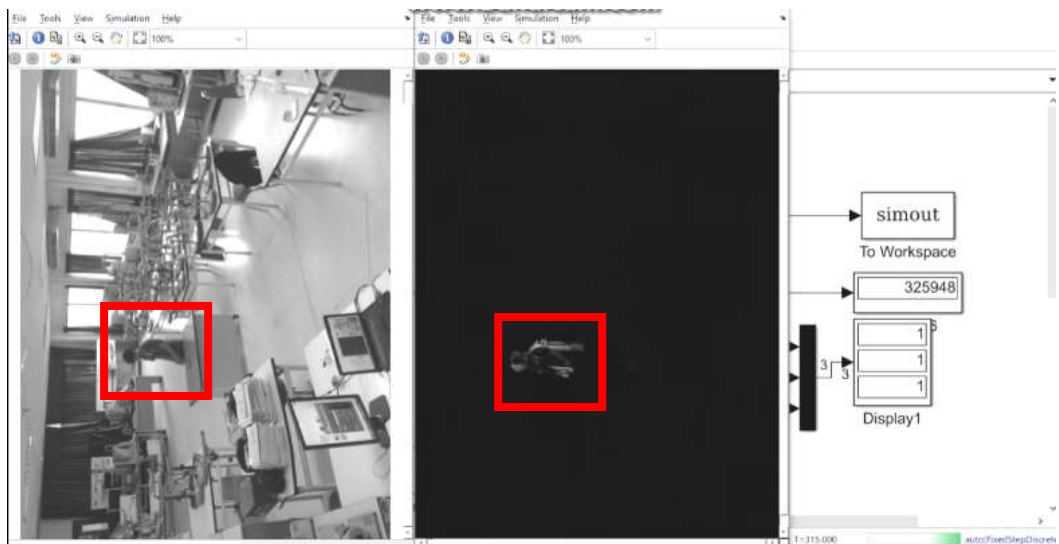
การทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อหาค่าขั้นต่ำของการตรวจจับ (Minimum Index Detection) ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานโปรแกรมตรวจจับ ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยตรวจจับการเคลื่อนไหวจำนวน 1 คน จะวัดผลจากลักษณะท่าทางการ

เคลื่อนไหวพื้นฐานของมนุษย์ในระยะต่าง ๆ เป็นเวลา 5 วินาที จะเก็บผลจากค่าการตรวจจับการเคลื่อนไหวต่าง ๆ เป็นหลัก อ้างอิงกับข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ ระยะทาง ขนาดของมนุษย์ และความสว่างของแสง ดังแสดงในภาพที่ 10

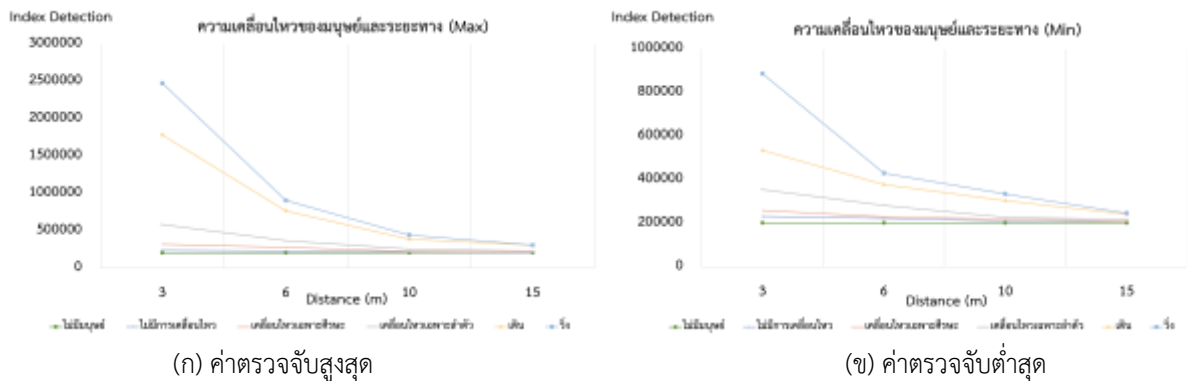


ภาพที่ 9 การตรวจจับการเคลื่อนไหว



ภาพที่ 10 โปรแกรมการตรวจจับการเคลื่อนไหว

การทดลองที่ 1 ระหว่างความเคลื่อนไหวของมนุษย์และระยะทาง โดยการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เช่น วิ่ง เดิน เคลื่อนไหวเฉพาะลำตัว เคลื่อนไหวเฉพาะศีรษะ ไม่มีการเคลื่อนไหว และไม่มีมนุษย์ ระยะทาง ได้แก่ 3, 6, 10 และ 15 เมตร ตามลำดับ ที่ความสว่าง 70 Lux พบว่า การตรวจจับตั้งแต่ 10 เมตร ขึ้นไป ในท่าทางเคลื่อนไหวเล็กน้อย จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันทำให้มีปัญหาในการกำหนดตรวจจับขั้นต่ำที่จะใช้ในการประมวลผล ซึ่งจากการประเมินค่าขั้นต่ำในส่วนของไม่มีมนุษย์จะอยู่ระหว่าง 200,000 - 225,000 พิกเซล ในค่าระหว่างนี้ยังไม่รวมการผิดพลาดของการตรวจจับ เช่น การเคลื่อนไหวของผ้าม่านภายในห้อง ดังแสดงในภาพที่ 11 (ก) และค่าขั้นต่ำของการตรวจจับ (Minimum Index Detection) เท่ากับ 230,000 พิกเซล โดยพิจารณาจากการเคลื่อนไหวส่วนศีรษะที่ระยะ 6 เมตร การเคลื่อนไหวลำตัวที่ระยะ 10 เมตร การเดินที่ระยะทาง 15 เมตร เพราะในข้อมูลการทดลองค่าการตรวจจับท่าทางต่าง ๆ ในช่วง 200,000 - 240,000 พิกเซล มีการเปลี่ยนแปลงของค่าใกล้เคียงกับตอนที่ไม่มีมนุษย์อยู่ในห้อง ซึ่งอาจจะเกิดความผิดพลาดในการตรวจจับพบมนุษย์ ดังนั้นค่าการตรวจจับช่วงที่ไม่มีมนุษย์เป็นค่าตั้งต้นบวกประมาณ 7 เปอร์เซนต์จากค่าเฉลี่ยในขณะที่ไม่มีมนุษย์ ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข)

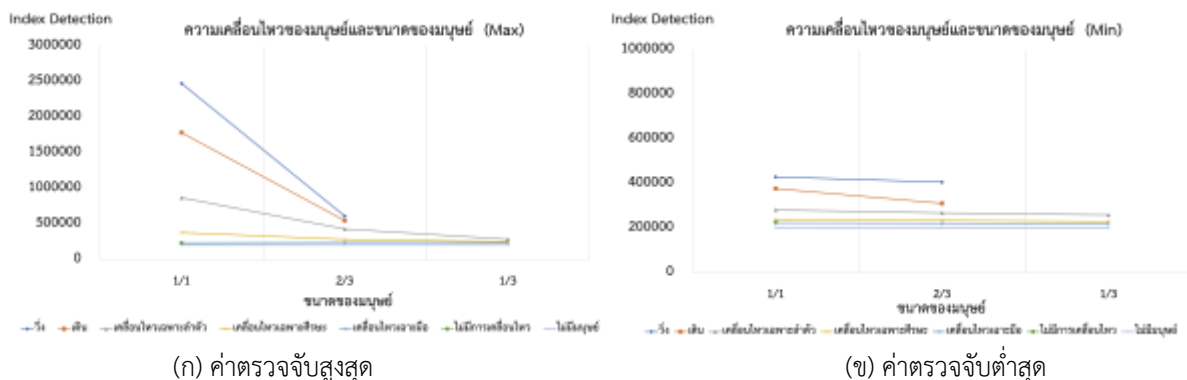


(ก) ค่าตรวจจับสูงสุด

(ข) ค่าตรวจจับต่ำสุด

ภาพที่ 11 การทดลองระหว่างความเคลื่อนไหวและระยะทาง

การทดลองที่ 2 ระหว่างความเคลื่อนไหวของมนุษย์และขนาดของมนุษย์ โดยกำหนดขนาดของมนุษย์ในการตรวจจับดังต่อไปนี้ 1/1 คือ เต็มตัว เช่น เดินหรือวิ่ง 2/3 คือ กรณิเดินผ่านโต๊ะภายในห้อง และ 1/3 คือการนั่งด้านหลังโต๊ะภายในห้อง ที่ความสว่าง 70 Lux พบว่า ค่าขั้นต่ำของการตรวจจับการเคลื่อนไหวสูงตามขนาดของมนุษย์ โดยมีค่าเท่ากับ 230,000 พิกเซล จะอยู่ในช่วงค่าสูงสุดและต่ำสุดของการเคลื่อนไหวเฉพาะศีรษะ ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสม เพราะ มนุษย์จะเคลื่อนไหวร่างกายโดยธรรมชาติภายใน 5 วินาที ทำให้มนุษย์จะมีการเคลื่อนไหวใน 20 วินาทีตามที่ตั้งไว้ในการหน่วงเวลาของโปรแกรมตรวจจับ ดังแสดงในภาพที่ 12

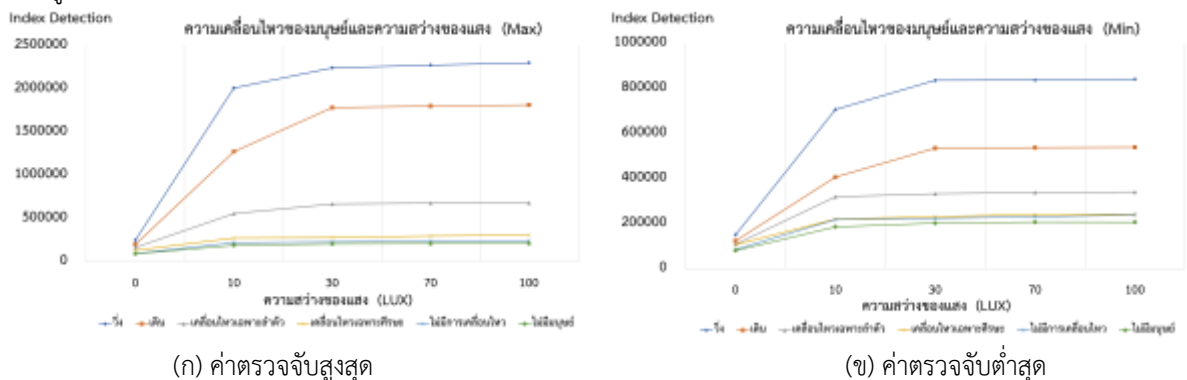


(ก) ค่าตรวจจับสูงสุด

(ข) ค่าตรวจจับต่ำสุด

ภาพที่ 12 การทดลองระหว่างความเคลื่อนไหวและขนาดของมนุษย์

การทดลองที่ 3 ระหว่างความเคลื่อนไหวของมนุษย์และความสว่างของแสง โดยขนาดมนุษย์ตัวเต็มและระยะตรวจจับอยู่ที่ 6 เมตร ซึ่งแสงสว่างของไฟมีผลต่อการตรวจจับ มีค่าสูงขึ้นตามค่าความสว่างของแสงที่ความสว่างของแสง 10 - 30 Lux และที่ค่าความสว่างมากกว่า 30 Lux ค่าการตรวจจับจะอยู่ในช่วงเดียวกันโดยค่าเฉลี่ยของแสงสว่างจากหลอดไฟภายในห้องจะอยู่ที่ 70 Lux ดังนั้นการตรวจจับที่ใช้ค่าขั้นต่ำที่ 230,000 พิกเซล เป็นค่าที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 13



(ก) ค่าตรวจจับสูงสุด

(ข) ค่าตรวจจับต่ำสุด

ภาพที่ 13 การทดลองระหว่างความเคลื่อนไหวและความสว่างของแสง

การทดลองและผลการทดลองการควบคุมระบบปิด-เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าในสภาวะจริง

ค่าขั้นต่ำของการตรวจจับที่ได้จากการทดลอง จะทำการบันทึกลงในโปรแกรมบน Simulink ค่า TEL (Time Error Light) บันทึกที่บล็อก Time Error Light ค่าเท่ากับ 5 วินาที และค่าขั้นต่ำของการตรวจจับเท่ากับ 230,000 พิกเซล บันทึกที่บล็อก Minimum Index Detection การทดลองจะทดลองเมื่อเครื่องตรวจจับทำงานรูปแบบ Standalone เพื่อตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมตรวจจับเมื่อรันบนบอร์ดควบคุม การทดลองนี้จะทำการบันทึกผลเป็นการทำงานของหลอดไฟว่าทำงานหรือไม่ (On และ Off) การทำงานปกติ คือ หลอดไฟเปิดขณะมีมนุษย์นั่งแล้วเคลื่อนไหว โดยการโยกศีรษะและแบบเดินในระยะต่าง ๆ และปิดตัวลงเมื่อไม่มีมนุษย์อยู่ในระยะตรวจจับ ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 30 วินาที ในแต่ละช่องการทดลอง

ตารางที่ 2 ทดสอบระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า รูปแบบรันบน Simulink

ระยะการตรวจจับ (m)	ลักษณะการเคลื่อนไหว	ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)	สถานะการจ่ายไฟ
3	วิ่ง	1.50	On
	เดิน	0.80	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	On
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0.00	On
6	วิ่ง	1.50	On
	เดิน	0.80	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	On
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0.00	Off
10	วิ่ง	1.50	On
	เดิน	0.80	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	Off
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0.00	Off
15	วิ่ง	1.50	On
	เดิน	0.80	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	Off
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0.00	Off

ตารางที่ 3 ทดสอบระบบควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า รูปแบบ Standalone

ระยะการตรวจจับ (m)	ลักษณะการเคลื่อนไหว	ความเร็วในการเคลื่อนที่ (m/s)	สถานะการจ่ายไฟ
3	วิ่ง	1.5	On
	เดิน	0.8	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	On
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0	On
6	วิ่ง	1.5	On
	เดิน	0.8	On
6	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	On
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0	Off
10	วิ่ง	1.5	On
	เดิน	0.8	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	Off
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0	Off
15	วิ่ง	1.5	On
	เดิน	0.8	On
	นั่งและเคลื่อนไหวศีรษะ	0.15	Off
	นั่งและไม่เคลื่อนไหว	0	Off

จากการทดลองข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเหมือนกัน ดังนั้นการทำงานบน Simulink และการทำงานแบบ Standalone มีการทำงานของโปรแกรมเหมือนกันแสดงให้เห็นว่าการโปรแกรมตรวจจับบนบอร์ดควบคุมทำงานปกติ และจากตารางการทดลองจะเห็นถึงขอบเขตการตรวจจับที่กล่าวไว้ในกาทดลองค่าการตรวจจับ คือ มีระยะการตรวจจับที่ 15 เมตร เมื่อเคลื่อนไหวแบบเดินหรือวิ่ง และระยะการตรวจจับ 6 เมตร เมื่อนั่ง และเคลื่อนไหวศีรษะ

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า การตรวจจับมนุษย์จำนวน 1 คน ค่าการตรวจจับมนุษย์ในการเคลื่อนไหวที่มีความเร็วในการเคลื่อนไหวต่ำ (0 m/s - 0.15 m/s) จะมีค่าการตรวจจับต่ำสุดอยู่ในช่วง 200,000 - 225,000 พิกเซล ในสภาวะปกติ และ ความสว่างของแสงอยู่ที่ 70 Lux แต่ค่าการตรวจจับกรณีที่ไม่มียุทธจะมีค่า 200,000 พิกเซล โดยเฉลี่ย ดังนั้นค่าการควบคุม ในการตั้งค่าโปรแกรม จะใช้ค่าการตรวจจับในกรณีที่ไม่มีมนุษย์เท่ากับ 200,000 พิกเซล บวกค่าเซฟตี้เออเร่อ (Safety Error) คิดเป็นร้อยละ 7% เพื่อป้องกันการตรวจจับที่เกิดความเคลื่อนไหวนอกเหนือจากมนุษย์ เช่น ผ้า่านภายในห้อง เป็นต้น ฉะนั้น ค่าที่ใช้ในการตั้งค่าโปรแกรมจะเท่ากับ 230,000 พิกเซล

ระยะเวลาการโฟกัสของกล้องที่ใช้เวลาในการโฟกัสนานที่สุด คือ 4.3 วินาที ค่าความสว่างของแสงจะลดลงจาก 70 Lux ไปจนถึง 0 Lux โดยการปิดหลอดไฟภายในห้อง ฉะนั้นการตั้งค่าในโปรแกรมในส่วนของการป้องกันการย้อนกลับของแสง เท่ากับ 5 วินาที โดยการใช้ค่าจำนวนเต็มเพื่อความรวดเร็วในประมวลผล

ผลการทดลองการควบคุมระบบ ปิด - เปิด ในสภาวะจริง จากการทดลองการทำงานของโปรแกรมโดยใช้การใช้งานแบบ Simulink และแบบ Standalone ผลการทดลองการทำงานเหมือนกัน ฉะนั้นการทำงานแบบ Standalone บนเครื่องตรวจจับนั้น มีการทำงานปกติไม่ต่างจากการทำงานในโปรแกรม Simulink บนคอมพิวเตอร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี ที่สนับสนุนทางด้านห้องในการทดลอง และขอขอบคุณสถานที่สำหรับสร้างเครื่องมือทดลอง เครื่องมือวัด และโปรแกรม MATLAB R2022b ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารอ้างอิง

- Kim, W.-S., Lee, D.-H., Kim, Y.-J., Kim, T., Hwang, R.-Y., & Lee, H.-J. (2020). Path Detection for Autonomous Traveling in Orchards Using Patch-Based CNN, *Computers and Electronics in Agriculture*, 175.
- Shin, Y., Kim, M., Pak, K.-W., & Kim, D. (2020). Practical Methods of Image Data Preprocessing for Enhancing the Performance of Deep Learning Based Road Crack Detection. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 11(4), 373-379.
- Fujiyoshi, H., Hirakawa, T., & Yamashita, T. (2019). Deep Learning-based Image Recognition for Autonomous Driving, *IATSS Research*, 43(4), 244-252.
- Blok, P. M., Boheemen, K. van., Evert, F. K. van., IJsselmuiden, J., & Kim, G.-H. (2019). Robot Navigation in Orchards with Localization Based on Particle Filter and Kalman Filter. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157, 261-269.
- ทรงพล นามคุณ. (2557). ระบบแจ้งเตือนและติดตามการบุกรุกที่พักอาศัยด้วยการประมวลผลภาพ. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 1(1), 32-38.
- ชูไฮดี สนิ, อีรพงษ์ ฉิมเพชร, นราธร สังข์ประเสริฐ และ จริญญา เจริญเนตรกุล. (2563). ตัวตรวจจับรถไฟด้วยหลักการประมวลผลสัญญาณวิดีโอสำหรับเครื่องกันทางอัตโนมัติ. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 13(2), 86-99.
- บอย ดาศรี และ นรภัทร สานุจิตร. (2564). ระบบการตรวจจับไฟไหม้ด้วยวิธีการหาเส้นขอบของภาพและระบบสี HSV. *วารสารวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และนวัตกรรม*, 2(1), 10-14.
- ภาณุวัฒน์ สกลวุฒิชัย และ สัญญา พันธุ์แพง. (2564). การพัฒนาเทคนิคการตรวจจับควันไฟด้วยเทคโนโลยีการประมวลผลภาพ. *การประชุมวิชาการระดับปริญญาตรีภูมิภาคเอเชีย ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล*, 942-951.
- Kunghun W. and Tantrapiwat A. (2018). Development of a vision based mapping in rubber tree orchard. *In 2018 International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)*, 1-4.
- Kunghun W. and Tantrapiwat A. (2022). A RUBBER TREE ORCHARD MAPPING METHOD VIA IMAGE PROCESSING. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 18(4), 1181-1201.
- McAndrew, A. (2004). An introduction to digital image processing with MATLAB. Course Technology Press.
- Otsu N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man and cybernetics*, 9(1), 62-66.

Translated Thai References

- Namkun, S. (2014). An Intelligent Intrusion Detection System and Tracking with Image Processing. *Journal of Information Technology Management and Innovation*, 1(1), 32-38.

- Sani S., Chimphet T., Sangprasert N. and Charoennatkul C. (2020). Trains Detection Using Video Processing Method for Automation Railroad Crossing. *RMUTI JOURNAL Science and Technology*, 13(2), 86-99.
- Dasri B. & Sanujit N. (2021). Fire Detection System by Using Finding Contour and HSV model. *Science Technology and Innovation (STIJ)*, 2(1), 9-14.
- Sakunwongschai P. and Phanphaeng S. (2021). The development of smoke detection techniques with technology Image processing. *The 9th Asia Undergraduate Conference on Computing : AUCC. Rajamangala University of Technology Rattanakosin Wang Klai Kangwon Campus*, vol.9, 942-951.

