



JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THONBURI UNIVERSITY

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธนบุรี

Vol 8 No 1 January - June 2024
ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2567



ISSN 2730-3837 (Online)



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม- มิถุนายน 2567



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 รวมทั้งสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และในด้านวิทยาศาสตร์ ได้แก่ สาขาวิชา คณิตศาสตร์ สถิติ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา วิทยาศาสตร์การอาหาร วิทยาศาสตร์ชีวภาพ วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาการสารสนเทศ หรือวิทยาศาสตร์ประยุกต์ และสาขาอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. เพื่อเป็นสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้ ความคิดเห็น วิทยาการและเทคนิคใหม่ๆ อันนำไปสู่การพัฒนาทักษะและศักยภาพในการสร้างผลงานทางวิชาการ การค้นคว้า ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. เพื่อส่งเสริมความร่วมมือและการนำเสนอบทความทางด้านการวิจัย และการบริการสังคม

เจ้าของ : มหาวิทยาลัยธนบุรี

ผู้ดำเนินการ : ดร.บัญชา เกิดมณี อธิการบดี มหาวิทยาลัยธนบุรี

บรรณาธิการวารสาร : ดร.ฐิติพร กรัยวิเชียร ผู้อำนวยการสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยธนบุรี

กองบรรณาธิการ

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

ฝ่ายจัดการ และเลขานุการ

อาจารย์ฐานพิณี วชิรสุรงค์	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ ผศ.สมจินต์ อักษรธรรม	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์วสันต์ ลีละธนาฤกษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์สิทธิศักดิ์ ทองสุข	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์นันทวัน นาคอร่าม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์อรรหาวิ เจ๊ะสะแม	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์เอนก นามจันทร์	ศูนย์คอมพิวเตอร์และสารสนเทศ
อาจารย์สุรัตน์ คงคาชาติ	สำนักวิชาศึกษาทั่วไป
อาจารย์วราภรณ์ สุ่มมัตย์	สำนักวิชาศึกษาทั่วไป

คณะกรรมการกลั่นกรอง (Peer Review)

รศ.ดร.ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
รศ.ดร.มานิตย์ ธิมาทา	มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
ผศ.ดร.ศราวุธ สุวรรณอัตถ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ผศ.ดร. วงศ์วิศรุต เชื่องสตุ่ง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผศ.ดร.เรวดี ศักดิ์ดุษฎีธรรม	มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์
ผศ.ดร.พรรษา เอกพรประสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ประสพโชค ให้ทองคำ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.พิสิทธิ วิสุทธิเมธีกร	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.เมธา อึ้งทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.สถิตย์พงษ์ มั่นหล้า	วิทยาลัยดุสิตธานี
ผศ.ดร.พรหมพักตร์ บุญรักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ.ดร.กัม พรประเสริฐ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
รศ.ดร.ปัญญา สำราญหันต์	มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
ผศ.ดร.นภดล เชนะโยธิน	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
ผศ. ดร.น่านน้ำ บัวคล้าย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผศ.จิระศักดิ์ ส่งบุญแก้ว	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผศ.สมจินต์ อักษรธรรม	มหาวิทยาลัยธนบุรี
ผศ. ยอดนภา เกตุเมือง	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ดร.ตันติกร พิษณุพิบูล	สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์
ดร. อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์	สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์
ดร.งามเจ็ด ด้านพัฒนามงคล	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ดร. ยุทธนา คงจีน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ดร.โสธมา เครือเมฆ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
ดร. วสพร นิษรัตน์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ดร. พรหมพักตร์ บุญรักษา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผศ. กิตติพงษ์ พุ่มโกชนา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร. กัลยารัตน์ เชี่ยวชาญ	มหาวิทยาลัยบูรพา
ผศ. บัญชา หิริยาสังห์	มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
ดร. จิรวดี อินทกาญจน์	มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ดร.อุทุมพร อยู่สุข	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ฉบับนี้ จัดพิมพ์ขึ้นเป็นปีที่ 8 ฉบับที่ 1 (มกราคม - มิถุนายน 2567) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทุกบทความเน้นเนื้อหาที่น่าสนใจ และเป็นประโยชน์ต่อวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเนื้อหาของบทความทั้งรูปแบบบทความวิชาการและบทความวิจัยที่ผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา โดยแต่ละบทความผ่านการพิจารณากลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อพัฒนาคุณภาพวารสารและเป็นประโยชน์สูงสุด

ในนามของกองบรรณาธิการของวารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ขอถือโอกาสเชิญชวนคณาจารย์ นักวิชาการและผู้สนใจเสนอบทความเข้ารับการตีพิมพ์เผยแพร่ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณที่ท่านผู้อ่านได้ให้ความสนใจวารสารฯ มาโดยตลอด

ดร.ฐิติพร กรัยวิเชียร

บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม- มิถุนายน 2567

บทความวิจัย

- 1-13 การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยุง
SUITABLE CONDITION OF WASTEWATER TREATMENT FOR MOSQUITO LOTION PROCESS
กรกฎ เพ็ชรหัสณโยธิน ญัฐวุฒิ รัตนธรรมวัฒน์ กาญจนา มุกดา
- 14-27 การใช้โดรนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสำรวจธุรกิจเหมืองแร่ในจังหวัดชลบุรี
USING DRONES TO INCREASE EFFICIENCY AND SURVEY MINING BUSINESS IN CHONBURI PROVINCE
วัฒนา เอกปมิตรศิลป์ สมบัติ ชัยทรัพย์ สมศักดิ์ ตันตาศนี ชนมธิดา ยศปิ่น ประสงค์ อุทัย
- 28-43 การจัดการด้านการพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับการให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์
MANAGEMENT SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF A CHATBOT PROTOTYPE FOR ADVISOR UNDERGRADUATE STUDENTS OF THE COUNSELING AND CAREER DEVELOPMENT FOR STUDENT CENTER: CCDS SECTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY
พรสิริ ขาติปรีชา, ชูติธารรัฐ อุตมะสิริเสณี
- 44-59 การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุน
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PRODUCTION PROCESS OF AUTOMOTIVE PART IN ORDER TO REDUCE COST
บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์ พิพัฒน์ เลิศโกวิท
- 60-70 การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่
DEFECT REDUCTION IN THE PUFF PASTRY FORMING PROCESS A CASE STUDY OF BAKERY PRODUCTION FACTORY
สุคนธ์ทิพย์ เพิ่มศิลป์, ประภากร มูลเงิน
- 71-80 การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า
STUDY OF THE MIXING RATIO OF EXPANDER MATERIALS ON CAPACITY OF NEGATIVE PLATE IN TRACTION BATTERY
สมศักดิ์ มินคร, สมจินต์ อักษรธรรม, วรเทพ ตรีวิจิตร, เถลิง พลเจริญ
- 81-91 DEVELOPMENT OF MANAGEMENT MODEL FOR INNOVATION PLATFORM IN MEDICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDUSTRY IN CHINA
Tang Yuying Nutdanai Singkhleewon Sirikarn Pokheow Sombat Teekasap

Received: Feb 5, 2024

Revised: Jun 20, 2024

Accepted: Jun 25, 2024

การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยุง SUITABLE CONDITION OF WASTEWATER TREATMENT FOR MOSQUITO LOTION PROCESS

กรกฎ เพ็ชรหัสณโยธิน^{1*} ณัฐวุฒิ รัตนธรรมวัฒน์² กาญจนา มุกดา³

^{1,2}สาขาวิทยาการธุรกิจสุขภาพและความงาม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา,

³สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา,

Korakoj Pethasanayothin¹ Nattawoot Rattanathamwat² Kanchana Mukda³

^{1,2}Department of Beauty and Wellness Business Science, Faculty of Science and Information Technology,

³Department of Industrial Chemistry, Faculty of Science and Technology,

Bansomdejchaopraya Rajabhat University

E-mail: ^{1*}korakoj.pe@bsru.ac.th, ²natkmutt3@gmail.com, ³Karn_lovelove1429@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยุง โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน ศึกษาโดยใช้สารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) และสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ใช้พอลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) และพอลิเมอร์ประจุบวก (Cationic Polymer) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ ที่ pH เท่ากับ 11 ปริมาณสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต (FeSO_4) เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ ปริมาณพอลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) เท่ากับ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ 40 นาที และประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, และ ไขมันและน้ำมัน (O/G) ได้ร้อยละ 40.65, 61.20 และ 60.00 ตามลำดับ