Received: Oct 16, 2023

Revised: Dec 23, 2023

Accepted: Dec 25, 2023

การลดความสูญเสียการผลิตสายไฟรถยนต์ กรณีศึกษา : เครื่องจักร AC81 – 18

WIRE LOSS REDUCTION CASE STUDY: MACHINE AC81 – 18

เถลิง พลเจริญ¹, วรเทพ ตริวิจิตร², ชาคริต ศรีทอง³^{1, 2}คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี,³คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์Thaloeng Poljaroen¹, Worathep Treewichit², Charcrit Sritong³^{1, 2}Faculty of Engineering, Thonburi University³Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

E-mail: ponjaroen@yahoo.com

บทคัดย่อ

วิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตสายไฟรถยนต์ของบริษัทตัวอย่าง ไม่เกินร้อยละ 0.200 จากการดำเนินการเก็บข้อมูลจากกระบวนการผลิตสายไฟในรถยนต์ ปัญหาที่พบมากที่สุด คือ ของเสีย Wire Loss จากเครื่องจักร หมายเลข เอซี 81-18 ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยผังก้างปลา หลักการ ทำไม - ทำไม และการวิเคราะห์ที่มาของปัญหา (Measurement System Analysis : MSA) ซึ่งจากข้อมูลก่อนการปรับปรุงระหว่างเดือนพฤษภาคม - กรกฎาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000 กิโลกรัม จำนวนของเสีย 512 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.310 ซึ่งคิดเป็นต้นทุนของเสีย กิโลกรัมละ 178.54 บาท คิดเป็นมูลค่า 91,412.48 บาท และหลังการปรับปรุงระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000 กิโลกรัม ตรวจพบของเสีย 311 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.188 คิดเป็นมูลค่า 55,525.94 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนของเสีย คิดเป็นมูลค่า 35,886.54 บาท และจำนวนของเสียลดลงร้อยละ 60.74 โดยสามารถลดต้นทุนของเสียต่อปี เท่ากับ 143,546.16 บาท ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของเสียไม่เกินร้อยละ 0.200

คำสำคัญ : การลดความสูญเสีย, การผลิตสายไฟรถยนต์, เครื่องจักรเอซี 81 - 18

Abstract

The objectives of this research were to reduce the loss in the production process of automotive wiring of the sample companies. not more than 0.200 percent. From collecting data from the production process of automotive wiring. The most common problem was the waste Wire Loss from machinery AC No. 81-18. The researcher then analyzed the cause of the problem with a fishbone diagram, the why-why principle and the analysis of the source of the problem (Measurement System Analysis: MSA). The performance before the improvement between May - July, the total production was 165,000 kilograms, the amount of waste was 512 kilograms, representing 0.310 percent, which was the waste cost of 178.54 baht per kilogram, representing a value of 91,412.48 baht. Adjusted between August - October 2022. The total production amount is 165,000 kilograms, the amount of waste is 311 kilograms, representing 0.188 percent,

valued at 55,525.94 baht. which can reduce the cost of waste The value of waste is 35,886.54 baht and the amount of waste is reduced by 60.74 percent, which can reduce the cost of waste per year equal to 143,546.16 baht, which is in line with the objective of waste not exceeding 0.200 percent

Keywords : loss reduction, automotive wire production, AC machines 81 – 18

บทนำ

สภาพแวดล้อมการแข่งขันที่สูงขึ้นในตลาดโลก ซึ่งเกิดจากความต้องการด้านคุณภาพที่สูงขึ้นของลูกค้าหลักในอุตสาหกรรม [1] อุตสาหกรรมทั่วโลกจึงแสวงหาความได้เปรียบในการแข่งขันอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากความต้องการและความคาดหวังของลูกค้าที่เพิ่มขึ้น [2] เมื่ออุตสาหกรรมยานยนต์มีการขยายตัวมากขึ้นจึงส่งผลให้อุตสาหกรรมผลิตสายไฟในรถยนต์ขยายตัวด้วยเช่นกัน จึงส่งผลให้บริษัทจะต้องมุ่งเน้นด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก เพื่อยกระดับคุณภาพสินค้าและความภักดีของลูกค้าตลอดจนการเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด [3] คุณภาพเป็นหนึ่งในปัจจัยการตัดสินใจที่สำคัญที่สุดในการเลือกผลิตภัณฑ์และบริการ ดังนั้นคุณภาพจึงนำไปสู่ความสำเร็จของธุรกิจ การเติบโต และการเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน เพื่อสร้างความได้เปรียบเชิงกลยุทธ์ในการแข่งขันให้กับธุรกิจและผลตอบแทนจากการลงทุน โดยการศึกษาและวิเคราะห์การตอบสนองความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า [4] [5] [6] ปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตสายไฟสำหรับใช้ในรถยนต์มีการแข่งขันกันสูงมาก ซึ่งบริษัทจะต้องควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้ตามมาตรฐานคุณภาพของลูกค้า ซึ่งสายไฟเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของอุตสาหกรรมประกอบรถยนต์และเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่รถยนต์ของผู้บริโภค ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาวิธีการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสายไฟให้ได้คุณภาพตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า และการสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตสายไฟรถยนต์ของบริษัทตัวอย่าง ไม่เกินร้อยละ 0.200 ตามนโยบายบริษัท

แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด มาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาความสูญเสียในกระบวนการผลิตสายไฟรถยนต์ของบริษัทตัวอย่าง ดังนี้ [9] [10]

1. ใบตรวจสอบ (Check - Sheets) เป็นตารางที่แสดงรายการรายละเอียดต่าง ๆ ของข้อมูล
2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น โดยเรียงลำดับปัญหาตามความถี่ที่พบจากมากไปหาน้อยและแสดงขนาดความถี่เล็กน้อยด้วยกราฟแท่งควบคู่ไปกับการแสดงค่าสะสมของความถี่
3. ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) เป็นแผนภูมิที่ใช้ต่อจากแผนภูมิพาเรโตมาแจกแจงสาเหตุของปัญหาแบ่งเป็น 4 ประการ คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machines) วิธีการ (Method) วัสดุดิบ (Material)
4. กราฟ (Graph) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลต่างๆ ใต้ง่ายและชัดเจนขึ้น
5. ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นกราฟแท่งที่ใช้แสดงความถี่ของข้อมูลที่จัดเป็นหมวดหมู่ โดยที่แท่งกราฟมีความกว้างเท่ากัน
6. ผังแสดงการกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว

7. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิกราฟที่ใช้เพื่อการควบคุมกระบวนการผลิต โดยมีการแสดงให้เห็นถึงขอบเขตการควบคุมบน (Upper Control Limit, UCL) และขอบเขตล่าง (Lower Control Limit, LCL)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนดำเนินการวิจัยเป็นการลดของเสียในกระบวนการผลิต Wiring Harness สำหรับประกอบในรถยนต์ เพื่อลดความสูญเสียจากการผลิตจะมีการวางแผนปรับปรุงในสายการผลิต ดังนี้

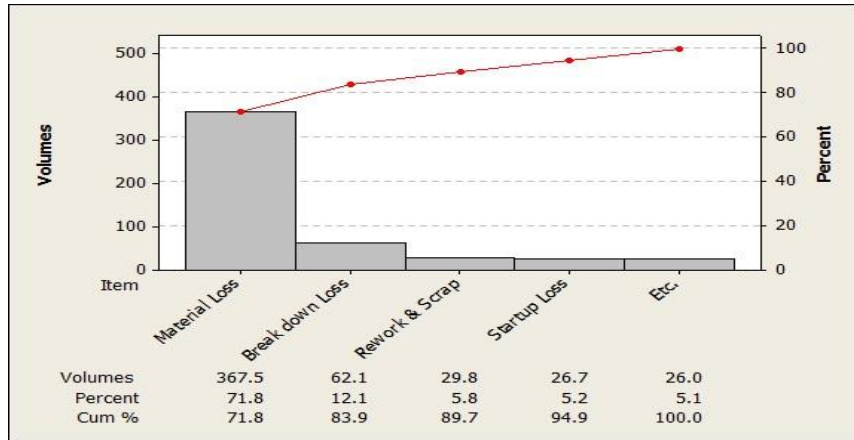
1. สสำรวจสภาพปัจจุบันและกำหนดหัวข้อ Loss

จากการศึกษาข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง จะต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ ต้นทุนต่ำ และลูกค้าพึงพอใจ แต่ในทางกลับกันบริษัทไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ถึงข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสายไฟรถยนต์ อันเนื่องมาจากคุณสมบัติและข้อกำหนดทางเทคนิค หรือข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานสูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน โดยจากการเก็บข้อมูลจากฝ่ายผลิต ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม พ.ศ. 2565 พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งปัญหาที่พบมากที่สุด ได้แก่ การสูญเสียวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตสายไฟ จากสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียมากถึงร้อยละ 80 ตามกฎพาเรโต (Pareto) 80 : 20 ซึ่งผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัญหาจากข้อมูลฝ่ายผลิตและนำเสนอต่อผู้บริหาร ซึ่งผู้บริหารและผู้วิจัยมีความเห็นสอดคล้องกันจึงเลือกการสูญเสียวัตถุดิบจากกระบวนการผลิตสายไฟ (Material Loss) คิดเป็นร้อยละ 71.78 ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด เนื่องจากกระบวนการผลิตที่ไม่เหมาะสม พนักงานไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานการผลิต และการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งลักษณะของเสียที่พบในกระบวนการผลิตสายไฟ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะของเสียที่พบในกระบวนการผลิตสายไฟ

ลำดับ	รายละเอียด	จำนวนของเสีย (กก.)	ร้อยละของเสีย
1	วัตถุดิบเสีย Material Loss	367.51	71.78
2	เครื่องจักรหยุดทำงาน Break down Loss	62.11	12.13
3	การนำกลับมาทำใหม่หรือทิ้ง Rework & Scrap	29.75	5.81
4	การตั้งเครื่องจักร Startup Loss	26.67	5.21
5	อื่นๆ Etc.	25.96	5.07
Total		512	100

จากข้อมูลดังกล่าว พบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นการสูญเสียเกี่ยวกับ Material Loss คิดเป็นสัดส่วนของเสียทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 71.78 ดังนั้นผู้วิจัยจึงแยกประเภทการสูญเสีย ดังภาพที่ 1

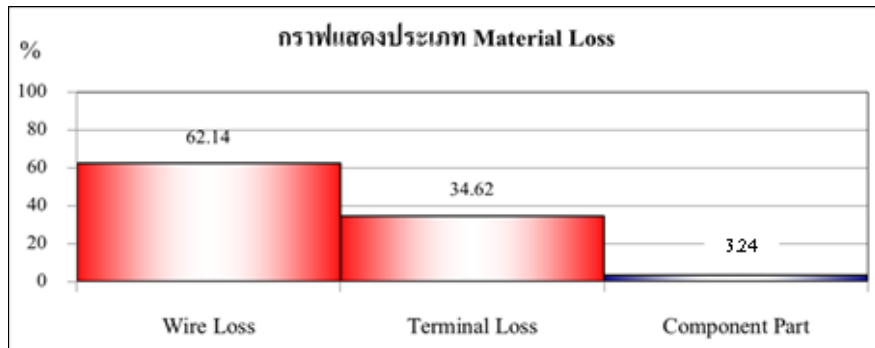


ภาพที่ 1 ประเภทการสูญเสีย

จากปัญหา Material Loss ประเภทการสูญเสีย ประกอบด้วย 3 ประเภท ดังนี้

- 1) Wire Loss หมายถึง การสูญเสียระหว่างการตัดสายไฟ
- 2) Terminal Loss หมายถึง ชิ้นส่วนที่ประกอบเข้ากับสายไฟขณะตัดสายไฟ
- 3) Component Part หมายถึง วัสดุชนิดอื่นที่สูญเสียระหว่างกระบวนการผลิตสายไฟ

กรณีที่ฝ่ายผลิตสามารถแก้ไขปัญหา Wire Loss ลดลงได้จะสามารถช่วยลดปัญหา Terminal Loss ลงได้เช่นกัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่ต้องนำมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 2, 3 และ 4



ภาพที่ 2 ข้อมูลประเภทการสูญเสีย

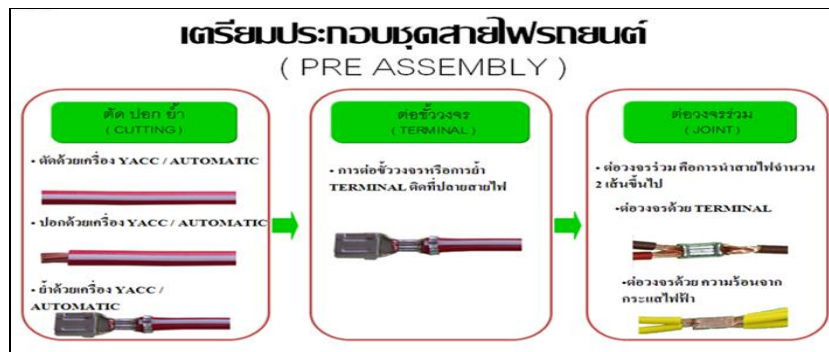


ภาพที่ 3 ลักษณะ Wire Loss



ภาพที่ 4 ลักษณะ Terminal Loss

จากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ พบว่า กระบวนการที่ทำให้เกิด Wire Loss มากที่สุด คือ กระบวนการตัดสายไฟ ดังภาพที่ 5



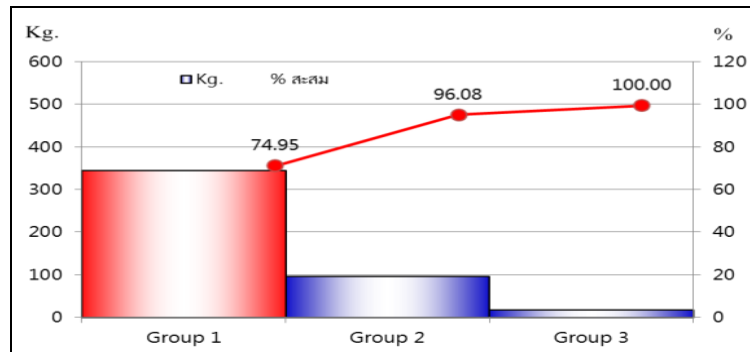
ภาพที่ 5 ลักษณะรูป Pre Assembly

จากการตรวจสอบข้อมูล Wire Loss พบว่า ปัญหา Wire Loss เกิดขึ้นจำนวน 512 กิโลกรัม สามารถแบ่งลักษณะการเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการเป็น 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะการเกิดของเสีย

ลำดับ	รายละเอียด	กิโลกรัม	ร้อยละของเสีย
1	การสูญเสียระหว่างการผลิต (Defect In Process)	383.74	74.95
2	การสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Human And Machine Error)	108.19	21.13
3	การสูญเสียจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง (Defected To Other Relate)	20.07	3.92
Total		512	100

การศึกษาข้อมูล พบว่า ปัญหาในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเกิดจากการสูญเสียระหว่างการผลิต (Defect In Process) เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด Wire Loss สูงสุด โดยคิดเป็นของเสียจำนวนร้อยละ 74.95 ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาข้อมูล ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงลักษณะการเกิดของเสีย

การตรวจสอบข้อมูล พบว่า สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังตารางที่ 3 ตารางที่ 3 แสดงลักษณะสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา

ลำดับ	รายละเอียด	กิโลกรัม	ร้อยละของเสีย
1	Wire Loss จากเครื่องจักรร่อนเดือน	427.16	83.43
2	Wire Loss จากสายไฟติดหลอด	84.84	16.57
Total		512	100

จากข้อมูลระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึง กรกฎาคม 2565 จึงได้ศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นที่เครื่องจักรใด เพื่อศึกษาข้อมูลสาเหตุที่ส่งผลทำให้เกิด Wire Loss โดยมีเครื่องจักรทั้งหมด จำนวน 12 เครื่อง พบว่า เครื่องจักรที่มีปัญหา Wire Loss เกิดขึ้นมากที่สุด คือ เครื่อง AC81 - 18 โดยมีจำนวน Wire Loss รวมทั้งสิ้น 512 กิโลกรัม ผู้วิจัยจึงเลือกเครื่องจักรดังกล่าวในการศึกษาวิจัยการแก้ปัญหา Wire Loss

1) ทำการออกแบบ Check Sheet เพื่อเก็บข้อมูลเพิ่มเติมยืนยันข้อมูลการเกิด Wire Loss ของเครื่องจักร AC81 - 18 พบว่า เกิดปัญหา Wire Tension Overload โดยมี 2 สาเหตุที่ทำให้เกิด Wire Loss ได้แก่ อาการ Sensor Error เกิดขึ้นทั้งหมด 270 ครั้ง และ อาการ Arm Overload เกิดขึ้นทั้งหมด 1 ครั้ง

2) ทำการยืนยันความถูกต้องของข้อมูลโดยใช้ MSA [7] เพื่อทดสอบการตรวจสอบชิ้นงานของพนักงานว่าสามารถแยกชิ้นงานได้ถูกต้องหรือไม่ ซึ่งผลการทดสอบพบว่าพนักงานสามารถตรวจสอบชิ้นงานได้ถูกต้อง 100 % โดยสามารถแสดงตารางการตรวจชิ้นงานของพนักงานประจำกะ A สัญลักษณ์สีเหลือง และพนักงานประจำกะ B สัญลักษณ์สีฟ้า ประจำเครื่องจักร AC81 - 18 ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การตรวจสอบชิ้นงานเสียของพนักงาน

พนักงาน	แยกชิ้นงานจาก Error Code		รวม
	ถูกต้อง	ไม่ถูกต้อง	
พนักงานประจำกะ A	85	0	85
พนักงานประจำกะ B	85	0	85

จัดตั้งเป้าหมาย

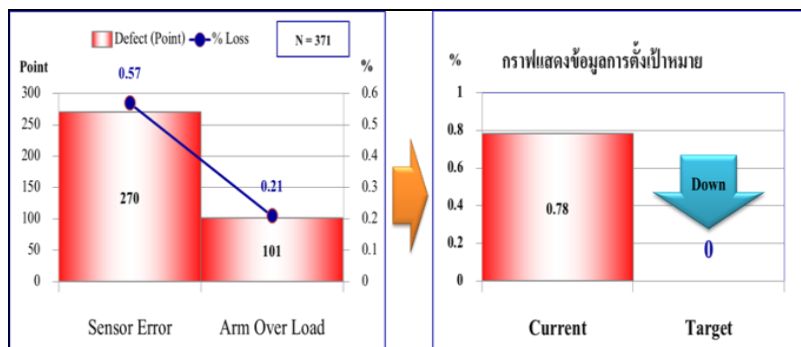
โครงการ : ลดความสูญเสีย Wire Loss Reduction

ปัญหา : Wire Tension Overload 83.43% จากข้อมูลสายไฟเสียหายจากเครื่องจักร/เครื่องจักรรื้อ

สายการผลิต : Machine No. AC81-18

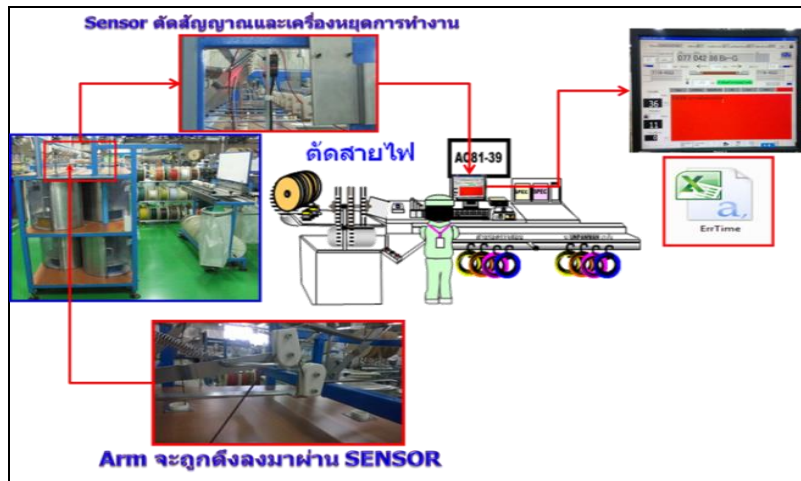
ความสูญเสียที่เกิดจาก Wire Loss

สายไฟที่สูญเสียเมื่อเกิดการตึงระหว่างการผลิต ซึ่งเครื่องจักรจะทำการ Feed สายไฟทั้งจำนวน 3,500 mm. + Spec. ในการตัดสายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาสายไฟขาดข้างในและนำสายไฟไปใช้งาน แสดงการเก็บข้อมูลการสูญเสียเมื่อเกิดการตึงระหว่างการผลิต ดังภาพที่ 7



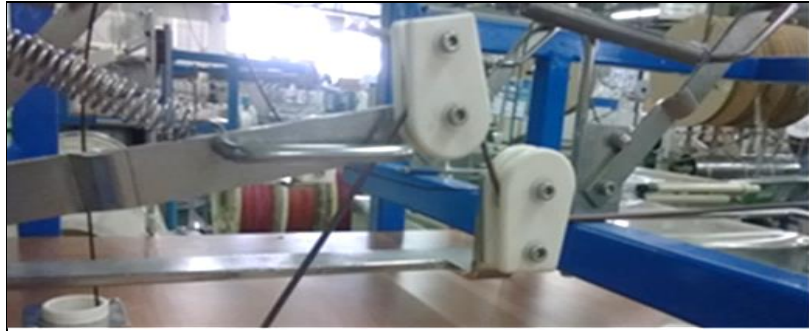
ภาพที่ 7 แสดงการเกิดปัญหาสูญเสียเมื่อเกิดการตึงระหว่างการผลิต

การพิสูจน์ให้เห็นจริงของปัญหาและอาการ ดังภาพที่ 8



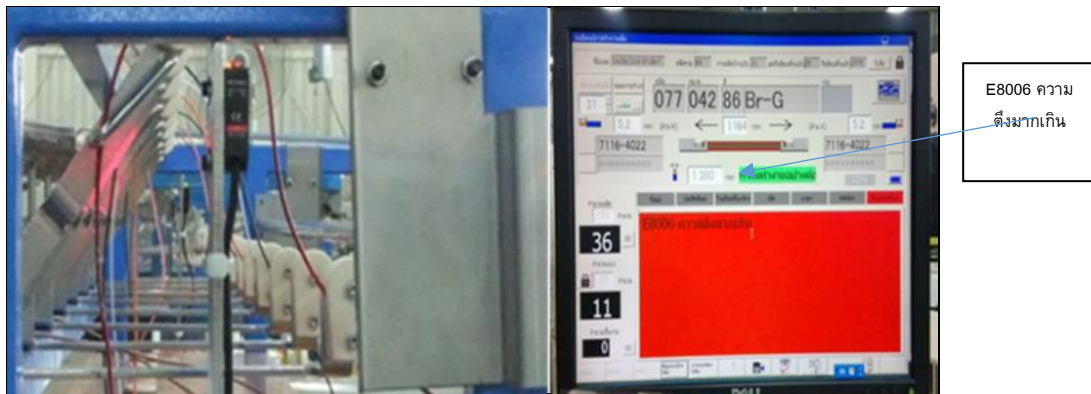
ภาพที่ 8 แสดงการเกิดปัญหา Wire Loss Reduction

ลักษณะอาการ Arm Over Load คือ Roller ร้อยสายไฟด้านบนจะถูกดึงลงมาชนกับ Roller ร้อยสายไฟด้านล่างเมื่อเครื่องจักรมีภาระ Load จากการตึงของสายไฟเกิน 30 นิวตัน ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงการเกิดปัญหา Arm Over Load

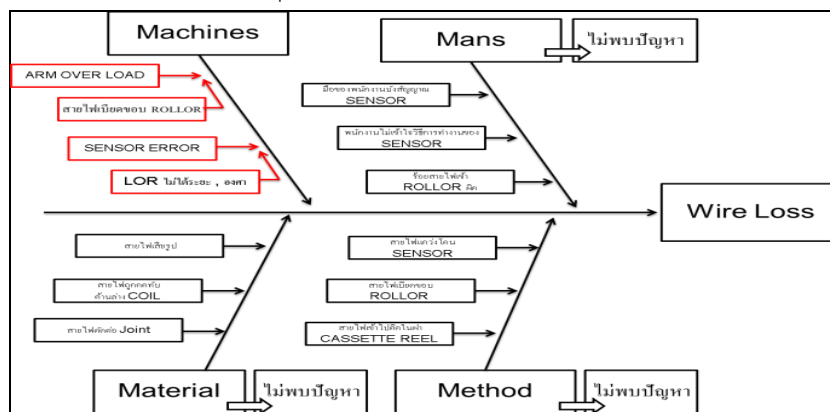
Sensor ตัดสัญญาณ ซึ่งเครื่องจักรจะหยุดการทำงาน และส่งสัญญาณสั่งให้ Feed สายไฟทิ้ง 3,500 mm. บวกกับมาตรฐานในการตัดสายไฟ เครื่องจักรบันทึกข้อมูลใน Computer Code: E8006 ความดึงมากเกินไป ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงการบันทึกปัญหาของเครื่องจักร

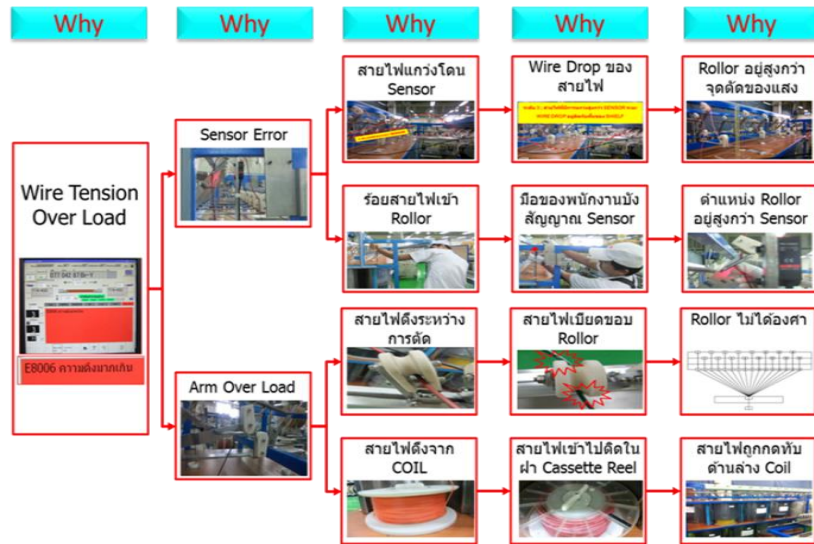
การวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis)

ผู้วิจัยดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการ เพื่อหาสาเหตุการเกิดปัญหาโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause And Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) [8] [9] แจกแจงสาเหตุของปัญหาแบ่งเป็น 4 ลักษณะ คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machines) วิธีการ (Method) วัตถุดิบ (Material) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงการวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุของ Wire Loss

การวิเคราะห์กระบวนการด้วยเครื่องมือ Why - Why Analysis [10] [11] ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงการวิเคราะห์ Why - Why Analysis

สรุปข้อมูลจากการวิเคราะห์กระบวนการ

1. สายไฟแกว่งโดน Sensor จำนวน 247 ครั้ง จากการวิเคราะห์กระบวนการตรวจพบข้อมูลการเกิดสายไฟแกว่งโดน Sensor และส่งผลทำให้เกิดอาการ Sensor Error โดยมีข้อมูล ดังนี้

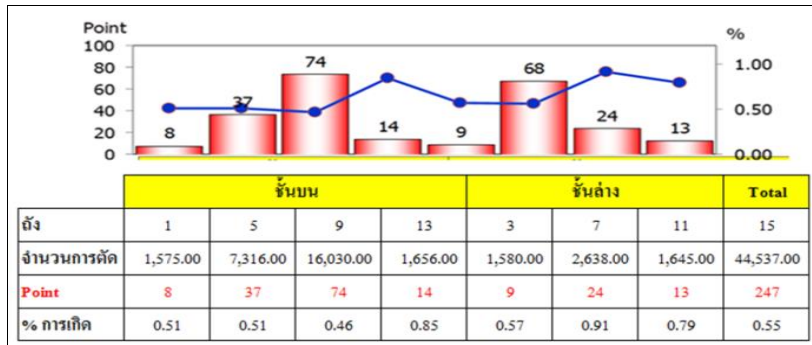
1.1 ตำแหน่งโซนด้านหน้า พบว่า สายไฟแกว่งแต่ไม่เกิดอาการ Sensor Error ได้แก่ ถึงที่ 4, 8, 12, 16, 2, 6, 10, 14

2. ตำแหน่งโซนด้านหลัง พบว่า สายไฟแกว่งโดน Sensor และเกิดอาการ Sensor Error ทุก Coil ได้แก่ ถึงที่ 1, 5, 9, 13, 3, 7, 11, 25 ดังภาพที่ 13



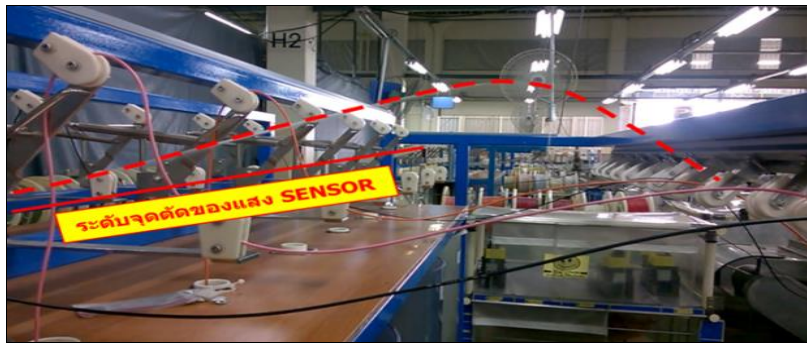
ภาพที่ 13 แสดงถึงใส่สายไฟที่เกิดปัญหา

สรุปข้อมูลการเกิด Sensor Error ในกระบวนการตัดสายไฟ ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 แสดงการเกิด Sensor Error

เมื่อเครื่องทำการดึงสายไฟไปตัด สายไฟจะแกว่งและบางจังหวะจะแกว่งสูงกว่า Sensor ซึ่งจะเกิดอาการ Sensor Error ส่งผลให้เกิดปัญหา Wire Tension Over Load เครื่องจักรหยุดการทำงาน และ Feed สายไฟทิ้ง (ความยาวที่ตัด +3,500 mm.) เกิดปัญหา Wire Loss ที่สูญเสียจากสายไฟแกว่งโดน Sensor ตั้งข้อสงสัยระยะ Wire Drop มีผลต่อสายไฟแกว่งโดน Sensor ดังภาพที่ 15



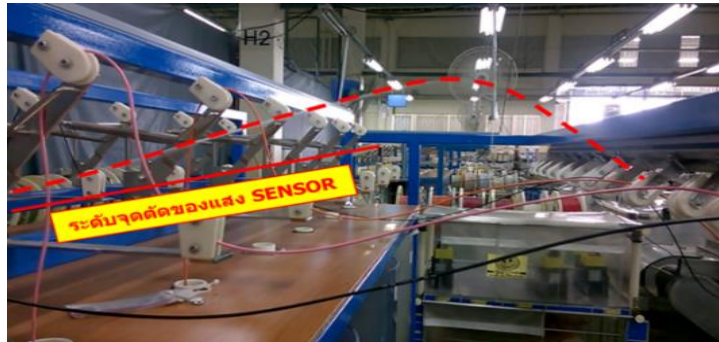
ภาพที่ 15 แสดงการแกว่งตัวของสายไฟระหว่างการตัด

ระดับ 1 คือ ใกล้กับระดับของ Sensor ด้านบน สายไฟก่อนดึงไปตัดจะอยู่ระดับความสูงกึ่งกลางของ Roller ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 แสดงการแกว่งตัวของสายไฟระหว่างการตัด ระดับที่ 1

ระดับ 2 คือ ใกล้กับระดับของ Sensor ด้านล่าง สายไฟที่แกว่งตัวแต่ไม่โดน Sensor พบว่า มีระยะ Wire Drop อยู่ที่ระดับด้านใต้ของ Roller ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงการแกว่งตัวของสายไฟระหว่างการตัด ระดับที่ 2

ระดับ 3 คือ สายไฟที่มีการแกว่งสูงกว่า Sensor พบว่ามีระยะ Wire Drop อยู่ติดกับพื้น ดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แสดงการแกว่งตัวของสายไฟระหว่างการตัด ระดับที่ 3

ตารางที่ 5 แสดงสรุปการวิเคราะห์กระบวนการ.

หน้าที่ของกระบวนการ	ปัจจัยที่ส่งผล	ลักษณะที่ต้องการ	ลักษณะข้อบกพร่อง
1. จัดเตรียมสายไฟเข้า Cassette Reel	1.1 สายไฟเสียรูป	1.1 สายไฟต้องไม่เสียรูป โดยมีการเรียงตัวเป็นชั้นทุก ด้าน ด้านบนไม่เสียรูป ด้านล่างไม่เสียรูป ด้านใน เสียรูป ด้านนอกไม่เสียรูป	การเรียงตัวของ Coil (สงสัย : ตั้งจาก Coil)
2. นำ coil สายไฟใส่เข้า Wire Shelf และร้อยสายไฟ เข้าชุด Roller	2.1 ตำแหน่งร้อยสายไฟเข้า Roller	2.1 ร้อยสายเข้า Roller และ Sensor ไม่เกิด Error	Sensor พบความผิดปกติ จึงสั่งให้ตัดสายไฟทิ้ง (สงสัย : จุดตัดของแสง Sensor)
3. ตัดสายไฟตามระยะและ จำนวนที่กำหนด	3.1 ร้อยสายไฟเข้าชุดรีด สายไฟ/ความเร็วรอบเครื่อง สูง	3.1.1 แรงกดชุดรีดสายไฟ ตามขนาดของสายไฟ 3.1.2 ความเร็วรอบเครื่อง 4000 mm/Sc	feed belt ตั้งสายไฟไม่ได้ (ไม่สงสัย : ปรับ spec เกิน มาตรฐาน เครื่องจะตั้งไม่ได้)
	3.2 ระยะ wire Drop ของ สายไฟ	3.2 ระยะ wire Drop ต้อง ไม่ต่ำกว่า Sensor	Sensor พบความผิดปกติ จึงสั่งให้ตัดสายไฟทิ้ง

			(สงสัย : สายไฟแฉ่งไป โดน Sensor)
	สายไฟเสียดสีกับขอบ Roller	3.3 สายไฟอยู่กลาง Roller	สายไฟตึง (สงสัย : ตึงระหว่างการตัด)

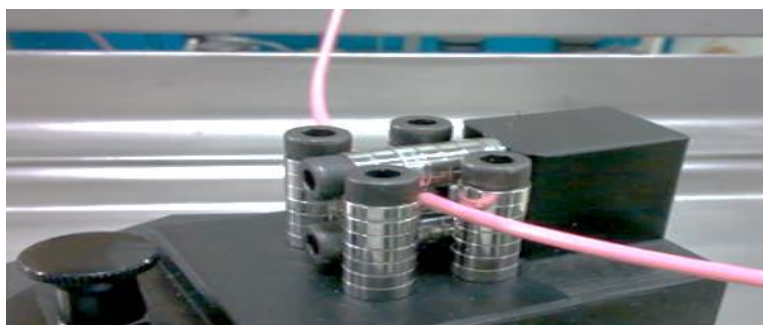


ภาพที่ 19 แสดงสายไฟเบียดขอบ Roller

การแก้ไขโดยออกแบบ New Roller ที่ลดการเสียดสีระหว่างสายไฟกับ Roller ทำให้ลดแรงเสียดทานระหว่างการตัดสายไฟให้มีแรงที่เท่ากันทุกมุม เพื่อลดปัญหาการตึงระหว่างการตัดสายไฟ

1. มาตรการ: การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) แรงเสียดทานของ Roller 1 ครั้ง/สัปดาห์ ก่อนเริ่มงาน เพื่อทดสอบอายุการใช้งานของ Roller ระหว่างการตัดสายไฟให้มีแรงที่เท่ากันทุกมุม เพื่อลดปัญหาการตึงระหว่างการตัดสายไฟ

2. การตอบโต้: แจ้งวิศวกรทำการแก้ไขเปลี่ยนอุปกรณ์ Roller ดำเนินการแก้ไข: การเปลี่ยนอุปกรณ์ของ Roller ดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การเปลี่ยนอุปกรณ์ของ Roller

หลังการแก้ไขได้ดำเนินการติดตามผลเพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลการเกิดปัญหา ซึ่งจากข้อมูลพบว่าปัญหามีแนวโน้มลดลง แต่ยังไม่สามารถลดปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตลดลงให้ของเสียเป็นศูนย์ได้ (Zero Defect) เนื่องจากปัญหา

ดังกล่าวเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย ได้แก่ วัตถุดิบ เครื่องจักร พนักงานควบคุมเครื่องจักรประจำกะ การตรวจสอบเครื่องจักรก่อนการผลิตและระหว่างการผลิต

ผลการดำเนินการ

ข้อมูลลักษณะของเสีย Wire Loss จากกระบวนการผลิตสายไฟในรถยนต์ Machine No. AC81-18 ผลก่อนการปรับปรุงระหว่างเดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000 กิโลกรัม จำนวนของเสีย 512 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.310 ซึ่งคิดเป็นต้นทุนของเสีย กิโลกรัมละ 178.54 บาท คิดเป็นมูลค่า 91,412.48 บาท ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง

รายละเอียด	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	ผลรวม
จำนวนการผลิต (กก.)	55,000	55,000	55,000	165,000
จำนวนของเสีย (กก.)	174	175	163	512
คิดเป็นร้อยละ	0.316	0.318	0.296	0.310
มูลค่าของเสีย (บาท)	31,065.96	31,244.5	29,102.02	91,412.48

ผลหลังการปรับปรุงจากกระบวนการผลิตสายไฟในรถยนต์ระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000 กิโลกรัม ตรวจพบจำนวนของเสีย 311 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.188 คิดเป็นมูลค่า 55,525.94 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนของเสีย คิดเป็นมูลค่า 35,886.54 บาท และจำนวนของเสียลดลงร้อยละ 60.74 โดยสามารถลดต้นทุนต่อปีเท่ากับ 143,546.16 บาท ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของเสียไม่เกินร้อยละ 0.200 ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แสดงจำนวนของเสียหลังการปรับปรุง

รายละเอียด	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	ผลรวม
จำนวนการผลิต (กก.)	55,000	55,000	55,000	165,000
จำนวนของเสีย (กก.)	105	104	102	311
คิดเป็นร้อยละ	0.190	0.189	0.185	0.188
มูลค่าของเสีย (บาท)	18,746.7	18,568.16	18,211.08	55,525.94

สรุปผลการดำเนินการ

ข้อมูลลักษณะของเสีย Wire Loss จากกระบวนการผลิตสายไฟในรถยนต์ Machine No. AC81-18 ผลก่อนการปรับปรุงระหว่างเดือนพฤษภาคม – กรกฎาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000 กิโลกรัม จำนวนของเสีย 512 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.310 ซึ่งคิดเป็นต้นทุนของเสีย กิโลกรัมละ 178.54 บาท คิดเป็นมูลค่า 91,412.48 บาท ซึ่งผลหลังการปรับปรุงจากกระบวนการผลิตสายไฟในรถยนต์ระหว่างเดือนสิงหาคม – ตุลาคม 2565 จำนวนการผลิตทั้งสิ้น 165,000

กิโกรัม ตรวจพบจำนวนของเสีย 311 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 0.188 คิดเป็นมูลค่า 55,525.94 บาท ซึ่งสามารถลดต้นทุนของเสีย คิดเป็นมูลค่า 35,886.54 บาท และจำนวนของเสียลดลงร้อยละ 60.74 โดยสามารถลดต้นทุนต่อปี เท่ากับ 143,546.16 บาท ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของเสียไม่เกินร้อยละ 0.200

ข้อเสนอแนะ

1. โรงงานตัวอย่างควรดำเนินการเปลี่ยน Roller แบบใหม่กับเครื่องจักรผลิตสายไฟในรถยนต์รุ่นเดียวกันและพัฒนาไปใช้กับการผลิตสายไฟในรถยนต์รุ่นอื่นๆ ต่อไป
2. ผู้บริหารควรส่งเสริมให้ความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือทางเทคนิคเพื่อการลดของเสียจากกระบวนการผลิตและการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- Chaikanha, N., Phuhuadon, D., Dechawong, L., & Phurabat, S. (2018). Defective Parts Reduction in Automotive Wire Assembly Industry by LEAN theory: A Case study. *International Conference on Embedded Systems and Intelligent Technology & International Conference on Information and Communication Technology for Embedded Systems (ICESIT-ICICTES)*, INSPEC Accession Number: 18044503, DOI: 10.1109/ICESIT-ICICTES.2018.8442055
- Joshi, A., & Jugulkar, L.M. (2014). Investigation and Analysis of Metal Casting Defects and Defect Reduction by Using Quality Control Tools. *Proceedings of IRF International Conference, Goa, 16th March-2014*, 86-91.
- Awaj, Y. M., Singh, A. P., & Amedie, W. Y. (2013). Quality Improvement Using Statistical Process Control Tools in Glass Bottles Manufacturing Company. *International Journal for Quality Research*, 7(1), 107–126.
- Leni, A. S., & Sembiring, A. C. (2022). Quality Control Improvement Using Seven Tools and Six Sigma Methods at Pt. Xyz. *Mantik Journal*, 6 (2), 1656-1663.
- Pacholek, B., & Matuszak, L. (2021). Analysis of the Production Process Performance Indicators as a Tool for Improving Operational Efficiency and Reducing Losses in the Production of Sausages. *Proceedings of the 37th International Business Information Management Association*, 4963-4972.
- Da Silva, V.L., Kovalski, J.L., Pagani, R.N., De Matos Silva, J., & Corsi A. (2020). Implementation of Industry 4.0 Concept in Companies: Empirical Evidence, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 33(4), 325-342.
- Huang, S.H., Dismukes, J.P., Shi, J., Su, Q., Wang, G., Razzak, M.A., & Robinson, D.E. (2002). Manufacturing System Modeling for Productivity Improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 21(4), 249-259.

- Srisorayut, A. & Suwittayaluk, P. (2016). Measurement System Analysis of a Small Loudspeaker Manufacturing Process, *Proc. of (8th RSC) Rajamangala Surin Nation Research Conference, Surin, Thailand, Dec. 22-23, 2016*, 581-585. Retrieved from <https://rd.surin.rmuti.ac.th/rsnc2021/download-proceedings>.
- วรเทพ ตีร์วิจิตร และ เถลิง พลเจริญ. (2565). การลดของเสียจากกระบวนการตรวจสอบเหล็กแผ่นม้วน กรณีศึกษา: โรงงานตัวอย่าง. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี*, 6(1), 1-15.
- วรเทพ ตีร์วิจิตร และ ชาคริต ศรีทอง. (2562). การลดของเสียชิ้นส่วนยานยนต์ S801-13-810W กรณีศึกษาโรงงานตัวอย่าง. *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2562*, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 499-504.

Translated Thai References

- Treewichit, W. & Poljaroen, T. (2022). Reducing Waste from the Steel Coils Inspection Process Case Study : Sample Factory. *Journal of Science and Technology Thonburi University*, 6(1), 1-15.
- Treewichit, W. & Sritong, C. (2019). Waste Reduction of Automotive Part S801-13-810W : A Case Study. *IE Network 2019 - Industrial Engineering*, Chulalongkorn University, 499-504.

Received: Nov 24, 2023

Revised: Dec 20, 2023

Accepted: Dec 25, 2023

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของมีดกลึงโลหะผสม Al_2O_3-TiC ในการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140

STUDY OF THE OPTIMUM CONDITIONS OF Al_2O_3-TiC ALLOY TURNING INSERTS FOR TURNING AISI 4140 WORK PIECES.

ภชรดิษฐ์ แปงจิตต์

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Phacharadit Paengchit

Department of Technology Industrial, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology

E-mail: phacharadit.p@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการหาสภาวะเหมาะสมของมีดกลึงโลหะผสม Al_2O_3+TiC สำหรับการกลึงวัสดุเหล็กกล้าเกรด AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ ทำการศึกษาปัจจัยการกลึงประกอบด้วยความเร็วตัดที่ระดับ 50 – 150 rev/min และอัตราป้อนที่ระดับ 0.2 - 0.6 mm/rev แตกต่างไปตามการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design, CCD) และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกลึงขึ้นรูปประกอบด้วยความเร็วตัดที่ระดับ 50 – 150 rev/min และอัตราป้อนที่ระดับ 0.2 - 0.6 mm/rev โดยพบว่าอัตราป้อนเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวอย่างมีนัยสำคัญ (P-value < 0.05)

ผลการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีต่อค่าความหยาบผิวพบว่า ความเร็วตัดมีค่าเท่ากับ 50 rev/min และอัตราป้อนมีค่าเท่ากับ 0.20 mm/rev ค่าเฉลี่ยความหยาบผิวอยู่ที่ $0.345 \mu m$

คำสำคัญ การออกแบบการทดลอง, ความหยาบผิว, การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Abstract

In this work has object for study find the optimum condition of cutting tools Al_2O_3+TiC for turning steel materials AISI 4140 with automatic lathe by applying the Central composite design, CCD and analysis experimental result with analysis of variance (ANOVA)

From the study of factor, the effect on the forming consists of cutting speed at level 50 - 170 rev/min and feed rate at level 0.2 - 0.6 mm/rev it was found that feed rate Input is the main factor that has the effect surface roughness significantly (P-value < 0.05)

From analysis appropriate conditions of factor roughness is cutting speed 50 rev/min and feed rate 0.20 mm/rev found that mean roughness is $0.345 \mu m$

Keywords: Central composite design, Surface roughness, ANOVA

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมในประเทศไทยมีการพัฒนาทางด้านระบบการผลิต และการมุ่งพัฒนาผลิตภัณฑ์สูงมากขึ้น เพื่อให้สินค้ามีคุณภาพ ต้นทุนการผลิตต่ำ โดยเฉพาะงานกลึง เป็นปฏิบัติการขั้นพื้นฐานในงานอุตสาหกรรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเป็นการตัดโลหะที่ให้อินงานหมุนรอบตัวเองและเครื่องมือตัดเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน กระบวนการกลึงปกผิว เป็นกระบวนการในการลดขนาดความโตของชิ้นงาน โดยให้เครื่องมือตัดเคลื่อนที่ ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน (Grzesik W., 2008) ปัจจุบันได้นำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่ช่วยในกระบวนการผลิตโดยเฉพาะเทคโนโลยีเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC Machine) เช่น เครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe) และเครื่องกัดอัตโนมัติ (CNC Milling) เป็นต้น สามารถทำการผลิตชิ้นงานได้จำนวนมาก ลดเวลาและลดต้นทุนการผลิตชิ้นงาน สามารถผลิตชิ้นงานมีความซับซ้อนและชิ้นงานมีคุณภาพ (Paengchit P. and Saikaew C., 2018) สร้างความเชื่อมั่นในชิ้นงานและความพึงพอใจของลูกค้า ดังนั้นกระบวนการตัดเฉือนเป็นกระบวนการผลิตขั้นพื้นฐาน เช่น การกลึง การกัด การเจาะ เป็นต้น เครื่องกลึงอัตโนมัติเป็นเครื่องจักรสำหรับการตัดเฉือนวัสดุ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต และเครื่องมือตัด (Cutting Tool) เป็นเครื่องมือที่สำคัญต่อในกระบวนการตัดเฉือน การขึ้นรูปวัสดุ จะต้องมีการเลือกใช้สภาวะการตัดเฉือนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกลึงอัตโนมัติ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงาน เช่น ความหนาผิวในกระบวนการกลึงขึ้นรูปวัสดุ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราการป้อน และความลึกในการกลึง (Paengchit P. and Saikaew C., 2018) (Hari Singh and Pradeep Kumar, 2004) และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด (Tool Life) จึงมีส่วนสำคัญอย่างมากต่อความหนาผิวของชิ้นงาน เนื่องจากเครื่องมือตัด เริ่มมีการสึกหรอ ส่งผลให้ค่าความหนาผิวสูงเพิ่มขึ้น และไม่ได้ตามเงื่อนไขหรือความต้องการของลูกค้าที่กำหนดและจำนวนชิ้นงานที่เสียทำให้มีต้นทุนในกระบวนการตัดเฉือนขึ้นรูปวัสดุสูงขึ้น (Tugrul özel et al, 2007), (W. Grzesik et al, 2007)