คำสำคัญ: กระบวนการโคแอกกูเลชัน, การบำบัดน้ำเสีย, สารโคแอกกูแลนต์, สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด

Abstract

This main objective of this research is to study the the suitable condition of wastewater treatment of mosquito lotion process under coagulation process. The alum and iron (II) sulfate were used as coagulants and anionic polymer and cationic polymer were used as coagulant aid. From experimental result, the suitable condition were pH of 11, amount of iron (II) sulfate of 500 mg/L and amount of anionic polymer of 1.8 mg/L. The suitable setting time was 40 minutes. The BOD, COD and O/G removal efficiencies were 40.65%, 61.20% and 60.00%, respectively.

Keywords: coagulation process, wastewater treatment, coagulant, coagulant aid

บทนำ

ยุงเป็นแมลงที่พบได้ทั่วโลกแต่พบมากในเขตร้อนและเขตอบอุ่น อาหารของยุงลายคือน้ำหวานจากดอกไม้หรือผลไม้ แต่เฉพาะยุงตัวเมียเท่านั้นที่กินเลือด เพื่อนำโปรตีนในเลือดไปพัฒนาไข่ในท้อง ยุงเป็นแมลงที่เป็นพาหะแพร่เชื้อโรคหลายชนิด อีก เช่น โรคไข้เลือดออก ไข้มาลาเรีย เป็นต้น ซึ่งโรคดังกล่าวอาจทำให้เกิดการเสียชีวิตได้ การป้องกันและการควบคุมกำจัด ยุงลายสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กำจัดแหล่งเพาะพันธุ์ของยุงลายที่อยู่ในบ้านและบริเวณรอบๆ กำจัดลูกน้ำยุงลาย ติดมุ้ง ลวด ผีดพ่นสารเคมีในการกำจัดยุงลาย หรือใช้ผลิตภัณฑ์ป้องกันยุง (สำนักโรคติดต่ออันตรายโดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, 2558)

ผลิตภัณฑ์ป้องกันยุงในท้องตลาดมีหลากหลายผลิตภัณฑ์ ทั้งในรูปของยากันยุง แผ่นขุบสารกันยุง หรือผลิตเป็นยาทา ผิวหนังในรูปของครีม สเปรย์หรือโลชั่น ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งที่ยนิยมนำใช้กันมาก เนื่องจากใช้สะดวกและหาซื้อได้ง่าย อย่างไรก็ตามส่วนประกอบหลักในผลิตภัณฑ์ยาทาป้องกันยุงเหล่านี้ ยังคงเป็นสารเคมีที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น Rutger 612, Indalone, Dimethylphthalate และ N, N-diethyl-m-toluamide (DEET) เป็นต้น (ดร. นฤภัสส์ คุ่มกลาง, นางสาวกิตา ทรัพย์อนัน, ดร.น้ำอ้อย ปัญญา, นางสาวดารานัย รบเมือง และ ผศ. วลัยพร สิ้นสวัสดิ์, 2563) ซึ่งในกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุง มักจะมีของเสียตามมาคือน้ำเสียจากกระบวนการผลิต เมื่อปล่อยสู่แม่น้ำลำคลองก็จะทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียเป็นมลพิษแก่สิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

ในปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางเคมี กระบวนการทางฟิสิกส์ กระบวนการทางชีววิทยา (กรมควบคุมมลพิษ, 2545) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549) โดยน้ำเสียที่มาจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ดูแลส่วนบุคคล เช่น เครื่องสำอาง โลชั่น ครีม จะมีสารอินทรีย์อยู่เป็นจำนวนมาก การบำบัดทางชีววิทยาจึงเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ค่อนข้างยาก (Esplugas et al., 2007) เนื่องจากในน้ำเสียมียาสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือย่อยสลายได้ช้าในอัตราส่วนที่สูง ทางเลือกหนึ่งที่ยนิยมนำใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเครื่องสำอางและยา คือ กระบวนการทางเคมี (El-Gohary et al., 2010) (Aloui et al., 2009) (Naumczyk et al., 2014) (Boroski et al., 2009) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาความเป็นไปได้และสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งกระบวนการนี้เป็นที่ยนิยมนำใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีเจือปนหรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณสูง (อิสวดี แสงมณี และคณะ, 2552)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุง
3. เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน เช่น พีเอช ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูเลชัน) ที่เหมาะสม ชนิดและปริมาณสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอ็ด) ที่เหมาะสม เป็นต้น
4. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุงหลังผ่านการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
5. เพื่อศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาป้องกันยุงด้วยสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
2. ทราบถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน
3. ทราบถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงก่อนการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงก่อนการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ คือ pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Oil and Grease (O/G), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Total Iron (Fe) และ Phosphate (PO_4^{3-})

2. ศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูง โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

นำตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตโลชั่นทากันยูง มาทำการศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยวิธีจาร์เทสต์ (Jartest) โดยใช้สารละลายปูนขาวเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิตรต่อลิตร เป็นสารปรับพีเอช ใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) และสารละลายไออน (II) ซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอน (โคแอกกูแลนต์) ใช้พอลิเมอร์ชนิดประจุบวกและพอลิเมอร์ ชนิดประจุลบเป็นสารช่วยสร้างตะกอน (โคแอกกูแลนต์เอด) และวัดความขุ่นหลังกระบวนการโคแอกกูเลชันโดยเครื่องวัดความขุ่น (Turbidity Meter) เนื่องจากความขุ่นสามารถบ่งบอกถึงการมีอยู่ของสารปนเปื้อนหรือมลพิษ

2.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

2.1.1 ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร และเติมสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) แต่ละชนิดลงไป ปริมาณที่ทำให้เกิดตะกอนมากที่สุด บันทึกปริมาณสารที่เติมลงไป

2.1.2 ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ วัดค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย แล้วปรับพีเอชให้เป็น 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้น้ำเสียที่ใส่น้ำยาปรับพีเอช (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) และปรับพีเอชเป็น 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้น้ำยาปรับพีเอช (II) ซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) การปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงนี้ เนื่องมาจากการทดลองศึกษาในเบื้องต้นจากหัวข้อ 2.1.1 และเติมสารโคแอกกูแลนต์เข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร ลงไปในปริมาณที่ทำให้เริ่มเห็นตะกอนที่ได้จากการทดลองในข้อ 2.1.1 จากนั้นทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสต์ ด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 นาที กวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 60 นาทีให้ตกตะกอน ดูดตัวอย่างน้ำใสใต้ผิวน้ำมา 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อวัดความขุ่น และวัดค่าพีเอชของน้ำใสหลังตกตะกอน บันทึกผลการทดลอง และเลือกค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.2 การศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ ปรับพีเอชให้ตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.1 ปรับปริมาณของสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ทั้ง 6 บีกเกอร์ให้มีปริมาณต่าง ๆ กัน ในกรณีใช้น้ำยาปรับพีเอช (II) ซัลเฟต (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโค

แอกกูแลนท์) ปรับปริมาณความเข้มข้นเป็น 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในกรณีที่ใช้สารละลายไอออน (II) ซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์) ปรับปริมาณความเข้มข้นเป็น 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ หลังจากนั้นทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสท์ด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 60 นาทีให้ตกตะกอน ดูดตัวอย่างน้ำใสได้ผิวน้ำมาจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อวัดความขุ่นและวัดค่าพีเอชของน้ำใสหลังตกตะกอน บันทึกผลการทดลอง และเลือกชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.3 การศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารช่วยตกตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอด) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์ ปรับพีเอช ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์) ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 และเติมสารช่วยตกตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอด) คือ พอลิเมอร์ประจุบวก และพอลิเมอร์ประจุลบ แต่ละชนิดลงไปปริมาณที่ทำให้เกิดตะกอนมากที่สุด เลือกชนิดสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสม เพื่อทำการทดลองหาปริมาณที่เหมาะสม