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า K.F Cai, D.S McLachlan, N Axen, R Manyatsa. (2002). ได้ทดลองใช้วัสดุคมตัดคอมโพสิต Al_2O_3-TiC ที่มี TiC ในปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 16 ถึง 30 vol.% ถูกเผาแบบไร้แรงดันโดยใช้ 1 wt.% Al เป็นสารเคลือบ เพื่อศึกษาค่าการนำไฟฟ้า ความแข็ง ความเหนียว และความต้านทานการสึกหรอของคอมโพสิต ผลการทดลองพบว่าความแข็งและความเหนียวเพิ่มขึ้นที่ละน้อยตามการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาตร TiC ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของปริมาตร TiC เช่นเดียวกัน (Paengchit P. and Saikaew C., 2018). ได้ทำการทดลองกลึงแข็งโดยใช้เม็ดเม็ดเซรามิกผสม $Al_2O_3 + TiC$ สำหรับการตัดเฉือนเหล็กกล้าโครเมียมโมลิบดีนัม AISI 4140 การทดลองการกลึงใช้อัตราการป้อน 0.06 ถึง 0.1 มม./รอบ ภายใต้สภาวะแห้ง การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรทางเดียว (MANOVA) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความหนาผิวและการสึกหรอด้านข้างได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญที่อัตราป้อน 0.08 มม./รอบ เป็นสภาวะการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการกลึงวัสดุ AISI 4140 (K. Aslantas, İ. Uçun, A. Çicek, 2012). ได้ศึกษาการกลึงวัสดุ AISI 52100 ที่มีความแข็ง (63HRC) โดยใช้เม็ดเม็ดผสม Al_2O_3-TiCN เซรามิกที่เคลือบและไม่เคลือบ ซึ่งมีราคาสูงกว่า คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (CBN) หรือโพลีคริสตัลไลน์คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (PCBN) ความสามารถในการขึ้นรูปของเหล็กชุบแข็งได้รับการประเมินโดยการวัดการสึกหรอของเครื่องมือ อายุการใช้งานของเครื่องมือ และผิวสำเร็จของชิ้นงาน จากผลลัพธ์ที่ได้รับ ความเสียหายประเภทการแตกหักและการเกาะเกิดขึ้นน้อยกว่าในเครื่องมือที่ไม่เคลือบผิว ในขณะที่การสึกหรอแบบหลุมเป็นประเภทความเสียหายที่พบบ่อยในเครื่องมือที่เคลือบ TiN ผลลัพธ์ที่สำคัญที่สุดที่ได้รับจากการศึกษานี้คือ การเคลือบ TiN และการสึกหรอเป็นหลุมส่งผลต่อทิศทางการไหลของเศษในเครื่องมือเซรามิกที่ไม่เคลือบผิว การเกิดหลุมจะส่งผลให้รัศมีความโค้งงอของเศษลดลง นอกจากนี้ เครื่องมือตัดที่ไม่เคลือบผิวยังส่งผลให้อุณหภูมิที่ส่วนเชื่อมต่อเศษวัสดุเครื่องมือเพิ่มขึ้นอีกด้วย สิ่งนี้ทำให้เกิดผลกระทบทางความร้อนระหว่างด้านบนและด้านล่างของเศษวัสดุ ซึ่งบังคับให้เศษวัสดุโค้งงอในรัศมีที่เล็กลง เศษวัสดุจะสะสมอยู่ด้านหน้าเครื่องมือและเกาะติดกับชิ้นงาน ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการตัด ส่งผลให้คุณภาพพื้นผิว

เสื่อมลง การเคลือบ TiN ไม่เพียงแต่ทำให้เครื่องมือตัดมีความทนทานมากขึ้นเท่านั้น แต่ยังช่วยรักษาคุณภาพพื้นผิวในระหว่างกระบวนการตัดอีกด้วย (K. Aslantas et al, 2012)

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มุ่งเน้นในการศึกษาและทดลองใช้วัสดุคมตัดคอมโพสิตในการแปรรูปวัสดุ เช่น คมตัดที่มีสารเคลือบ Al₂O₃-TiC ที่มี TiC ในปริมาณที่ต่างกัน ตั้งแต่ 16 ถึง 30 vol.% หรือเป็นการทดลองกลึงงานโดยใช้อัตราป้อนที่ต่างกันตั้งแต่ช่วง 0.06 ถึง 0.1 mm/s และมีการทดลองโดยใช้วัสดุที่ต่างกัน เช่น วัสดุ AISI 52100, AISI 4140 ในส่วนของ (Mohd et al., 2019) ได้นำวิธีการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central composite design, CCD) มาช่วยในการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของความเร็วยรอบ (Cutting Speed) อัตราการป้อน (Feed Rate) ความลึกในการกัด (Depth of Cut) ของชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 ต่อผลตอบสนองของค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) และการสึกหรอของเครื่องมือตัด (Flank Wear) โดยพบว่าอัตราการป้อน (Feed Rate) มีผลต่อค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) มากกว่าความเร็วยรอบ (Cutting Speed) และ ความลึกในการกัด (Depth of Cut) ในขณะที่ความเร็วยรอบ (Cutting Speed) มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด (Flank Wear) มากกว่าอัตราการป้อน (Feed rate) และความลึกในการกัด (Depth of Cut) เป็นต้น ส่วนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาและการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของความเร็วยรอบ (Cutting Speed) และอัตราการป้อน (Feed Rate) ของการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 โดยมีค่าความแข็ง (48HRC) ชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 นี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เช่น เพลาลและชิ้นส่วนของไฮดรอลิก, แกนหมุนของเครื่องกลึง, ชิ้นส่วนหรืออะไหล่ของเครื่องจักรกลต่างๆ เป็นต้น ทั้งนี้ทำให้มูลค่าของวัสดุประเภทดังกล่าวมีมูลค่าสูงและมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของอุตสาหกรรมในประเทศ ผลการทดลองของการกลึงชิ้นงานนั้นจะทำการประเมินค่าความหยาบผิว (Surface Roughness) เพื่อให้อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานต่างๆ สามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการกลึงวัสดุดังกล่าวไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

วิธีการทดลอง

วัสดุและขั้นตอนการทดลอง

เหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 เป็นเหล็กโลหะผสมต่ำที่ประกอบด้วยโครเมียม โมลิบดีนัม และแมงกานีส มีความแข็งแรง ทนต่อความล้าสูง ทนต่อการเสียดสีและแรงกระแทก ความเหนียว และความต้านทานแรงบิด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. ยาว 100 มม. ทำการกลึงปอกให้เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 20 มม. ดังภาพที่ 1 และตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140



ภาพที่ 1 ลักษณะชิ้นงานในการทดลอง (เหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140)

ตารางที่ 1 ธาตุผสมทางเคมีของเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140

Element	Chromium (Cr)	Manganese, (Mn)	Carbon (C)	Silicon (Si)	Molybdenum (Mo)	Sulfur (S)	Phosphorous (P)	Iron (Fe)
Content (%)	0.80 – 1.10	0.75 – 1.0	0.380 – 0.430	0.15 – 0.30	0.15 – 0.25	0.040	0.035	Balance

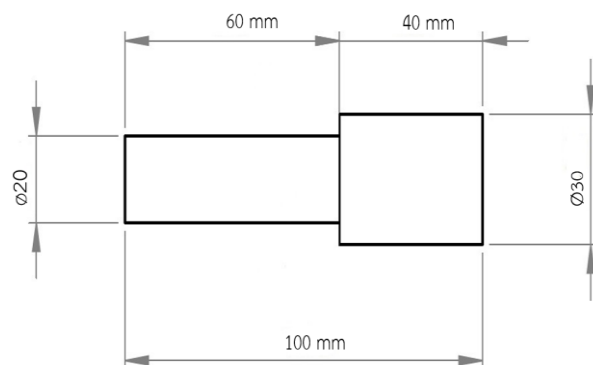
Ref: <https://www.fushunspecialsteel.com/aisi-4140-alloy-steel/>

งานวิจัยนี้ได้กำหนดแนวทางการดำเนินงานไว้เจ็ดขั้นตอนดังนี้

- 1) กำหนดวัตถุประสงค์: วัตถุประสงค์ในการวิจัยได้แก่ การกำหนดสภาวะการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าความหยาบผิว (Surface Roughness; Ra)
- 2) ระบุปัจจัยของกระบวนการและตัวแปรที่สำคัญ: งานวิจัยนี้กำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองคือ อัตราการป้อน (Feed Rate) และความเร็วยรอบ (Cutting Speed) ส่วนตัวแปรตอบสนองได้แก่ ความหยาบผิว (Surface Roughness; Ra) ในการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140
- 3) กำหนดระดับของปัจจัยการกลึงชิ้นงาน: ระดับของอัตราป้อน (Feed Rate) กำหนดไว้ที่ 0.2 - 0.6 mm/rev ในขณะที่ความเร็วยรอบ (Cutting Speed) กำหนดไว้ที่ 50 - 150 rev/min และระยะป้อนลึก (Depth of Cut) กำหนดไว้ที่ 0.5 mm (อ้างอิงจากผู้จำหน่าย)
- 4) ออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Designs; CCD): การทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Designs; CCD) 2 ปัจจัย ที่ 2 ระดับ (3 Replications) ทั้งหมด 13 การทดลอง ดำเนินการวิเคราะห์และประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (Design expert)
- 5) ทดลองกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 ตามการออกแบบส่วนประสมกลาง: การกลึงชิ้นงานจะใช้เครื่องกลึง CNC ยี่ห้อ Fanuc (Takisawa: รุ่น NEX-106) ดังภาพที่ 2 ภายใต้การกลึงแบบแห้ง โดยใช้เม็ดมีด (Insert) เซรามิกผสม ($Al_2O_3 + TiC$: Tungaloy, Japan) มีความแข็ง 84 HRC, โมดูลัสความยืดหยุ่น 400 GPa ลักษณะของเม็ดมีดจะมี 4 มุม แต่ละมุมจะทำกรกลึงชิ้นงานหนึ่งชิ้น (1 การทดลอง) ดังภาพที่ 3

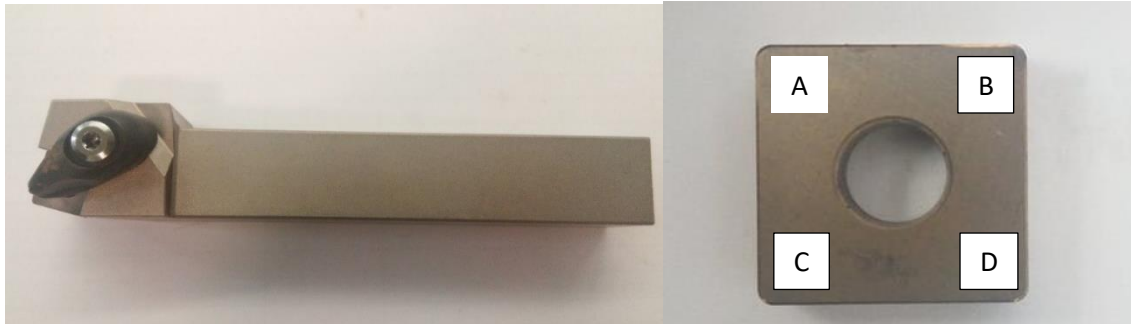


(a) เครื่องกลึง Takisawa: รุ่น NEX-106



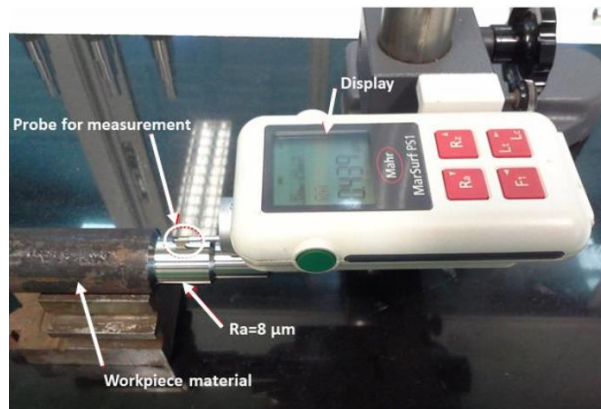
(b) ชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140

ภาพที่ 2 (a) เครื่องกลึงสำหรับทดลอง (b) ชิ้นงานสำหรับการทดลอง



ภาพที่ 3 ด้ามและเม็ดมีดมีเครื่องมือตัดยี่ห้อ Tungaloy รุ่น ASBNR2020K12-A

6) บันทึกผลการทดลองค่าความหยาบผิวชิ้นงาน: การวัดค่าความหยาบผิวชิ้นงาน (Surface Roughness; Ra) จะกำหนดตำแหน่งการวัด 3 ตำแหน่ง (มาตรฐาน BS EN ISO 4287) เพื่อหาค่าเฉลี่ย (หน่วย: μm) โดยใช้เครื่องวัดความหยาบของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness Tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-210 แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 อุปกรณ์วัดความหยาบผิว

7) วิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อค่า Ra และกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการกลึงชิ้นงาน โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทาง (2- way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Interval (C.I.)) 95 %

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

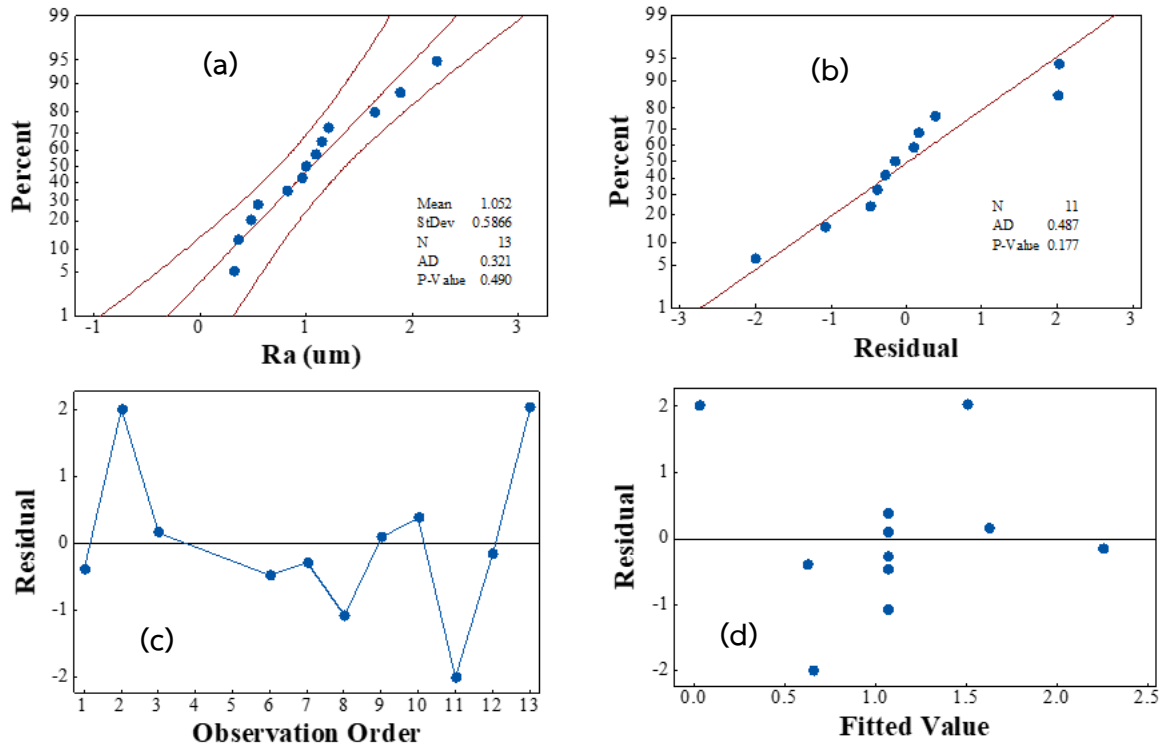
1. ดำเนินการทดลองกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมเกรด AISI 4140 จำนวน 13 การทดลองและบันทึกค่าความหยาบผิว (Surface Roughness; Ra) ของชิ้นงาน แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลค่าความหยาบผิว (Ra) จากการกลึงชิ้นงาน AISI 4140 ด้วยมีดกลึงโลหะผสม Al_2O_3+TiC

ลำดับ	ความเร็วรอบ (Cutting speed)	อัตราป้อน (Feed rate)	ความเรียบผิว Surface Roughness; (Ra)
1	29.29	0.40	5.459
2	50.00	0.20	3.188
3	50.00	0.60	16.456
4	100.00	0.12	4.783
5	100.00	0.68	12.057
6	100.00	0.40	9.569
7	100.00	0.40	10.005
8	100.00	0.40	8.234
9	100.00	0.40	10.849
10	100.00	0.40	11.485
11	150.00	0.20	3.586
12	150.00	0.60	22.28
13	170.71	0.40	18.836

2. วิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิวชิ้นงาน (Roughness Average, Ra)

ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบชุดข้อมูลของค่า Ra ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ (Normality Test) ข้อมูลที่พล็อตลงในกราฟจะแสดงเป็นลักษณะเส้นตรงและยังอยู่ในขอบเขตของช่วงความเชื่อมั่น ดังภาพที่ 5 (a)-(d) ซึ่งยืนยันว่าการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติที่เหมาะสมกับชุดข้อมูลของค่า Ra เป็นอย่างดี



ภาพที่ 5 (a) แสดงการแจกแจงข้อมูลของผลการทดลอง (b) แสดงความน่าจะเป็นปกติของส่วนตกค้าง (c) แสดงส่วนตกค้างเทียบกับเวลา (d) แสดงส่วนตกค้างที่อยู่รอบบริเวณค่ากลาง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหยาบผิวชิ้นงาน (Roughness Average, Ra) แสดงได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การแปรปรวนของค่าความหยาบผิวชิ้นงาน (Roughness Average, Ra)

Source	SS	df	MS	F-Value	p-value	
Model	3.0948	3	1.0316	8.9820	0.0045	significant
A-Cutting Speed	0.7900	1	0.7900	6.8785	0.0277	
B-Feed rate	2.2312	1	2.2312	19.4267	0.0017	
AB	0.0736	1	0.0736	0.6409	0.4440	
Pure Error	0.0622	4	0.0155			
Total	4.1285	12				

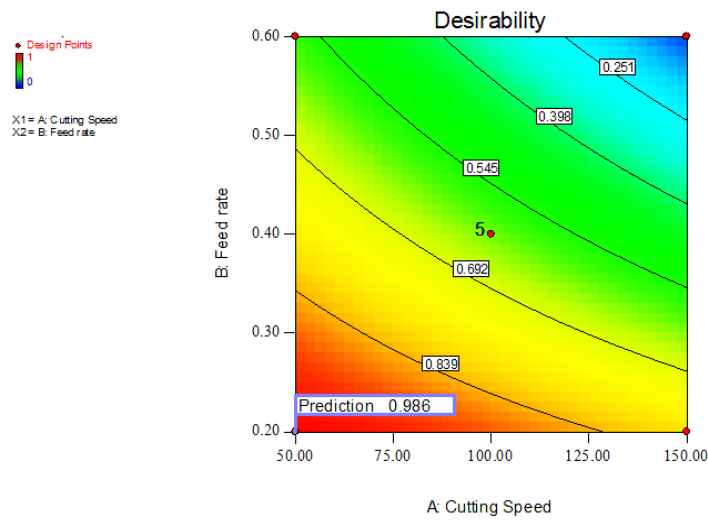
PREES = 3.62 $R^2 = 0.7496$ Adj. $R^2 = 0.6662$ Pred. $R^2 = 0.1192$

ผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ตามตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า Cutting Speed และ Feed rate มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งสองมีผลต่อค่าเฉลี่ยความหยาบผิว (Ra) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ

0.05 ในขณะที่ Feed rate มีผลต่อค่าความหยาบผิวมากกว่า Cutting Speed ในด้านของปัจจัยร่วมพบว่าค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Cutting Speed กับ Feed rate ไม่มีผลต่อค่าความเรียบผิว (Ra) ซึ่งสมการถดถอยแสดงได้ตามสมการที่ 1

$$Ra = 1.05 + 0.31 \text{ Cutting Speed} + 0.53 \text{ Feed rate} + 0.14 \text{ Cutting Speed} \times \text{Feed rate} \quad (1)$$

เมื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกระบวนการกลึงชิ้นงานวัสดุ AISI 4140 ด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ ผลการศึกษาพบว่า Cutting Speed มีค่าเท่ากับ 50 rev/min และ Feed rate มีค่าเท่ากับ 0.2 mm/rev ความพึงพอใจ (Desirability) ของการทดลองเท่ากับ 0.986 ค่าความหยาบผิวมีค่า 0.345 μm ดังภาพที่ 7 และ 8



ภาพที่ 7 ความพึงพอใจของ Model การทดลอง

Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
Cutting Speed	is in range	50	150	1	1	3
Feed rate	is in range	0.2	0.6	1	1	3
Ra	minimize	0.3188	2.228	1	1	5
Solutions						
Number	Cutting Speed	Feed rate	Ra	Desirability		
1	50.00	0.20	0.345497	0.986	Selected	
2	52.84	0.20	0.355632	0.981		
3	50.00	0.21	0.364399	0.976		
4	56.20	0.20	0.367647	0.974		
5	86.91	0.20	0.477348	0.917		

ภาพที่ 8 ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของความเร็รรอบ และอัตราป้อน (Selected)

สรุปผล

จากการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเหล็กกล้าเกรด AISI 4140 ด้วยมีดกลึงโลหะผสม Al_2O_3+TiC จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า

1. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว
 - 1) อัตราป้อน (Feed rate) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวในการกลึงชิ้นงาน เมื่อเพิ่มอัตราป้อนมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่ามากขึ้น
 - 2) ความเร็วตัด (Cutting Speed) มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วตัดสูงชิ้นงานที่ได้จะมีค่าความหยาบผิวที่เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. ด้านโรงงานอุตสาหกรรม ในภาคอุตสาหกรรมหรือผู้ผลิตชิ้นงานที่มีการใช้วัสดุ AISI 4140 ผลิตเป็นชิ้นงานสามารถนำแนวทางการวิจัยนี้ไปเป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ในการผลิตชิ้นงานได้อย่างเหมาะสม
2. ด้านผู้ผลิตอุปกรณ์ การกลึง หรือเม็ดมีด (Insert) สามารถนำอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดข้างต้นไปเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องมือตัดเพื่อเกิดความเหมาะสมสำหรับการใช้งานได้อย่างเหมาะสม
3. ด้านวิชาการ สามารถนำแนวทางการดำเนินการวิจัยไปเป็นแนวทางการวิเคราะห์ผลกระทบจากงานกลึงที่เกิดกับกระบวนการผลิตชิ้นงานด้วยวัสดุ AISI 4140 ได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และกรรมการผู้จัดการ บริษัท ยูเค เอ็นจิเนียริง แอนด์ ซัพพลาย จำกัด ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการทำวิจัยและสถานที่เก็บข้อมูลผลการทดลองครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Grzesik W. (2008). Influence of Tool Wear on Surface Roughness in Hard Turning Using Differently Shaped Ceramic Tools. *Wear*, 256, 327-335.
- Paengchit, P., Saikaew, C. (2018). Effects of Cutting Speed and Feed Rate on Surface Roughness in Hard Turning of AISI 4140 with Mixed Ceramic Cutting Tool. *Key Engineering Materials*, 779, 153-158.
- Singh, H. & Kumar, P. (2004). Tool Wear Optimization in Turning Operation by Taguchi Method. *Indian Journal of Engineering & Materials Science*, 11, 19-24.
- Özel, T., Karpt, Y., Figueira, L., & Davim, J.L. (2007). Modelling of Surface Finish and Tool Flank Wear in Turning of AISI D2 Steel with Ceramic Wiper Inserts. *Journal of Materials Processing Technology*, 189, 192-198.
- Grzesik, W., Wanat, T., (2006). Surface Finish Generated in Hard Turning of Quenched Alloy Steel Parts Using Conventional and Wiper Ceramic Inserts. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, 1988-1995.

- Cai, K.F., McLachlan, D.S., Axen, N., & Manyatsa, R. (2002). Preparation, Microstructures and Properties of Al₂O₃-TiC Composites. *Ceramics International*, 28(2), 217-222.
- Paengchit, P., & Saikaew, C. (2018). Effects of Cutting Speed and Feed Rate on Surface Roughness in Hard Turning of AISI 4140 with Mixed Ceramic Cutting Tool. *Key Engineering Materials*, 779, 153-158.
- Aslantas, K., Uzun, I., & Çicek, (2012). A. Tool Life and Wear Mechanism of Coated and Uncoated Al₂O₃/TiCN Mixed Ceramic Tools in Turning Hardened Alloy Steel. *Wear*, 274-275, 442-451.
- Mohd, A., Adnan, M. H. L., Baba, N. B., Selamat, Z. A., Rose, A. N. M., & Mohamed, S. B. (2020). Optimization of Surface Roughness and Tool Wear on AISI 4140 Using Coated Ni-YSZ for CNC Turning Process. *4th International Conference on Engineering Technology (ICET 2019)*, 1532, 1-11.
- LAUZIER, J (2023). *MachineMetrics*. Retrieved from <https://www.machinemetrics.com/blog/tool-wear>

Received: Apr 2, 2023

Revised: Dec 20, 2023

Accepted: Dec 25, 2023

การพัฒนาฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์

กรณีศึกษา : โรงงานอาหารสัตว์

DEVELOPMENT OF STANDARD JOB CONDITION SHEET FOR DEFECTIVE REDUCTION IN PACKAGING PROCESS CASE STUDY: FEED MILL FACTORY

กวิน พินสำราญ¹ ฉัตรชัย เหล่าเขตการณ์² สุนัฐวิทย์ น้อยโสภะ³ ปฏิพัฒน์ แยมชุตติ เกิดมณี⁴

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยธนบุรี

Kawin Pinsamran¹, Chatchai Laoketkarn², Sunuttavee Noisopha³, Pratipat Yamchutikirdmanee⁴

Faculty of Business Administration, Thonburi University

E-mail: pinsamran@gmail.com,

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ จัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน โดยมุ่งเน้นการลดของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้นำเครื่องมือการควบคุมคุณภาพ (QC Tools) มาประยุกต์ใช้ และแนวคิดการควบคุมพื้นที่การทำงาน (Work Site Control) ในการจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Job Condition Sheet) พบว่า ก่อนปรับปรุงระหว่างเดือนมิถุนายน - สิงหาคม พ.ศ.2565 มีปริมาณของเสียทั้งหมด 1,976 หน่วย มีสัดส่วนของเสียร้อยละ 3.24 ของยอดสั่งผลิต คิดเป็นมูลค่า 17,139.40 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับหลังปรับปรุงระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2565 มีปริมาณของเสียทั้งหมด 1,574 หน่วย มีสัดส่วนของเสียร้อยละ 2.50 ของยอดสั่งผลิต คิดเป็นมูลค่า 13,518 บาท จะเห็นว่าปริมาณของเสียมีสัดส่วนลดลงร้อยละ 0.74 คิดเป็นมูลค่าของเสียลดลงร้อยละ 21.13 ทำให้มีค่าปริมาณของเสียตามเป้าหมายบริษัทกำหนด สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมสภาพการทำงานด้วยสายตาได้

คำสำคัญ: การลดของเสีย, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ, แบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน, การควบคุมด้วยสายตา

Abstract

The objectives of this research were to development of standard job condition sheet by focusing on defective reduction in packaging process. The researcher has applied quality control tools (QC Tools). and the concept of Work Site Control in the preparation of the Standard Job Condition found that. The results showed that Before improvement between June and August 2022 (3 months), there were 1,976 pieces of total waste, with a waste ratio 3.24 of the production order and cost to 17,139 baht. Compared to after renovation between September -November 2022 (3 months), there were 1,574 pieces of total waste, with a waste ratio 2.50 of the production order and cost to 13,518 baht. The amount of waste decreased by 0.74 and defect cost that decreased by 21.13, resulting in the amount of waste according to the company's target. It can reduce production costs effectively. and can visual control the working.

Keywords: Defective Reduction, QC Tools, Standard Job Condition Sheet, Visual Control

บทนำ

ปัจจุบันการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์เชิงอุตสาหกรรมมีอัตราเพิ่มขึ้น มีการเลี้ยงในเชิงพาณิชย์ หรือระดับอุตสาหกรรมครบวงจร และการปรับปรุงพันธุ์สัตว์ให้มีผลผลิตสูง ส่งผลให้การบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาทิ สุนัข ไก่ วัว และสัตว์น้ำ รวมถึงประเทศไทยสามารถส่งออกอาหารสัตว์ได้เพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจทีทีบี คาดว่าปี 2563-2565 อุตสาหกรรมอาหารสัตว์จะมีแนวโน้มเติบโตร้อยละ 4.2 (ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจ ทีทีบี, 2563) ส่งผลให้ผู้ประกอบการจำเป็นต้องมีการวางแผนให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุด ให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจโลกที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยตามมาตราฐานคุณภาพการผลิตแล้วจะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปกติในการผลิตแต่ละครั้งจะมีของเสียเกิดขึ้นเป็นสาเหตุทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาปัญหาและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งประกอบกิจการผลิตและจัดจำหน่ายอาหารสัตว์ทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยนำเข้าอาหารสัตว์สำเร็จรูปจากต่างประเทศ เพื่อมาบรรจุใหม่ในขนาดต่าง ๆ มีกิจกรรมการผลิตหลัก คือ กระบวนการบรรจุภัณฑ์ พบว่า มีปัญหาของเสียของบรรจุภัณฑ์ปริมาณมาก จากการเก็บข้อมูลของเสียของบรรจุภัณฑ์ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึง เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ เดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2565

เดือน	ยอดสั่งผลิต (หน่วย)	ปริมาณของเสีย (หน่วย)	ของเสีย (ร้อยละ)
มิถุนายน 2565	16,320	517	3.17
กรกฎาคม 2565	22,110	723	3.27
สิงหาคม 2565	22,601	736	3.26
รวม	61,031	1,976	3.24

จากตารางข้างต้น แสดงยอดการสั่งผลิตระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม 2565 ทั้งหมด 61,031 หน่วย มีปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด 1,976 หน่วย คิดเป็นร้อยละ 3.24 ซึ่งเกินค่าที่ยอมรับได้ของบริษัท คิดเป็นมูลค่า 17,139.40 บาท (ปริมาณของเสียที่ยอมรับได้ คือ ร้อยละ 3) อีกทั้งกระบวนการผลิตไม่มีการสื่อสารมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง พนักงานไม่มีการรับรู้สัญลักษณ์เครื่องจักร พื้นที่การทำงานมีสิ่งสกปรกและสิ่งกีดขวาง ทำให้ไม่สามารถปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานได้อย่างถูกต้องและควบคุมสภาพการทำงานหน้างานได้อย่างเหมาะสม คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและแก้ปัญหาดังกล่าว โดยใช้เครื่องมือสำหรับการควบคุมคุณภาพ แนวคิดการควบคุมพื้นที่การทำงาน และพัฒนาแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นมาตรฐาน ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล ทั้งยังเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับองค์กรอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานและลดจำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์

ประโยชน์ที่ได้รับ

หลังจากการนำฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นไปใช้ จะสามารถลดปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์น้อยกว่าร้อยละ 3 และสามารถลดต้นทุนทางตรงในการผลิตและงานที่แก้ไข (Rework) ต้นทุนทางอ้อมในการซ่อมบำรุง

เครื่องจักรและสุขภาพความปลอดภัยของพนักงาน รวมถึงสามารถสร้างความเชื่อมั่นและไว้วางใจให้กับลูกค้าด้านมาตรฐานคุณภาพการผลิต

ทบทวนวรรณกรรม

1. เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (QC Tools)

เครื่องมือคุณภาพที่คณะผู้วิจัยเลือกนำมาประยุกต์ใช้ จากเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด หรือที่เรียกกันว่าเครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ นับได้ว่าเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องมือเหล่านี้เป็นการรวบรวมและประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ การใช้หลักการทางด้านเหตุผล และศาสตร์ความรู้ในด้านต่าง ๆ มารวบรวม เพื่อค้นคว้าและทำการศึกษา ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ความเข้าใจในเรื่องระบบการควบคุมคุณภาพให้กับอุตสาหกรรม ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เลือกมาประยุกต์ใช้ในการวิจัย (เรื่องลักษณะ บุตรเพชร และคณะ, 2560) ได้แก่

1.1 ใบตรวจสอบ (Check sheet)

ใบตรวจสอบ เป็นแบบฟอร์มที่อยู่ในรูปตารางหรือรูปภาพ ใช้สำหรับกรอกรายละเอียดของข้อมูล เพื่อช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุและติดตามผลการดำเนินงาน ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบต้องคำนึงถึงคือการกำหนดรายละเอียดที่ชัดเจน เช่น รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ผู้ตรวจสอบวันและเวลาที่ตรวจ เป็นต้น มีการจัดรูปแบบของแบบฟอร์มให้สะดวกต่อการบันทึกข้อมูลง่ายต่อการจำแนกข้อมูลและวิเคราะห์ผล และที่สำคัญควรกำหนดและใช้ใบตรวจสอบให้ตรงกับวัตถุประสงค์ของการตรวจสอบด้วย ใบตรวจสอบในอุตสาหกรรมการผลิตมีหลายแบบแบ่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน [5] ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เลือกมาใช้ครั้งนี้ ได้แก่

(1) ใบตรวจสอบข้อบกพร่อง เป็นใบตรวจสอบที่ใช้ในการบันทึกแยกตามลักษณะของข้อบกพร่องและลักษณะของข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเชิงคุณลักษณะ ผู้ตรวจสอบจะบันทึกโดยทำเครื่องหมายรอยขีดตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องที่เก็บรวบรวมได้ ใบตรวจสอบชนิดนี้จะทำให้ทราบถึงจำนวนของเสียและจำนวนของดี หรือจำนวนทั้งหมดที่ตรวจพบข้อบกพร่อง

(2) ใบตรวจสอบตำแหน่งข้อบกพร่อง เป็นใบตรวจสอบที่ใช้บันทึกตำแหน่งบริเวณที่มีข้อบกพร่อง โดยแสดงรูปภาพบริเวณของผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่อง ผู้ตรวจสอบจะบันทึกโดยทำเครื่องหมายตามตำแหน่งที่พบข้อบกพร่อง หากพบข้อบกพร่องมากกว่า 1 ประเภท จะใช้เครื่องหมายอื่นเพื่อแสดงความแตกต่างของข้อบกพร่อง ใบตรวจสอบชนิดนี้จะทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่เกิดข้อบกพร่องและหาสาเหตุของปัญหาได้

1.2 กราฟ (Graph)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการนำเสนอข้อมูลให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่าง ๆ ได้ง่ายและชัดเจนขึ้น และสามารถใช้ในการวิเคราะห์แปลความหมาย ตลอดจนให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีโดยเฉพาะเมื่อข้อมูลมีจำนวนมาก การนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟสามารถใช้กราฟเส้น กราฟแท่ง กราฟวงกลม กราฟรูปภาพ เป็นต้น

1.3 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับแสดงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยเรียงลำดับปัญหาเหล่านั้นตามความถี่ที่พบจากมากไปน้อย และแสดงขนาดความถี่มากน้อยด้วยกราฟแท่งควบคู่ไปกับการแสดงค่าสะสมของความถี่ด้วยกราฟเส้น ซึ่งแกนของกราฟเป็นประเภทของปัญหาและแกนตั้งเป็นค่าร้อยละของปัญหาที่พบ แผนภูมิพาเรโตใช้เลือกปัญหาที่จะลงมือทำ เพราะปัญหาสำคัญในเรื่องคุณภาพมีอยู่ไม่กี่ประการ แต่สร้างข้อบกพร่องด้านคุณภาพจำนวนมาก ส่วนปัญหาปลีกย่อยมีอยู่มากมายแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพมากนักดังนั้นจึงควรเลือกแก้ไขปัญหาที่สำคัญซึ่งถ้าแก้ไขได้จะลดข้อบกพร่องด้านคุณภาพลงได้มาก

แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์หาเหตุการณ์เกิดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตามกฎของพาเรโต " กฎ 80:20 " คือ การช่วยแยกส่วนน้อยที่สำคัญ ออกจากส่วนมากที่ไม่สำคัญ การแยกสิ่งที่สำคัญมากน้อยออกจากกัน คือ สิ่งที่สำคัญจะมีเพียงร้อยละ 20 ของสิ่งที่ไม่สำคัญร้อยละ 80 ซึ่งคณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นต่างมีความสำคัญทัดเทียมกัน

1.4 แผนภูมิก้างปลา (Fish-bone Diagram)

หลักการของแผนภูมิก้างปลา คือ การใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3-6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (Sub-bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4-5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้วจะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมดที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น (วันรัตน์ จันทกิจ, 2553)

2. การควบคุมพื้นที่การทำงาน (Worksite Control)

เป็นการปรับปรุงขั้นแรกของการดำเนินกิจกรรมระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System ;TPS) เพื่อให้เกิดความพร้อมและสามารถรับรู้ถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้น ด้วยการควบคุมสภาพการทำงานหน้างานให้สามารถรู้และเข้าใจ และแก้ไขปัญหาได้อย่างทันที่ โดยจัดทำให้สภาพการทำงานสามารถควบคุมได้ด้วยสายตา (Visual Control) ในการตรวจสอบสภาพการทำงานหน้างานในปัจจุบันของบริษัทโดยแนวทางในการที่นำมาใช้ในการปฏิบัติงานสำหรับสถานที่ทำงานจะต้องอยู่ในสภาพที่ได้รับการควบคุมดูแล (แผนกเทคโนโลยีการผลิต สถาบันยานยนต์, 2550) ประกอบด้วย

- (1) กำหนดกฎและมาตรฐานในการปฏิบัติงาน
- (2) สร้างคุณภาพเข้าไปในแต่ละกระบวนการ
- (3) เมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ
- (4) หากมีปัญหาก่อขึ้นพนักงานต้องรายงานปัญหาทันที
- (5) 2ส (สะสาง สะดวก) เป็นพื้นฐานของการรักษาความปลอดภัย คุณภาพ ประสิทธิภาพ
- (6) ทำให้กฎเรื่องความปลอดภัยถูกต้องและชัดเจน และให้พนักงานรักษากฎอย่างเคร่งครัด
- (7) การควบคุมดูแลกำลังคน รู้การมาทำงานของพนักงานในแต่ละวัน ว่ามีพนักงานขาดงานหรือไม่

3. การกำหนดเป็นมาตรฐาน (Standardization)

เป็นการกำหนดแบบฟอร์มที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อการจัดทำเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานนั้น ประกอบด้วยแบบฟอร์ม 3 ชนิด (รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, 2552) คือ

(1) Standard Practice Sheet เป็นแบบฟอร์มที่ใช้บันทึกขั้นตอนในการปฏิบัติงานเพื่อใช้เป็นคำสั่งงาน มาตรฐาน (Work Instruction Sheet) อาจดัดแปลงมาจากแผนภูมิการวิเคราะห์งานหรือแผนภูมิมือซ้ายมือขวา (Operation Chart หรือ Right and Left Hand Chart) ก็ได้ โดยตัดสัญลักษณ์และอักษรย่อออก และควรระบุเวลามาตรฐานของงานไว้ด้วย

(2) Standard Job Condition Sheet เป็นแบบฟอร์มที่บันทึกรายละเอียดของการปฏิบัติงาน ณ จุดนั้น ๆ เช่น เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น การจัดวางของชิ้นส่วนงานบริเวณปฏิบัติงาน อาจมีการระบุขั้นตอนของการปฏิบัติงานอย่างคร่าว ๆ ไว้ด้วย

(3) General Job Condition Sheet เป็นแบบฟอร์มที่บันทึกสภาพการทำงานโดยทั่วไป และตำแหน่งสถานที่งานต่าง ๆ โดยสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตทั้งหมด แบบฟอร์มนี้จะบอกรายละเอียดของเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ สภาพเงื่อนไขการทำงาน และเส้นทางไหล หรือ การลำเลียงของวัตถุดิบต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

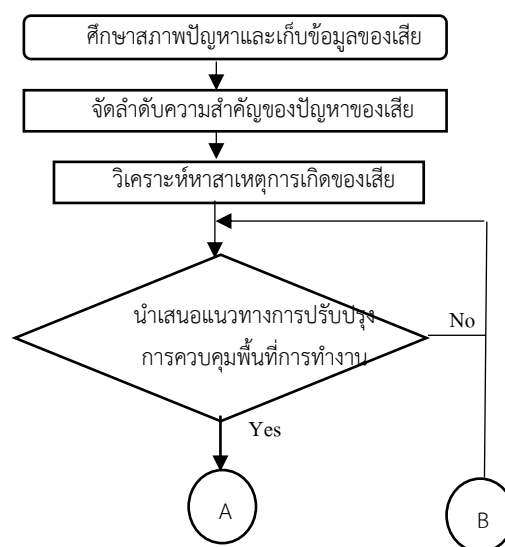
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร (2566) ได้ทำการลดของเสียจากกระบวนการผลิตขนมทองม้วนรสมะพร้าวกรอบ โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ เพื่อค้นหาสาเหตุ ปรับปรุงคุณภาพและลดของเสียในกระบวนการผลิต นำไปตรวจสอบ เพื่อบันทึกและเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้แผนภูมิ Pareto Diagram เพื่อระบุปัญหาที่ และใช้แผนภาพก้างปลาวิเคราะห์หาสาเหตุ ผลจากการแก้ไขปรับปรุงสามารถลดการของเสียได้จำนวน 2,079 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่าที่สามารถลดต้นทุนได้ 103,950 บาท

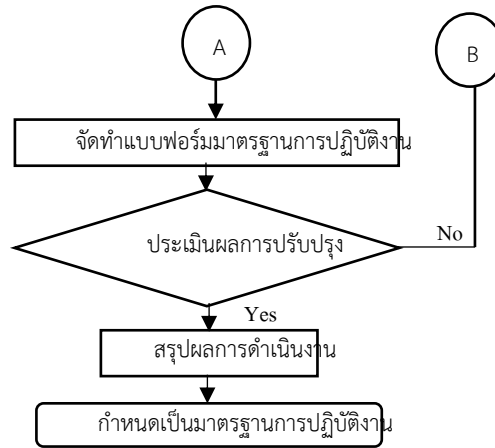
สมรรถธณ เจริญนามวงศ์ (2565) ได้ทำการลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจอกลูมิเนียม โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ ในการค้นหาสาเหตุและเพื่อปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต และเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และการออกแบบวัสดุควบคุมชิ้นงาน (jig fixture) เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตผลการดำเนินการปรับปรุง พบว่า ของเสียลดลงได้ถึง 61.36% จำนวนของเสียที่ลดลงจากเดิม 5,061 ชิ้นประหยัดต้นทุนบริษัทคิดเป็นจำนวนเงินโดยเฉลี่ย 2,370,000 บาท (1 ชิ้น เฉลี่ยเท่ากับ 5 Kg) ในรอบ 2 เดือน คิดเป็นปริมาณการสูญเสียรายปี จะเท่ากับ 14,220,000 บาทต่อปี

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเครื่องมือสำหรับการควบคุมคุณภาพมาประยุกต์ใช้ ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงาน หัวหน้าแผนก และผู้จัดการฝ่ายผลิต โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตอาหารสัตว์สำเร็จรูป แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำไปตรวจสอบใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณของเสีย ใช้แผนภูมิพาเรโตแจกแจงปัญหาและทราบถึงระดับความสำคัญตามลำดับด้วยกฎ 80:20 และแผนภูมิ ก้างปลาใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา กับสาเหตุ การจับกลุ่มระดมความคิด (Brainstorm) กับผู้บริหารและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) และปรับปรุงโดยการนำแนวคิดการควบคุมพื้นที่การทำงาน จัดทำเป็นแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นตามมาตรฐาน สามารถควบคุมสภาพการทำงานด้วยสายตาได้ จากนั้นนำข้อมูลปริมาณของเสียก่อนและหลังปรับปรุงมาเปรียบเทียบ เพื่อประเมินผลการปรับปรุง แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแผนภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



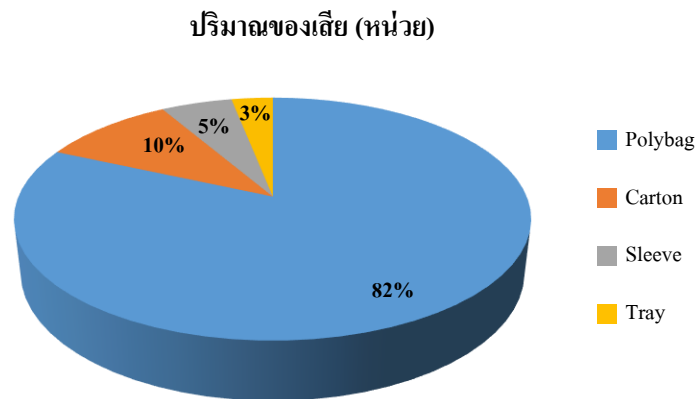
ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน (ต่อ)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาสภาพปัญหาและเก็บข้อมูลของเสีย พบว่า มีปัญหาปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์มาก ส่งผลให้เกิดต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพและประสิทธิผลกระบวนการผลิตต่ำ เนื่องจากต้องสูญเสียเวลาการคัดบรรจุภัณฑ์เสียทิ้ง แล้วนำบรรจุภัณฑ์ใหม่เข้าสู่กระบวนการและสูญเสียเวลาในการแก้ไขงาน (Rework) จากการเก็บข้อมูลปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์แต่ละชนิดด้วยใบตรวจสอบระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พบว่า ข้อมูลยอดการสั่งผลิตทั้งหมด 61,031 หน่วย มีปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด 1,976 หน่วย คิดเป็นร้อยละ 3.24 ซึ่งเกินค่าปริมาณของเสียที่ยอมรับได้ (ปริมาณของเสียที่ยอมรับได้ คือ ร้อยละ 3) ดังตารางที่ 2 และมีปริมาณของเสียบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภทและมูลค่าของเสียแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท เดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2565