หลังจากได้ชนิดสารละลายพอลิเมอร์ที่เหมาะสมแล้วให้ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ ปรับพีเอช ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์) ให้ตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์เท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 ทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสท์ ด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15 นาที พร้อมกับเติมสารละลายพอลิเมอร์ในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกันลงไปในขณะที่เริ่มกวนช้า โดยปรับปริมาณความเข้มข้นเป็น 1.4, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แล้วตั้งทิ้งไว้ 60 นาทีให้ตกตะกอน ดูดตัวอย่างน้ำใสได้ผิวน้ำมาจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อวัดความขุ่น และวัดค่าพีเอชของน้ำใสหลังตกตะกอน บันทึกผลการทดลอง และเลือกปริมาณพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.4 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ตวงตัวอย่างน้ำเสียมา 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ลงในบีกเกอร์จำนวน 6 ใบ ปรับพีเอช ชนิดและปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์) ชนิดและปริมาณสารช่วยตกตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอด) ให้ตัวอย่างน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์เท่ากับค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.1 และ 2.2 ทำการกวนเร็วโดยใช้เครื่องจาร์เทสท์ด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 1 นาที กวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาทีเป็นเวลา 15 นาที พร้อมกับเติมสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งเป็นสารช่วยตกตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอด) ในปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 2.3 ลงไปในขณะที่เริ่มกวนช้า แล้วตั้งทิ้งไว้ที่เวลาต่างๆกัน คือ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ดูดตัวอย่างน้ำใสได้ผิวน้ำมาจำนวน 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อวัดความขุ่น และวัดค่าพีเอชของน้ำใสหลังตกตะกอน บันทึกผลการทดลอง และเลือกเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.5 ศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาากันยุงหลังผ่านการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทาากันยุงหลังผ่านการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการวิเคราะห์ คือ pH, Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Oil and Grease (O/G), Total Kjeldahl Nitrogen (TKN), Total Iron (Fe) และ Phosphate (PO_4^{3-})

2.6 การศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

นำผลการทดลองทั้งหมดมาคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงก่อนการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การศึกษาคูสมบัติน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตโลชั่นทากันยูง พบว่าน้ำเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตโลชั่นทากันยูงมีปริมาตร 15 คิวต่อวัน และมีคุณลักษณะของน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงก่อนและหลังผ่านบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

พารามิเตอร์	ก่อนตกตะกอน	หลังตกตะกอน	% การบำบัด	มาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2567)
ความขุ่น	348	1.37	-	-
pH	7.09	8.34	-	5.50 – 9.00
BOD (mg/L)	898	365	40.65	< 60
COD (mg/L)	3,838	2,349	61.20	< 120
TKN (mg/L)	68.60	61.60	89.80	< 100
O/G (mg/L)	200	120	60.00	< 5.00
Fe (mg/L)	< 0.05	0.80	-	-
PO ₄ ³⁻ (mg/L)	3.96	1.89	47.73	-

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงก่อนบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 1.1 พบว่า น้ำเสียมีค่าบีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมัน สูงกว่ามาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยมีอัตราส่วนของบีโอดี(BOD) : ซีโอดี (COD) เท่ากับ 0.234 ซึ่งต่ำกว่าปกติ (น้ำเสียโดยปกติจะมีค่าอัตราส่วนบีโอดี (BOD) : ซีโอดี (COD) ประมาณ 0.4 – 0.8) (ณรงค์ฤทธิ์ กิ่งไทยสงค์, 2541) แสดงว่าในตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้หรือย่อยสลายได้ช้าในอัตราส่วนที่สูง จึงเหมาะแก่การบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี

2. ผลการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูง โดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

การทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงตามรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1 โดยน้ำเสียก่อนทำการทดลองมีค่าพีเอช 7.09 และมีค่าความขุ่น 348 NTU

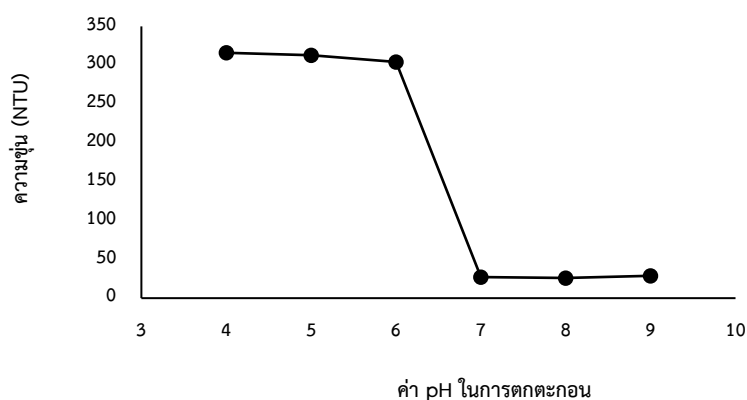
2.1 การหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