ประเภทบรรจุภัณฑ์	ปริมาณของเสีย (หน่วย)	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	มูลค่าของเสีย (บาท)
ฟิล์ม (Polybag)	1,614 (81.68%)	9.50	15,333.00
กล่องกระดาษ (Carton)	196 (9.92%)	6.20	1,215.20
ซอง (Sleeve)	105 (5.31%)	2.90	304.50
ถาดพลาสติก (Tray)	61 (3.09%)	4.70	286.70
รวม	1,976	-	17,139.40



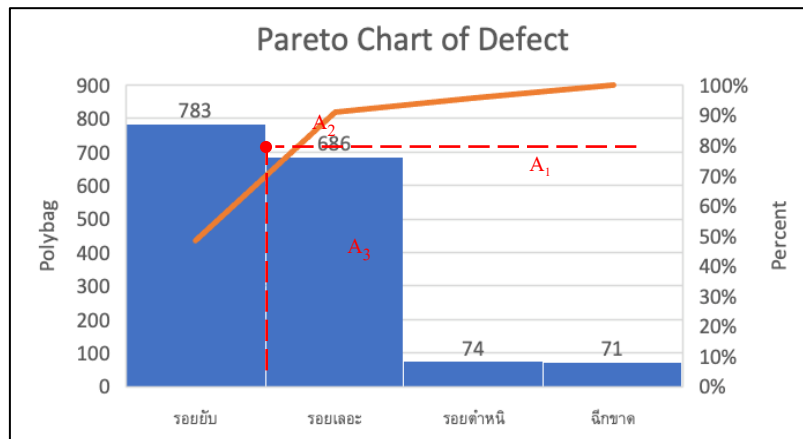
ภาพที่ 2 สัดส่วนของเสียบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ. 2565 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทมีมูลค่ารวม 17,139.40 บาท และจากแผนภาพที่ 3 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท จะเห็นว่าฟิล์มมีสัดส่วนสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 81.68 ของปริมาณของเสียทั้งหมด และมีมูลค่าของเสีย 15,333 บาท ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกวิเคราะห์ปัญหาของฟิล์มเป็นปัญหาหลักในการวิจัยครั้งนี้

2. ผลการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา จากการเก็บข้อมูลลักษณะการเกิดของเสีย พบว่า ฟิล์มมีลักษณะการเกิดความเสียหาย 4 ประเภท ได้แก่ 1) รอยยับ 2) รอยคราบสกปรก 3) ลอยฉีกขาด และ 4) รอยตำหนิ แสดงดังตารางที่ 3 แล้วนำข้อมูลลักษณะของเสีย ร้อยละของเสีย และร้อยละของเสียสะสมใช้สร้างแผนภูมิพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา แสดงดังแผนภาพที่ 3

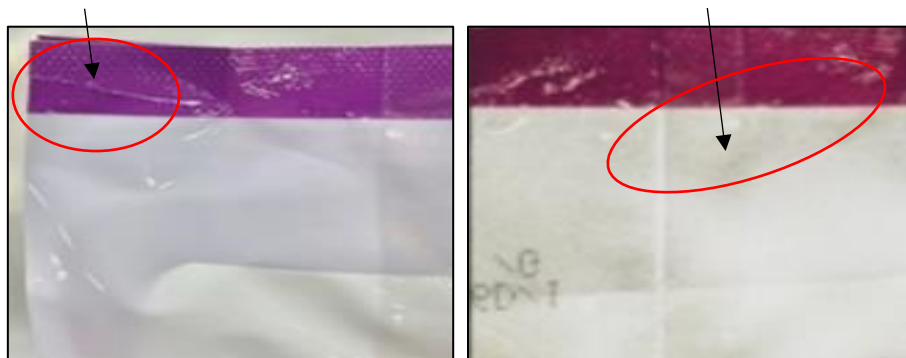
ตารางที่ 3 ข้อมูลลักษณะการเกิดของเสียของถุงฟิล์ม

ลักษณะของเสีย	จำนวนของเสีย (หน่วย)	ร้อยละของเสีย	ร้อยละของเสียสะสม
รอยยับ	783	48.51	48.51
รอยคราบสกปรก	686	42.50	91.01
รอยตำหนิ	74	4.58	95.59
ฉีกขาด	71	4.40	100
รวม	1,614	100	-



ภาพที่ 3 แผนภาพพาเรโตแสดงปัญหา

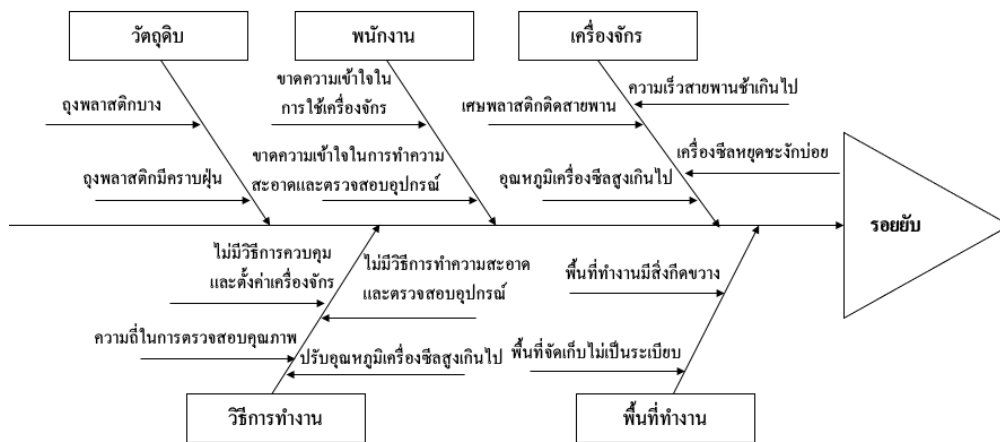
จากแผนภาพข้างต้น พิจารณาปัญหาด้วยหลักการของพาเรโต โดยลากเส้นประ A1 จากร้อยละ 80 ของแกน Y2 ไปตัดกับ กราฟเส้นร้อยละสะสม เกิดเป็นจุดตัด A2 จากนั้น ลากเส้นประ A3 จากจุดตัด A2 ไปทำมุมตั้งฉากกับแกน X จะพบว่า แผนภูมิแท่งที่อยู่ระหว่างแกน Y1 กับเส้นประ A3 เป็นสาเหตุหลักของปัญหา พบว่า มีลักษณะของปัญหา 2 ประเภท ได้แก่ รอยยับ และรอยคราบสกปรก ซึ่งเป็นของเสียหลัก แสดงดังภาพที่ 5 ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเลือกวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่มีลักษณะเป็นรอยยับ และรอยคราบสกปรก เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการปรับปรุงครั้งนี้



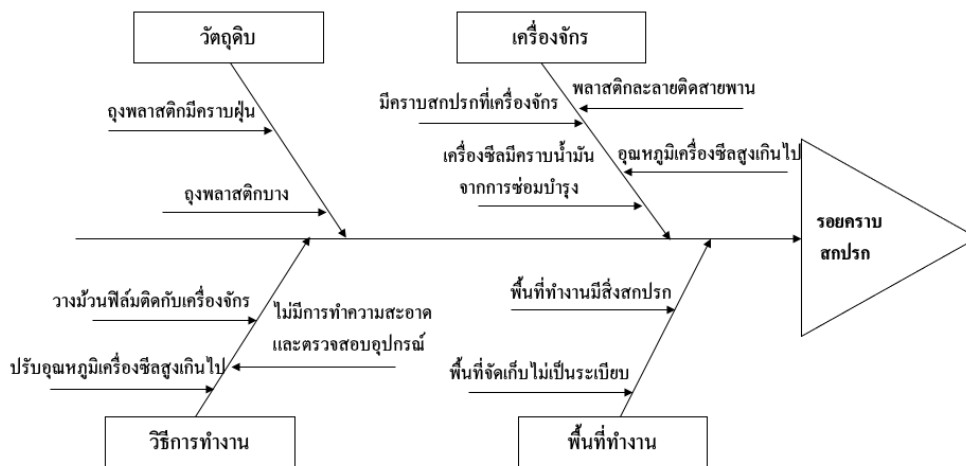
ภาพที่ 4 ลักษณะของเสียรอยยับและรอยคราบสกปรก

3. ผลการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของเสีย

จากการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่า ของเสียมีลักษณะเป็นรอยยับร้อยละ 53.89 และ รอยคราบสกปรก ร้อยละ 36.14 ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงนำทั้งสองปัญหามาวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้แผนผังก้างปลา แสดงดังภาพที่ 5 และ 6



ภาพที่ 5 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุการเกิดรอยยับ



ภาพที่ 6 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุการเกิดรอยคราบสกปรก

จากแผนผังก้างปลาวิเคราะห์ปัญหาของการเกิดรอยยับและรอยคราบสกปรก พบว่า เกิดจากสาเหตุของปัจจัยการผลิต ได้แก่ พนักงาน (Man) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine) วิธีการทำงาน (Method) คุณภาพวัสดุดิบ (Material) และพื้นที่การทำงาน (Working Area) มีผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนี้

1. ปัญหาจากพนักงาน ไม่มีความเข้าใจในการใช้งานเครื่องจักร การรับรู้สัญลักษณ์ในการควบคุม ไม่มีความเข้าใจในการดูแลและตรวจสอบเครื่องจักร
2. ปัญหาจากเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ มีสิ่งสกปรกที่เครื่องจักร เครื่องซีลหยุดชะงักบ่อย คราบน้ำมันจากการซ่อมบำรุง อุณหภูมิหัวเครื่องซีลสูงเกินไป และมีพลาสติกละลายติดสายพาน
3. ปัญหาจากวิธีการทำงาน ไม่มีวิธีการควบคุมและตั้งค่าเครื่องจักร ไม่มีวิธีการทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ และไม่มีแนวทางการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง
4. ปัญหาจากคุณภาพวัสดุดิบ ดุงบรรจุภัณฑ์จากซัพพลายเออร์บางและมีคราบฝุ่น

5. ปัญหาจากพื้นที่ทำงาน พื้นที่การทำงานขาดการดูแลความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อย มีสิ่งสกปรก และสิ่งกีดขวางบนพื้นที่การทำงาน




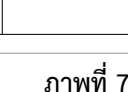
สรุปผลการวิเคราะห์ปัญหา จากการระดมความคิดกับผู้บริหารและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย พบว่า เกิดจากไม่มีมาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องและไม่มีควบคุมพื้นที่การทำงาน ทำให้พนักงานไม่มีการรับรู้สัญลักษณ์เครื่องจักร พื้นที่การทำงานมีสิ่งสกปรกและสิ่งกีดขวาง ไม่สามารถปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานได้อย่างถูกต้องและควบคุมสภาพการทำงานหน้างานได้อย่างเหมาะสม ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงการควบคุมพื้นที่การทำงาน โดยจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นตามมาตรฐาน และสามารถควบคุมสภาพการทำงานด้วยสายตา

4. ผลการจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน

เพื่อให้มีมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standardization) การควบคุมพื้นที่การทำงาน (Worksite Control) คณะผู้วิจัยจึงจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Job Sheet) ดังนี้

4.1 แบบฟอร์มควบคุมกำลังคน (Manpower Control Sheet) เป็นแบบฟอร์มที่บอกรายละเอียดการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง และสอดคล้องกับ JD และ JS โดยมีรายละเอียด ดังนี้ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 7

- (1) การระบุงานที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากพื้นที่
- (2) การสร้างป้ายบ่งชี้ที่ชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน
- (3) การทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ
- (4) การสร้างมาตรฐานควบคุมด้านความปลอดภัย
- (5) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามกฎมาตรฐานได้ถูกต้องทุกขั้นตอน WI
- (6) การแสดงสถานะความสามารถพนักงาน กรณีทำงานทดแทนให้เข้าใจได้ง่ายแบบ
- (7) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน

Standard Job Condition Sheet		Approve by	Checked by	Issued by			
(Station :) มาตรฐาน MANPOWER CONTROL (ผู้รับผิดชอบ :)		Action Date		Time			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	หัวข้อ	มาตรฐานการตรวจสอบ (Man Power Control)			Tool	Self Check	Leader Check
		2S	Safety & Standard	Visual Control			
1. สถานะสิ่งไม่เกี่ยวข้องออกจากพื้นที่ 2. สร้างป้ายชี้บ่งชี้ของเขตที่ชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน 3. ทัศนียภาพสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ 4. สร้างมาตรฐานควบคุมด้านความปลอดภัยในการสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล PPE และปฏิบัติตามกฎมาตรฐาน 5. สร้างมาตรฐานแสดงทักษะพนักงาน Skill Matrix ถูกต้องชัดเจน 6. พนักงานรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามกฎมาตรฐานได้ถูกต้องทุกขั้นตอน 7. กำหนดแผนการพัฒนาศักยภาพพนักงาน 8. แสดงสถานะความสามารถพนักงาน สามารถทำงานทดแทนให้เข้าใจง่ายแบบ Visual Control 9. พนักงานรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามกฎ Basic Rule & Standard Job Sheet	   	1. ไม่มีสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในพื้นที่ () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก..... 2. มีป้ายชี้บ่ง / เส้นขอบเขต / ป้ายชื่อ / ผู้รับผิดชอบ () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก..... 3. ไม่มีขยะ / เศษวัสดุของเสีย () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	1. มีมาตรฐานการดูแลรักษาตามสะอาดและสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก..... 2. มีมาตรฐานแสดงทักษะพนักงาน Skill Matrix () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก..... 3. พนักงานปฏิบัติงานถูกต้องตามมาตรฐาน 100% () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	1. มีการจัดการกำลังคนให้สอดคล้องกับคำสั่งการผลิตมาตรฐาน 100 % () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก..... 2. พนักงานมีทักษะและความสามารถตามเป้าหมาย 100% () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....			

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มควบคุมกำลังคน

4.2 แบบฟอร์มควบคุมคุณภาพ (Quality Control Sheet) เป็นแบบฟอร์มที่บอกรายละเอียดขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ ควบคุมคุณภาพ และการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง โดยมีรายละเอียด ดังนี้ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 8



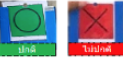
- (1) การสะสมสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากพื้นที่
- (2) การสร้างป้ายชี้บ่งเส้นขอบเขตที่ชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน
- (3) การทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ
- (4) การสร้างมาตรฐานควบคุมด้านคุณภาพในการปฏิบัติงาน ในจุดสังเกตและจุดสำคัญระหว่างการผลิต
- (5) กำหนดเวลาการปฏิบัติงานมาตรฐานแต่ละขั้นตอนการผลิต และปฏิบัติตามกฎมาตรฐาน
- (6) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยในกระบวนการผลิตลงในแบบฟอร์มควบคุมการเปลี่ยนแปลง (Changing Point Daily Check Sheet)
- (7) นำปัญหาคุณภาพประจำเดือนมาทำการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขเพื่อรักษามาตรฐานการปฏิบัติงานให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงสุด
- (8) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน

<div style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 50px; height: 30px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> </div> Standard Job Condition Sheet		Approve by	Checked by	Issued by			
(Station :) มาตรฐาน QUALITY CONTROL (ผู้รับผิดชอบ :)		Action Date		Time			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	หัวข้อ	มาตรฐานการควบคุม (Man Power Control)			Tool	Self Check	Leader Check
		2S	Safety & Standard	Visual Control			
1) การสะสมสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากพื้นที่	นอกระบบเครื่องจักร	1. ไม่มีสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในพื้นที่ () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	1. มีกฎการห้ามการใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล PPE () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	1. แสดงสถานะ 4M Change ทุกวัน () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก.....			
2) การสร้างป้ายชี้บ่งเส้นขอบเขตที่ชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน							
3) การทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ							
4) การสร้างมาตรฐานควบคุมด้านคุณภาพในการปฏิบัติงาน ในจุดสังเกตและจุดสำคัญระหว่างการผลิต							
5) บันทึกการเปลี่ยนแปลงปัจจัยในกระบวนการผลิตลงในแบบฟอร์มควบคุมการเปลี่ยนแปลง (Changing Point Daily Check Sheet)		2. มีป้ายชี้บ่ง / เส้นขอบเขต / ป้ายชื่อ / ผู้รับผิดชอบ () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	2. มีกฎการแสดงผลสถานะของงาน SSM Main () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	2. ควบคุมสถานการณ์การปฏิบัติงานให้เป็นปัจจุบัน () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก.....			
6) นำปัญหาคุณภาพประจำเดือนมาทำการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขเพื่อรักษามาตรฐานการปฏิบัติงานให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสูงสุด							
7) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน		3. ไม่มีขยะ / เศษชิ้นและของสะสม () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	3. พนักงานปฏิบัติตามกฎของงานมาตรฐาน 100% () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก..... เมื่อจาก.....	3. แสดงข้อมูลของเสีย (ค่าจนรับไม่ได้) () ด้าน () ด้านบน/ด้านล่าง () ใต้ด้าน เมื่อจาก.....			

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มควบคุมคุณภาพ

4.3 แบบฟอร์มควบคุมเครื่องจักร (Machine Control Sheet) เป็นแบบฟอร์มที่บอกรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานและการควบคุมเครื่องจักร โดยมีรายละเอียด ดังนี้ แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 9

- (1) การสะสมสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องออกจากพื้นที่
- (2) การสร้างป้ายชี้บ่งเส้นขอบเขตที่ชัดเจนเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน
- (3) การทำความสะอาดและตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ
- (4) การสร้างมาตรฐานควบคุมด้านความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ในจุดสังเกตและจุดสำคัญระหว่างการผลิต
- (5) ขั้นตอนการป้องกันและสังเกตการณ์อันตรายหรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนงาน (SSOP)
- (6) กำหนดเวลาการปฏิบัติงานมาตรฐานและปรับค่าเครื่องจักรแต่ละขั้นตอนการผลิต
- (7) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยในกระบวนการผลิตลงในแบบฟอร์มควบคุมการเปลี่ยนแปลง (Changing Point Daily Check Sheet)
- (8) นำปัญหาคุณภาพประจำเดือนมาทำการวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางการแก้ไขเพื่อรักษามาตรฐานการปฏิบัติงานให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพ สูงสุด
- (9) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน

 Standard Job Condition Sheet							
		Approve by	Checked by	Issued by			
(Station :) มาตรฐาน MACHINE CONTROL (ผู้รับผิดชอบ :)		Action Date		Time			
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	หัวข้อ	มาตรฐานการตรวจสอบ (Man Power Control)			Tool	Self Check	Leader Check
		25	Safety & Standard	Vital Control			
1) การส่งคำสั่งของที่ไม่เกี่ยวข้องออกทันที 2) การสร้างเป้าหมายรับส่งของเขตพื้นที่โรงงานเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน 3) การทำความสะอาดและตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอ 4) การรับมาตรฐานควบคุมความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน ในจุดสังเกตและจุดสำคัญระหว่างการผลิต 5) ขั้นตอนการป้องกันและสังเกตการณ์อันตรายหรืออุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนงาน (SSOP) 6) กำหนดเวลาการปฏิบัติงานมาตรฐานและปรับค่าเครื่องจักรและขั้นตอนการผลิต 7) บันทึกการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยกระบวนการผลิตลงในแบบฟอร์มควบคุมการเปลี่ยนแปลง (Changing Point Daily Check Sheet) 8) นำปัญหาคุณภาพประจำเดือนมาทำกรวยวิเคราะห์สาเหตุและกำหนดแนวทางลดการเกิดปัญหาตามการปฏิบัติงานให้ลดถึงขั้นที่ถูกต้องที่สุด 9) การสร้างการรับรู้เข้าใจและปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงาน	รหัสเครื่องจักร  	1. ไม่มีสิ่งของที่ไม่เกี่ยวข้องอยู่ในพื้นที่ () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	1. แสดงมาตรฐาน SSOP () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	1. มีการรับทราบเชิงเครื่องจักร () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....			
		2. มีป้ายรับส่ง / เส้นขอบเขต / ป้ายข้อห้ามชัดเจน () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	2. มาตรฐานและการปรับค่าเครื่องจักร () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	2. แสดงสถานะเครื่องจักรพร้อมใช้งานสมบูรณ์ 100% () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....			
		3. ไม่มีขยะ / เศษดินและของสะสม () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....	3. มีการแสดงสัญญาณเมื่อถึงขีดจำกัดเครื่องจักร () ผ่าน () ผ่านแบบมีเงื่อนไข () ไม่ผ่าน เมื่อจาก.....				

ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มควบคุมเครื่องจักร

5. ประเมินผลการจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน

จากการจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานตามแนวทางการปรับปรุงแก้ไขระหว่างเดือนสิงหาคม-กันยายน พ.ศ.2565 คณะผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลการปรับปรุงเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยเก็บข้อมูลของเสียของบรรจุภัณฑ์ระหว่างเดือนกันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ.2565 แสดงดังตารางที่ 4

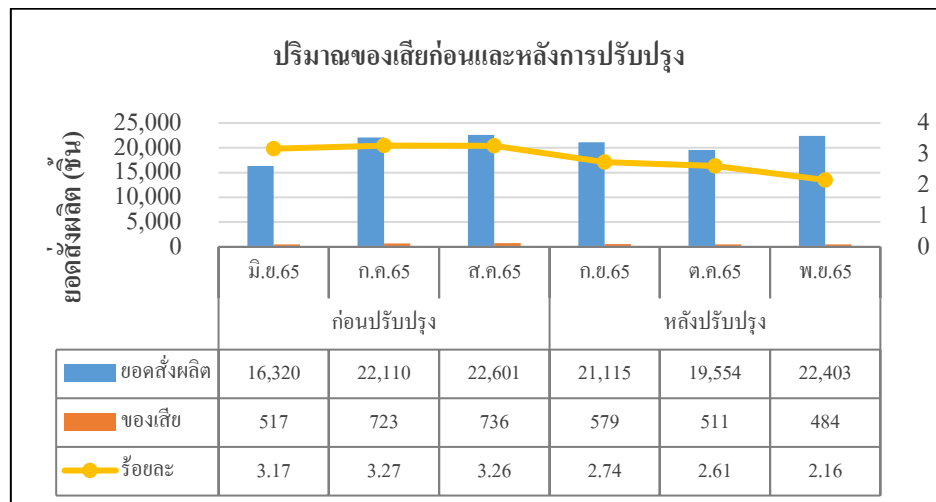
ตารางที่ 4 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ เดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ.2565

ชนิดของบรรจุภัณฑ์	ยอดสั่งผลิต (หน่วย)	ปริมาณของเสีย (หน่วย)	ของเสีย (ร้อยละ)
กันยายน 2565	21,115	579	2.74
ตุลาคม 2565	19,554	511	2.61
พฤศจิกายน 2565	22,403	484	2.16
รวม	63,072	1,574	2.50

จากตารางข้างต้น แสดงยอดการผลิตระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ.2565 ทั้งหมด 63,072 หน่วย พบว่ามีปริมาณของเสียทั้งหมด 1,574 หน่วย มีสัดส่วนของเสียร้อยละ 2.50 และปริมาณของเสียบรรจุภัณฑ์ทุกประเภทมีมูลค่ารวม 13,518 บาท แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์แต่ละประเภท เดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ.2565

ประเภทบรรจุภัณฑ์	ปริมาณของเสีย (หน่วย)	ต้นทุนต่อหน่วย (บาท)	ต้นทุนของเสีย (บาท)
ฟิล์ม (Polybag)	1,274 (80.94%)	9.50	12,103.00
กล่องกระดาษ (Carton)	154 (9.78%)	6.20	954.80
ซอง (Sleeve)	101 (6.42%)	2.90	292.90
ถาดพลาสติก (Tray)	49 (3.11%)	4.70	230.30
รวม	1,574		13,518



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง

จากแผนภาพข้างต้น แสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า ก่อนปรับปรุงช่วงเดือนมิถุนายน – เดือนสิงหาคม มียอดสั่งผลิตทั้งหมด 61,031 หน่วย มีปริมาณของเสีย ทั้งหมด 1,976 หน่วย มีสัดส่วนของเสียร้อยละ 3.24 หลังปรับปรุงช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ.2565 มียอดสั่งผลิตทั้งหมด 63,072 หน่วย มีปริมาณของเสีย ทั้งหมด 1,574 หน่วย มีสัดส่วนของเสียร้อยละ 2.50 ซึ่งเป็นค่าปริมาณของเสียที่ยอมรับได้ (ค่าปริมาณของเสียที่ยอมรับได้ร้อยละ 3) จะเห็นได้ชัดว่าปริมาณของเสียมีสัดส่วนลดลงร้อยละ 0.74

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตอาหารสัตว์สำเร็จรูป แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน และลดจำนวนของเสียในกระบวนการบรรจุภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งคณะผู้วิจัยได้นำเครื่องมือสำหรับการควบคุมคุณภาพ มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลของเสีย การเลือกปัญหาสำคัญด้วยกฎ 80:20 การหาความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุ และแนวคิดการควบคุมพื้นที่การทำงานใช้ในการจัดทำแบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ข้อมูลก่อนปรับปรุงระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม พ.ศ.2565 (3 เดือน) มียอดสั่งผลิตทั้งหมด 61,031 หน่วย ปริมาณของเสียทั้งหมด 1,976 หน่วย สัดส่วนของเสียร้อยละ 3.24 ของยอดสั่งผลิต เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลหลังปรับปรุงระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ.2565 (3 เดือน) มียอดสั่งผลิตทั้งหมด 63,072 หน่วย ปริมาณของเสียทั้งหมด 1,574 หน่วย สัดส่วนของเสียร้อยละ 2.50 ของยอดสั่งผลิต ดังนั้นปริมาณสัดส่วนของเสียลดลงร้อยละ 0.74 และมูลค่าของเสียลดลงร้อยละ 21.13 ทำให้มีปริมาณของเสียอยู่ในเกณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษามูลค่าลดลงร้อยละ 21.13 สามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถควบคุมสภาพการทำงานด้วยสายตาได้ สอดคล้องกับผลการวิจัยของ ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร (2566) และสมรรถธณ เจริญนามวงศ์ (2565) พบว่าการลดของเสียในกระบวนการผลิต โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพในการค้นหาสาเหตุและเพื่อปรับปรุงคุณภาพ สามารถลดปริมาณของเสียและต้นทุนในการผลิตได้

ข้อเสนอแนะ

1. แบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ควรมีการปรับปรุงให้เป็นปัจจุบันอยู่เสมอ หากมีปัจจัยในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลง และมีการขึ้นทะเบียนแบบฟอร์ม เพื่อให้การปฏิบัติงานเป็นไปตามมาตรฐานและมีประสิทธิภาพสูงสุด
2. วิจัยครั้งต่อไป ควรนำวิธีการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำงานในแผนกอื่นทั่วทั้งองค์กร

เอกสารอ้างอิง

- งานบริหารทรัพยากรสุขภาพ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2566). *Siriraj Pareto's Principle* กับ การคัดเลือกปัญหาเพื่อนำไปแก้ไขให้ตรงประเด็น. สืบค้นจาก https://www.si.mahidol.ac.th/th/division/um/admin/download_files/57_48_1vqdBqf.pdf
- แผนกเทคโนโลยีการผลิต สถาบันยานยนต์. (2550). *คู่มือแนะนำการใช้ประโยชน์จากกิจกรรม Toyota Production System : TPS*. สืบค้นจาก <http://www.thaiauto.or.th/ContentImages/TPS/TPS.pdf>.
- ไพฑูริย์ ศิริโอฬาร และ ภักดี ใจซื่อ (2566). การลดของเสียในกระบวนการผลิตขนมทองม้วนมะพร้าวกรอบ. *วารสารช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*, 19(1), 11-20
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). *INDUSTRIAL WORK STUDY การศึกษางานอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ : ท็อป เรืองลักษณ์ บุตรเพ็ชร และคณะ. (2560). *เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด*. สืบค้นจาก http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf.
- วันรัตน์ จันทกิจ. (2553). *17 เครื่องมือนักคิด*. กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ.
- ศูนย์วิเคราะห์เศรษฐกิจ ทีทีบี (2563). *แนวโน้มอุตสาหกรรม อาหารสัตว์ ปี 2563-2565*. สืบค้นจาก https://media.ttbank.com/1/analytics_business_and_industry/4-highlight-desktop-th.pdf.
- สมรรถณ เหรียญนามวงศ์ และ ศักดิ์ชาย รักการ (2565). การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช*, 2(2), 1-11.

Translated Thai References

- Utilization Management, Mahidol University. (2023). *Siriraj Pareto's Principle and Selecting Problems to Solve Directly*. Retrieved from https://www.si.mahidol.ac.th/th/division/um/admin/download_files/57_48_1vqdBqf.pdf.
- Thailand Automotive Institute. (2017). *Usage Guide Toyota Production System Activities : TPS*. Retrieved from <http://www.thaiauto.or.th/ContentImages/TPS/TPS.pdf>.
- Siri-O-Ran, P. & Jaisue, P. (2023). Waste Reduction in Coconut Crisp Roll Dessert Production Process. *Thai Industrial Engineering Network Journal*, 19(1), 11-20.
- Kanchanapanyakorn, R. (2017). *Industrial Work Study*. Bangkok, Thailand: Top Publishing Co., Ltd.
- Budpetch, R., Onsuwan, J. & Mayuresawan, T. (2017). *7 Quality Control Tools*. Retrieved from http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf.
- Chanthakit, W. (2010). *17 Problem Solving Devices*. Bangkok, Thailand Productivity Institute.
- TTB Analytics (2020). *Revenue & Growth of Thai Animal Feed Industry 2017 – 2022*. Retrieved from https://media.ttbank.com/1/analytics_business_and_industry/4-highlight-desktop-th.pdf.
- Rangnamvong, S & Rakkran, S. (2023). Reducing Waste in the Production of Aluminum Glass Frames. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University*, 2(2), 1-11.

Received: Nov 24, 2023

Revised: Dec 28, 2023

Accepted: Dec 29, 2023

แบบจำลองของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า

MODELING OF SOLID OXIDE FUEL CELL FOR VOLTAGE SOURCE INVERTERS WITH LCL-FILTERS FOR CONNECTING TO THE THREE-PHASE GRID OF ELECTRICITY

กัจจัต ใจตรง¹ ปิยะนัฐ ใจตรง²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าและระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

Kumjat Jaitrong¹ Piyanat Jaitrong²

¹Electrical Technology and Automatic Control System, Faculty of Engineering and Technology, Siam Technology College

E-mail: kumjatj@siamtechno.ac.th

²Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi University

E-mail: piyanat@thonburi-u.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า ในโหมดการใช้ประโยชน์อย่างต่อเนื่องได้ปรับเปลี่ยนสำหรับการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง โดยการป้อนกลับกระแสไฟฟ้าเพื่อปรับอัตราการใช้ของอินพุตไฮโดรเจน โดยรูปแบบที่นำเสนอใช้เพื่อศึกษาการทำงานแบบไดนามิกของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า ในการควบคุมเพื่อปรับให้เข้ากับการตอบสนองที่รวดเร็วของกำลังไฟฟ้าใช้งานจะใช้การควบคุมแบบพีไอและลูกระแสไฟฟ้าจะใช้การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และติดตามการเปลี่ยนแปลงโหลดแม่นยำ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลและการลดการแกว่งแบบแอกทีฟเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ความถี่ 50 Hz โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบได้ 50 kW ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันเท่ากับ 0.92% และ 0.1% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ทุกประการ

คำสำคัญ: เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง, การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด, อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน, เชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า

Abstract

The objective of this research is to apply the dynamic model of solid oxide fuel cell for voltage source inverters with LCL-filter for connecting to the three-phase grid of Electricity. A constant utilization mode has been adapted for the operation of a solid oxide fuel cell using current feedback to adjust the hydrogen input flow rate. The proposed model is used to study the dynamic operation of the solid oxide fuel cell for electric power to the voltage source inverter with LCL-filter to connect to the three-phase grid of Electricity. In the control to adjust the fast response, the active power loop uses the PI control and the current loop uses the sliding mode control. The simulation results show that the dynamic model of the developed solid oxide fuel cell can maintain a constant voltage and also the follow load changes accurately. The voltage source inverter with the LCL filter and using an active damping is connected to the three-phase grid of Electricity at a voltage of 380 V at a frequency of 50 Hz by providing power to the system 50 kW. The current and voltage harmonic distortion equal to 0.92% and 0.1% respectively. Affecting the harmonic current was following IEC 61000-3-2 all requirements.

Keywords: solid oxide fuel cell, sliding mode control, voltage source inverters, connected to the three-phase grid of electricity

บทนำ

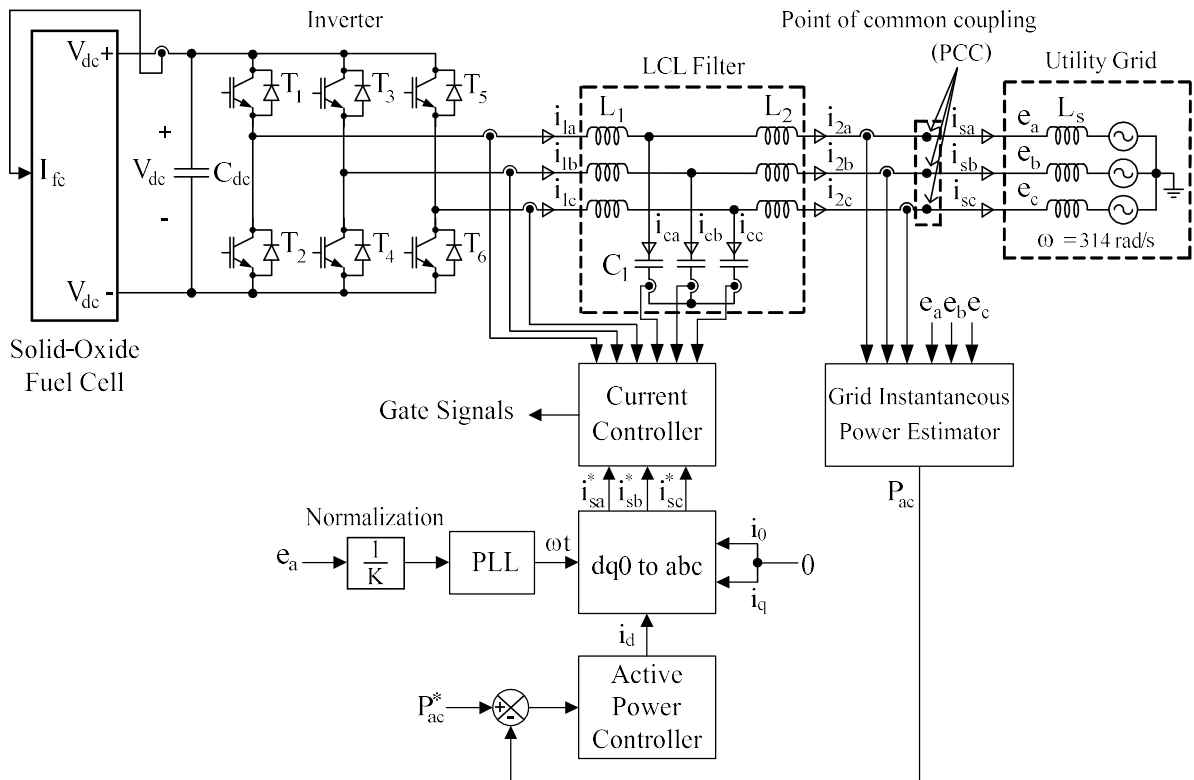
ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานเคมีภายในเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการไฟฟ้าเคมี และที่สำคัญการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงจะไม่เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเพราะเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้กระบวนการเผาไหม้ มีเพียงน้ำและความร้อนเป็นผลพลอยได้ โดยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้โลหะออกไซด์เป็นอิเล็กโทรไลต์ โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิงที่เป็นของแข็งทั้งหมด ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ไม่มีปัญหาเรื่องการกัดกร่อนของเซลล์และการแพร่ของเชื้อเพลิงจากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่งเหมือนเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้สารละลายหรือใช้เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นอิเล็กโทรไลต์ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสามารถดำเนินงานได้ที่อุณหภูมิสูงในช่วง 800-1,000 องศาเซลเซียส จึงมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างสูง (50-60 เปอร์เซ็นต์) เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ (ญาณิพร พัชวรวิโชติ และ อมรชัย อารมณ์วิชานพ, 2016: 50-54). ส่วนการใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับโหนดสามเฟสและมีการเปลี่ยนแปลงโหลด เซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหนดสามเฟสได้ (Birendra Kumar Singh, Dattataraya N. Gaonkar, Radhakrishna S. Aithal and Govind Sharma, 2011: 123-134) ส่วนการเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า ตัวกรองแบบแอลซีแอลถูกใช้อย่างกว้างขวางกับการเชื่อมต่อกับกริด ซึ่งอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลจะสามารถลดริบเบิลของกระแสได้ดีกว่าการใช้ตัวกรองแบบแอลเพียงอย่างเดียว (M. Liserre, F. Blaabjerg and S. Hansen, 2005 : 1281-1291) อย่างไรก็ตามการใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลจะทำให้การควบคุมอินเวอร์เตอร์ซับซ้อนและความไวต่อฮาร์มอนิกส์ (E. Twining and D. G. Holmes, 2003: 888-895) การกำจัดฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถละลายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีโหลดไม่เชิงเส้นและโหลดอิเล็กทรอนิกส์ที่เชื่อมต่อกับกริด นอกจากนี้หากแรงดันไฟฟ้าของกริดนั้นบิดเบี้ยว อาจทำให้อินเวอร์เตอร์สร้างกระแสฮาร์มอนิกขึ้นมา ซึ่งอาจจำเป็นต้องใช้ตัว

ควบคุมเรโซแนนซ์เพื่อเลือกค่าชดเชยฮาร์มอนิก (Wang Xiongfei, Blaabjerg Frede and Loh Poh Chiang, 2012: 1407-1417) ดังนั้นการลดการแกว่งแบบอาร์แอลซีเสมือนเพื่อลดความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันด้วยการใช้ตัวกรองฮาร์มอนิกความถี่สูงอาร์แอลซีแบบแอคทีฟแทนการใช้ตัวกรองด้านเข้าอาร์แอลซีแบบพาสซีฟ (Vladimir Blasko and Vikram Kaura, 1997: 542-550)

งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า วิธีการควบคุมเพื่อปรับให้เข้ากับการตอบสนองที่รวดเร็วลูปลำโพงไฟฟ้าใช้งานจะใช้การควบคุมแบบพีไอและลูปลกระแสไฟฟ้าจะใช้การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด นอกจากนี้ยังใช้กลยุทธ์การลดการแกว่งแบบแอคทีฟสำหรับตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อลดฮาร์มอนิกของกระแสเอาต์พุตที่จะเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า โดยที่กระแสฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ทุกประการ

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะสามารถแสดงระบบในภาพรวมได้ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้ามีดังต่อไปนี้ เมื่อ e เป็นแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสที่กริดสามเฟสของการไฟฟ้า i_s เป็นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า และ P_{ac} เป็นกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า เมื่อเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งผลิตแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ควบคุมแบบพีดีบีลิวเอ็มเพื่อจะสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้ามีเฟสตามแรงดันไฟฟ้าที่กริดสามเฟสของการไฟฟ้า ในขณะที่เดียวกันจะมีการควบคุมให้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้ามีค่าคงที่ โดยเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้ากับค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด ค่าความแตกต่างจะถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบพีไอเพื่อให้ได้เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการคงค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้างดกล่าวคุณกับเฟสของแรงดันที่ได้จากเฟสล็อคลูปล จะได้กระแสไฟฟ้าที่กำหนด ซึ่งค่าความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้าที่กำหนดกับกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์รวมกับผลคูณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวกรองแบบตัวเก็บประจุกับค่าตัวลดการแกว่งแบบแอคทีฟจะถูกควบคุมด้วยการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด เพื่อสร้างพัลส์พีดีบีลิวเอ็มไปควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้าติดตามกระแสที่กำหนด ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้าอินเฟสกับแรงดันไฟฟ้าที่กริดสามเฟสของการไฟฟ้า



ภาพที่ 1 อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า

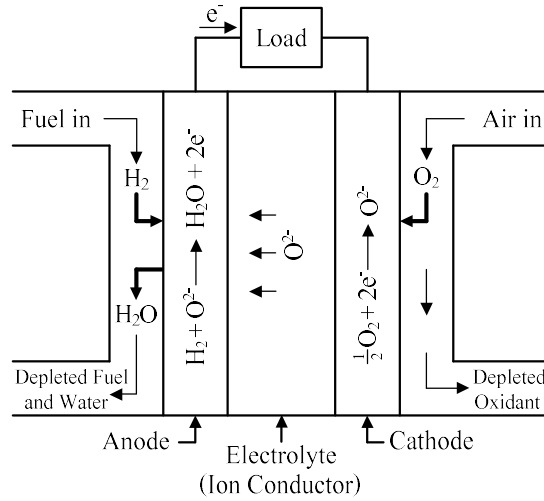
แบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง

เซลล์เชื้อเพลิงเป็นอุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าที่แปลงพลังงานเคมีภายในเชื้อเพลิงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านกระบวนการไฟฟ้าเคมีดังแสดงในภาพที่ 2 เป็นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง ซึ่งแสดงใน (Birendra Kumar Singh, Dattataraya N. Gaonkar, Radhakrishna S. Aithal and Govind Sharma, 2011: 123-134) เซลล์เชื้อเพลิงทั่วไปประกอบด้วย 2 ชั้น ได้แก่ ชั้นแอโนดและแคโทดที่ถูกแยกด้วยอิเล็กโทรไลต์ สามารถสร้างไฟฟ้า โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่ขั้วอิเล็กโทรดแต่ละด้าน เชื้อเพลิงหลักที่ใช้คือก๊าซไฮโดรเจน (H₂) จะถูกป้อนเข้าที่ขั้วแอโนด ส่วนก๊าซออกซิเจนจะเข้าทางขั้วแคโทดทำหน้าที่เป็นสารออกซิเดนต์และใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าเชื้อเพลิงหลักไฮโดรเจน ผลของปฏิกิริยาทางเคมีทำให้เกิดไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (e⁻) ที่หลุดออกมาจากอะตอมของไฮโดรเจน (H₂) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง คือ ไฟฟ้ากระแสตรง, ความร้อน และน้ำบริสุทธิ์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนดและแคโทดในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้ามีดังนี้

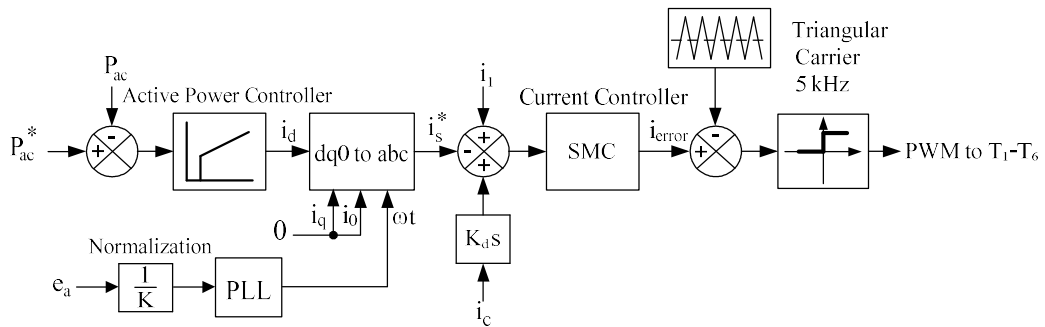


ปฏิกิริยาของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งโดยรวมที่เกิดขึ้นคือ



ภาพที่ 2 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

การวิเคราะห์ระบบควบคุม



ภาพที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน

จากภาพที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน สามารถแบ่งตามการควบคุมได้ดังนี้

ตัวควบคุมระดับกำลังไฟฟ้า

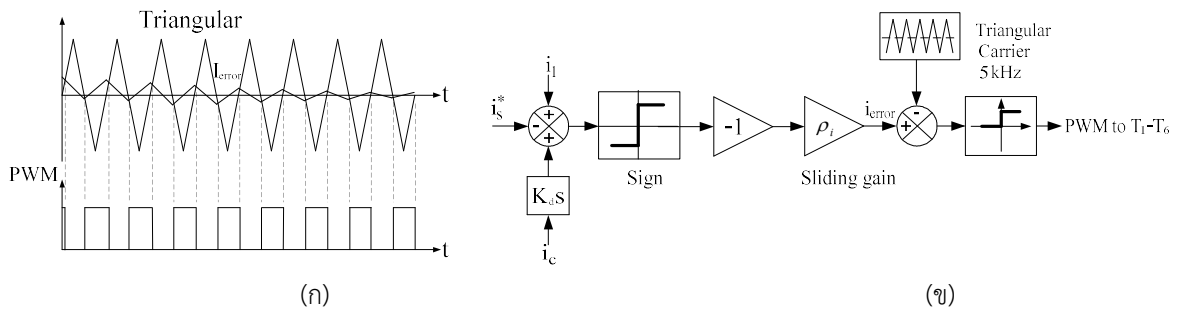
การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน จำเป็นต้องควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ตามค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนด โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอเข้ามาควบคุมความแตกต่างระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดกับค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า ดังนั้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$I_d(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} \right) (P_{ac}^*(s) - P_{ac}(s)) \tag{4}$$

เมื่อ P_{ac}^* และ P_{ac} เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดและค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าตามลำดับ โดยที่ K_p และ K_i คืออัตราขยายเทอมสัดส่วน และเทอมอินทิกรัลของตัวควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า

ตัวควบคุมกระแสไฟฟ้าแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าจะนำเอากระแสไฟฟ้าที่ผิดพลาด(i_{error}) จากการควบคุมแบบสไลด์โหมดของความแตกต่างระหว่างกระแสไฟฟ้าที่กำหนดกับกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์ร่วมกับผลคูณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวกรองแบบตัวเก็บประจุกับค่าแอกทีฟไปมอดูเลตกับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยมความถี่สูง สัญญาณพีดับลิวเอ็มที่ได้เกิดจากการเปรียบเทียบจุดตัดของสัญญาณทั้งสอง ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดการทำงานของวงจรรินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน ดังแสดงในภาพที่ 4 (ก)



ภาพที่ 4 (ก) หลักการทำงานของ การควบคุมสไลด์โหมดแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

(ข) บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การควบคุมสไลด์โหมดแบบเปรียบเทียบรูปสามเหลี่ยม

จากภาพที่ 4 (ข) เป็นบล็อกไดอะแกรมการทำงานของ การควบคุมสไลด์โหมด โดยกฎการควบคุมของสไลด์โหมด เป็นไปตามสมการที่ 5 หรือ 6 ซึ่งแสดงใน (ทวีศักดิ์ ทองแสน ธีรยุทธ ขาติชนะยีนยง และณัฐวุฒิ สุวรรณทา, 2558: 18-31)

$$i_{error}(t) = -\rho_i \operatorname{sgn}(s(x,t)) \tag{5}$$

หรือ

$$i_{error}(t) = \begin{cases} -\rho_i & \text{if } s(x,t) > 0 \\ \rho_i & \text{if } s(x,t) < 0 \end{cases} \tag{6}$$

โดยที่ ρ_i คืออัตราขยายสัญญาณสไลด์โหมดของกระแสไฟฟ้า $\operatorname{sgn}(\cdot)$ คือซิกนัมหรือฟังก์ชันเครื่องหมาย และ $s(x,t)$ คือฟังก์ชันสวิตช์

$$s(x,t) = e_i \tag{7}$$

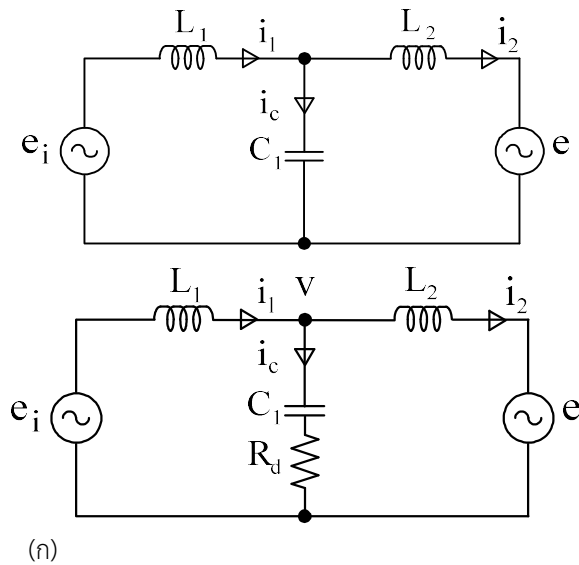
โดย e_i คือ ค่าผิดพลาดของกระแสไฟฟ้า และ x คือ สภาวะของระบบ

ส่วนการกำเนิดสัญญาณพีดับลิวเอ็ม ได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณที่มาจาก การควบคุมแบบสไลด์โหมดกับสัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่ 5 kHz ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ความถี่ 5 kHz เพื่อไปขับสวิตช์ของวงจรรินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน

การวิเคราะห์ตัวกรองแอลซีแอลแบบพาสซีฟและการลดการแกว่งแบบแอกทีฟ

ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟเป็นแนวคิดของตัวต้านทานเสมือนดังที่แสดงใน (P.A. Dahono, 2002:1630-1635) การวิเคราะห์ตัวกรองแบบแอลซีแอลและการลดการแกว่งแบบแอกทีฟเพื่อหาความสัมพันธ์ในการลดกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่ไรโซแนนท์ โดยในการควบคุมจะสร้างตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟขึ้นมา ซึ่งสามารถพิจารณาจากวงจรสมมูล

แบบเฟสเดียวดังแสดงในภาพที่ 5 (ก) โดยที่ e คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของการไฟฟ้า e_i คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน และ L_1, L_2, C_1 คือ ตัวกรองแบบแอลซีแอล ส่วนการวิเคราะห์ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอททีฟจะต้องวิเคราะห์ห้วงจรในภาพที่ 5 (ข) เป็นแนวคิดของตัวควบคุมการแกว่งแบบพาสซีฟ (L. A. Serpa, J. W. Kolar, S. Ponnaluri and P. M. Barbosa, 2005: 565-571) โดยการวิเคราะห์สามารถเริ่มต้นจากการหาความสัมพันธ์ของตัวควบคุมการแกว่งแบบพาสซีฟกับแบบแอททีฟ ซึ่งแสดงใน (กำจัด ใจตรง, 2547: 509-512)



ภาพที่ 5 วงจรสมมูลแบบเฟสเดียวของอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดัน

(ก) ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอล (ข) ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลและตัวลดการแกว่งแบบพาสซีฟ

จากภาพที่ 5 (ข) สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์เพื่อหากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า โดยใช้หลักการวิเคราะห์ของสมการโนด (Node equation) จะได้

$$\frac{V-e}{sL_2} + \frac{V-e_i}{sL_1} + \frac{V}{R_d + \frac{1}{sC_1}} = 0 \tag{8}$$

แก้สมการที่ 8 เพื่อหาค่า V จะได้

$$V = \frac{L_2 C_1 R_d s + L_2}{L_1 L_2 C_1 s^2 + C_1 R_d (L_1 + L_2) s + (L_1 + L_2)} e_i + \frac{L_1 C_1 R_d s + L_1}{L_1 L_2 C_1 s^2 + C_1 R_d (L_1 + L_2) s + (L_1 + L_2)} e \tag{9}$$

จากวงจรภาพที่ 5 (ข) สามารถหาค่า i_s ได้ในสมการที่ 10

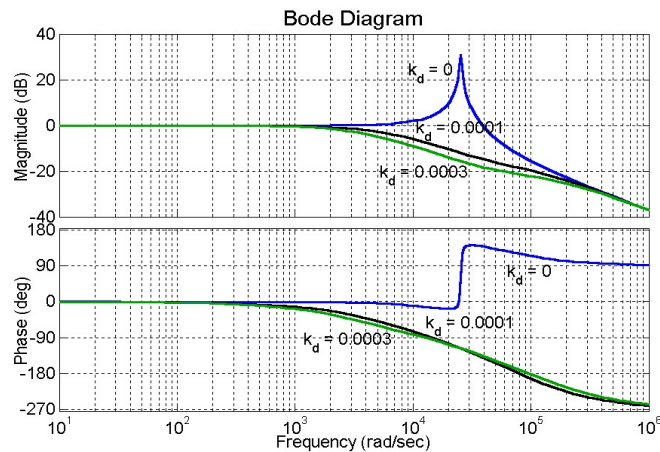
$$i_s = \frac{A i_s^* - B e}{C s^4 + D s^3 + E s^2 + F s + K_1 K_1 K} \tag{10}$$

เมื่อ

$$A = C_1 R_d K K_p s^2 + (C_1 R_d K + K K_p) s + K K_1, \quad B = L_1 C_1 s^3 + C_1 R_d s^2 + s, \quad C = L_1 L_2 C_1, \quad D = C_1 R_d L_1 + C_1 R_d L_2 + K_p K_d K C_1 R_d$$

$$E = L_1 + L_2 + K_p K_d K + C_1 R_d K K_p + C_1 R_d K K_d K_i, \quad F = C_1 R_d K_d K + K_p K + K_d K_d K$$

จากสมการของระบบตามสมการที่ 10 ในการปรับ Damping factor สามารถทำได้โดยการปรับค่า k_d แทนการเพิ่มค่า R_d ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลตอบสนองทางความถี่ของทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของกระแสอินพุตดังสมการที่ 10 เมื่อ k_d เปลี่ยน

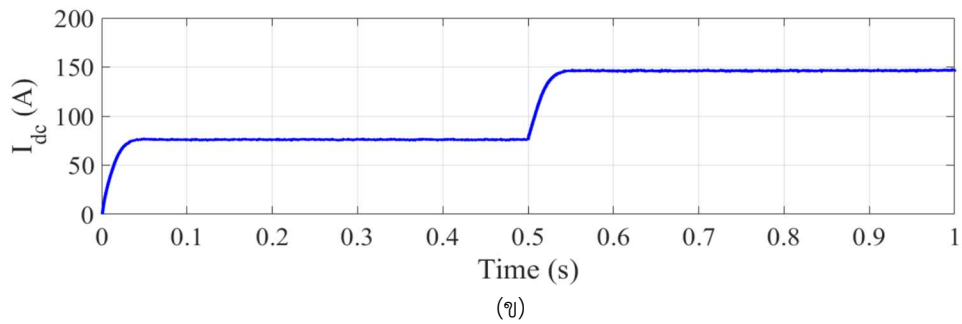
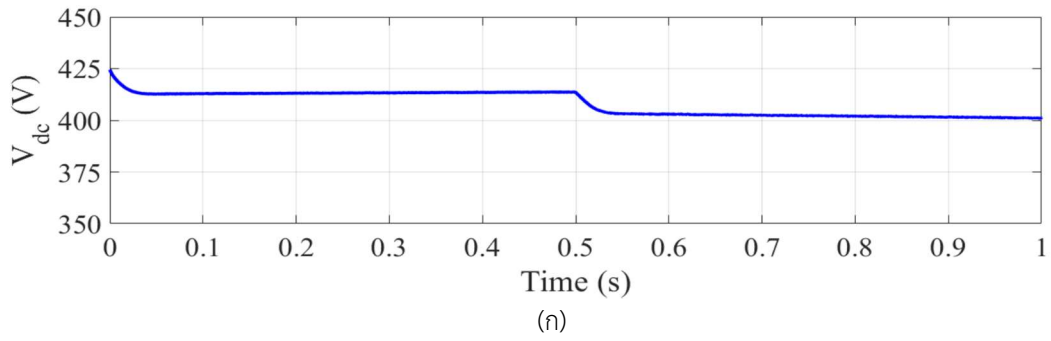
สรุปผลการวิจัย

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแนวคิดที่ได้นำเสนอจะจำลองการทำงานของวงจรที่มีโครงสร้างดังในภาพที่ 1 ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink โดยค่าพารามิเตอร์ของวงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานดังแสดงในตารางที่ 1

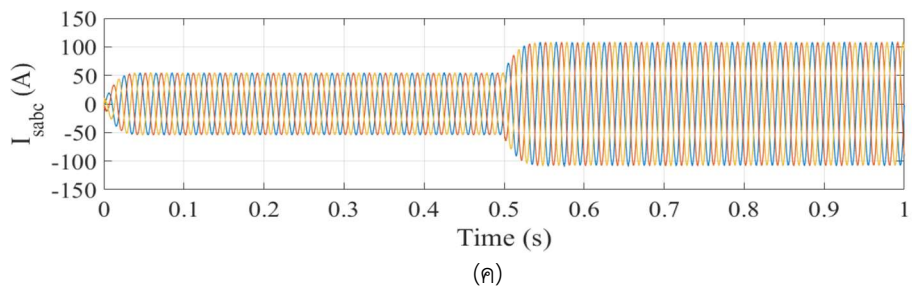
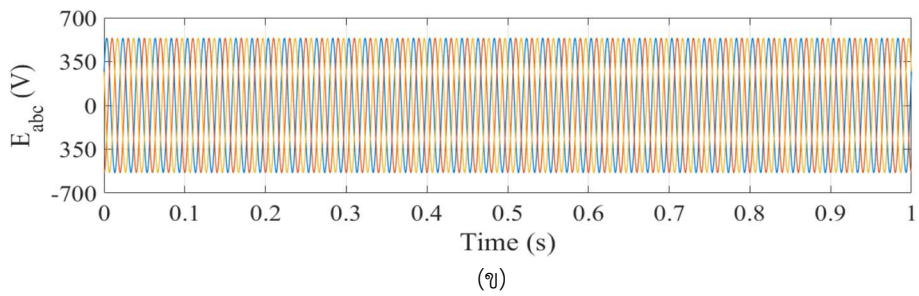
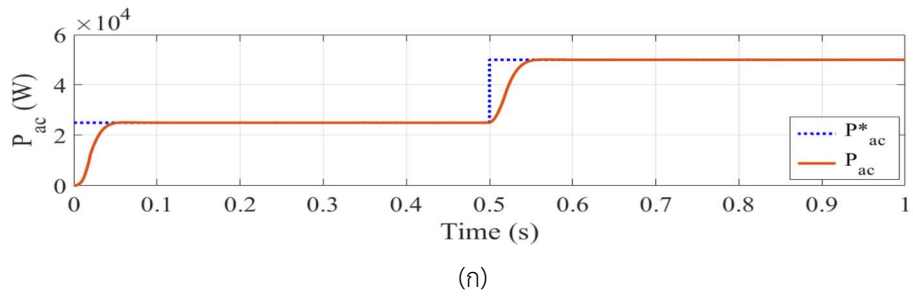
ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันและตัวกรองแบบแอลซีแอล

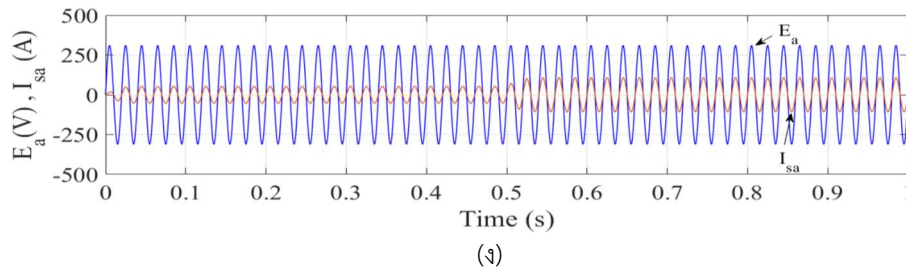
ตัวแปร	ค่าที่ใช้	ตัวแปร	ค่าที่ใช้
พิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต	3,553 W	ตัวเก็บประจุ (C_{dc})	1,000 μ F
แรงดันไฟฟ้า	220 V _{L-N}	ความถี่ในการสวิตช์ (f_s)	5 kHz
แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเซลล์เชื้อเพลิง	400 V _{dc}	ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ (K_d)	0.0003
ตัวเหนี่ยวนำด้านอินเวอร์เตอร์ (L_1)	0.2 mH	ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนของผลต่างของกำลังไฟฟ้า (K_p)	10
ตัวเหนี่ยวนำด้านกริดการไฟฟ้า (L_2)	0.5 mH	ตัวควบคุมอินทิเกรตของผลต่างของกำลังไฟฟ้า (K_i)	5000
ตัวกรองแบบตัวเก็บประจุ (C_1)	5 μ F	การขยายสัญญาณสไลด์ของกระแสไฟฟ้า (ρ_i)	1

ผลการจำลองการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งดังแสดงในภาพที่ 7 ส่วนภาพที่ 8 เป็นผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า



ภาพที่ 7 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงที่เวลา 0.5 s
 (ข) กระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงที่เวลา 0.5 s





ภาพที่ 8 (ก) กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า (ข) แรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า (ค) กระแสไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า (ง) กระแสที่จ่ายให้กริดสามเฟสกับแรงดันเฟสของการไฟฟ้าที่กริดสามเฟส

จากภาพที่ 7(ก) เป็นผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งเมื่ออินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กริดสามเฟสเพิ่มขึ้นจาก 25 kW เป็น 50 kW ที่เวลา 0.5 s พบว่าแรงดันไฟฟ้าลดลงเมื่ออินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กริดสามเฟสเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันผลตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่เอาต์พุตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กริดสามเฟสเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 7(ข)

จากภาพที่ 8(ก) เป็นผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า เมื่ออินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กริดสามเฟสเพิ่มขึ้นจาก 25 kW เป็น 50 kW ที่เวลา 0.5 s ตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบพีไอจะควบคุมให้จ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยใช้เวลาประมาณ 0.05 s ส่วนแรงดันไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้าจะรักษาระดับแรงดันให้คงที่ดังแสดงในภาพที่ 8(ข) ในส่วนกระแสไฟฟ้าสามเฟสที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในภาพที่ 8(ค) และกระแสที่จ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้าจะอินเฟสกับแรงดันไฟฟ้าที่กริดสามเฟสของการไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 8(ง)

จากการจำลองการทำงานเมื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้ากรณีที่ใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟที่แสดงผลได้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าที่ใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ

กำลังไฟฟ้าจ่ายให้กริดสามเฟสของการไฟฟ้า (kW)	I_s (A)	THD _i (%)	$V_{S(L-N)}$ (V)	THD _v (%)	P.F
12.5	19.11	1.22	220	0.1	1.00
25.0	38.04	1.03	220	0.1	1.00
37.5	57.08	0.82	220	0.1	1.00
50.0	75.98	0.60	220	0.1	1.00

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าเมื่อใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.92% และ 0.1% ตามลำดับ สำหรับตัวประกอบกำลังของวงจรอินเวอร์เตอร์

แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าที่ใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.0

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการจำลองวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า เมื่อใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟที่โหลดต่างๆ กัน

กระแสฮาร์มอนิกมาตรฐาน IEC 61000-3-2		ค่ากระแสฮาร์มอนิกที่โหลด (A)			
ฮาร์มอนิกลำดับที่	ค่ากระแสฮาร์มอนิกสูงสุด (A)	12.5 kW	25 kW	37.5 kW	50 kW
3	2.300	0.04	0.04	0.04	0.04
5	1.140	0.10	0.09	0.08	0.01
7	0.770	0.12	0.10	0.05	0.03
9	0.400	0.03	0.03	0.03	0.03
11	0.330	0.22	0.20	0.12	0.10
13	0.210	0.05	0.02	0.03	0.05
15	0.150	0.12	0.10	0.10	0.04
17	0.130	0.08	0.06	0.09	0.13
19	0.120	0.07	0.06	0.08	0.10

จากผลการจำลองการทำงานในตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าวงจรอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ตัวกรองแบบแอลซีแอลเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าเมื่อใช้ตัวควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟ มีค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสฮาร์มอนิกที่ลำดับใดๆ ต่อกระแสฮาร์มอนิกที่ความถี่หลักมุลอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ทุกประการ

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งสำหรับอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า การควบคุมเพื่อปรับให้เข้ากับการตอบสนองที่รวดเร็ว โดยลูปกำลังไฟฟ้าใช้งานใช้การควบคุมแบบพีไอและลูปกระแสไฟฟ้าใช้การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด และใช้การลดการแกว่งแบบแอกทีฟสำหรับตัวกรองแบบแอลซีแอลเพื่อลดฮาร์มอนิกของกระแสเอาต์พุตที่เชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้า ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงพลวัตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็งที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้คงที่และติดตามการเปลี่ยนแปลงโหลดแม่นยำ อินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันที่มีตัวกรองแบบแอลซีแอลและใช้การลดการแกว่งแบบแอกทีฟเชื่อมต่อกับกริดสามเฟสของการไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ความถี่ 50 Hz โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบได้ 50 kW ค่าความผิดเพี้ยนเชิงฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดันเท่ากับ 0.92% และ 0.1% ตามลำดับ ส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิกอยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61000-3-2 ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

กำจัด ใจตรง. (2562). วิธีควบคุมการแกว่งแบบแอกทีฟด้านเข้าตัวกรองแบบแอล-ซีของวงจรเร็กติฟายเออร์สามเฟสแบบ

- พีตัมบลิวเอ็ม. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, 509-512.
- ญาณิพร พ็ชรวรโชติ และ อมรชัย อาภรณ์วิชานพ. (2016). พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดออกไซด์แข็ง. *วารสารส่งเสริมเทคโนโลยี*, 42(245), 50-54.
- ทวีศักดิ์ ทองแสน, อธิยุทธ ขาติชนะยืนยง, และ ณัฐภูมิ สุวรรณทา. (2558). การประยุกต์ใช้การควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดสำหรับอุปกรณ์กักเก็บแรงดันพลวัตเพื่อแก้ไขแรงดันไม่สมดุลแรงดันตกชั่วขณะและแรงดันเกินชั่วขณะในระบบไฟฟ้าสามเฟสโดยใช้อัลกอริทึมแบบเร็ว. *วารสารวิจัย มข*, 15(1), 18-31.
- Singh, B.K., Gaonkar, D. N., Aithal, R. S., & Sharma, G. (2011). Modeling and Performance Analysis of Solid Oxide Fuel Cell Based Distributed Generation System. *International Energy Journal*. 12, 123-134.
- Twining, E., & Holmes, D. G. (2003). Grid Current Regulation of a Three-Phase Voltage Source Inverter with an LCL Input Filter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 18(3), 888-895.
- Serpa, L. A., Kolar, J. W., Ponnaluri, S., & Barbosa, P. M. (2005). A Modified Direct Power Control Strategy Allowing the Connection of Three-Phase Inverter to the Grid Through LCL Filters. *Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2005 Industry Applications Conference*, 1, 565-571.
- Liserre, M., Blaabjerg, F., & Hansen, S. (2005). Design and Control of an LCL Filter-Based Three-Phase Active Rectifiers. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5), 1281-1291.
- Dahono, P. A. (2002). A Control Method to Damp Oscillation in the Input LC-Filter. *Proceedings Power Electronics Specialist Conference*, 4, 1630-1635.
- Blasko, V., & Kaura, V. (1997). A Novel Control to Actively Damp Resonance in the Input LC Filter of Three-Phase Voltage Source Converter. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 33(2), 542-550.
- Xiongfei, W., Frede, B., & Chiang, L. P. (2012). Synthesis of Variable Harmonic Impedance in Inverter-Interfaced Distributed Generation Unit for Harmonic Damping Throughout a Distribution Network. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 48(4), 1407-1417.

Translated Thai References

- Jaitrong, K. (2004). A Control Method to Actively Damp Oscillation in the Input LC Filter of Three-phase PWM Rectifier. *The 27th Electrical Engineering Conference*, 509-512.
- Patcharavorachot, Y., Arpornwichanop, A. (2017). Electrical Power from Solid Oxide Fuel Cells. *Technology Promotion and Innomag Magazine*, 42(245), 50-54.
- Thongsan, T., Chatchanayuenyong, T., & Suwanta, N. (2015). An Application of Sliding Mode Control for a Dynamic Voltage Restorer to Correct Unbalance Voltage, Voltage Sags and Voltage Swells in Three-Phase System Using Rapid Algorithm. *KKU Research Journal*, 15(1), 18-31.



**JOURNAL OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY**
THONBURI UNIVERSITY

Thonburi University

248 Phetkasem 110 Nongkhaengphlu,
Nongkhaem District, Bangkok - 10160