2.1.1 ผลการศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์)

จากการทดลองหาปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) เบื้องต้น พบว่าสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ปริมาณความเข้มข้น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดตะกอนมากที่สุด จึงทำการปรับค่าพีเอชในน้ำเสีย ทั้ง 6 บีกเกอร์ให้มีพีเอชเป็น 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ตามลำดับ และใช้ปริมาณสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์)

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4 - 7 จะทำให้ความขุ่นมีค่าลดลงจาก 316, 313, 304, 27.25 NTU ตามลำดับ จนกระทั่งถึงพีเอช 8 จะมีค่าความขุ่นเหลือน้อยที่สุดคือ 26.00 NTU หลังจากนั้นค่าความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้น เป็น 8.60 NTU ตามพีเอชที่สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1

พีเอชหลังตกตะกอนน้ำเสียพบว่ามีค่าพีเอชลดลงเป็น 3.86, 4.06, 5.26, 6.50, 7.84 และ 8.60 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะปรับพีเอชของน้ำเสียก่อนบำบัดด้วยสารละลายปูนขาวให้มีพีเอชเท่ากับ 8 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน เพื่อทดลองหาปริมาณสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสมต่อไป



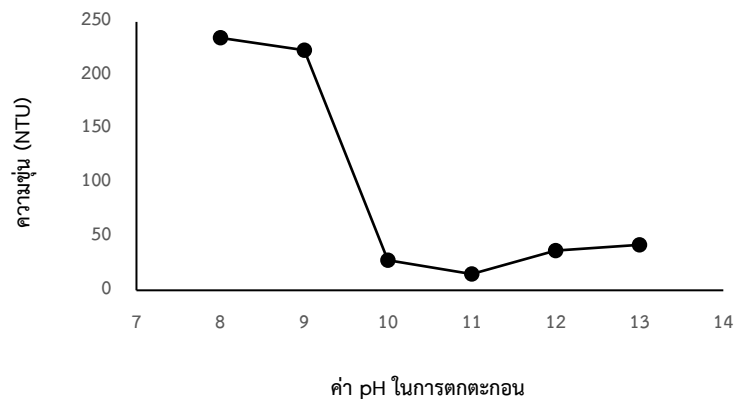
ภาพที่ 1 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการโคแอกกูแลชั่นโดยใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน

2.1.2 ผลการศึกษาหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยใช้สารละลายไอออน (II) ซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์)

จากการทดลองหาปริมาณสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) เบื้องต้น พบว่าสารละลายไอออน (II) ซัลเฟต ความเข้มข้นปริมาณ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณที่ทำให้เกิดตะกอนมากที่สุด จึงทำการปรับค่าพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ให้มีพีเอชเป็น 8, 9, 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ ใช้ปริมาณสารละลายไอออน (II) ซัลเฟต 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์)

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อพีเอชมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 8 - 10 จะทำให้ความขุ่นมีค่าลดลงจนกระทั่งถึงพีเอช 11 จะมีค่าความขุ่นเหลือน้อยที่สุด คือ 15.15 NTU เนื่องจากคอลลอยด์ถูกทำลายเสถียรภาพได้ดีที่สุด หลังจากนั้นค่าความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้นตามพีเอชที่สูงขึ้น เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีเสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 2

พีเอชหลังตกตะกอนน้ำเสียพบว่ามีค่าลดลงเป็น 7.66, 8.96, 10.18, 11.17, 11.56 และ 12.38 ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะปรับพีเอชก่อนบำบัดด้วยสารละลายปูนขาวให้มีพีเอชเท่ากับ 11 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน เพื่อทดลองหาปริมาณสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตที่เหมาะสมต่อไป

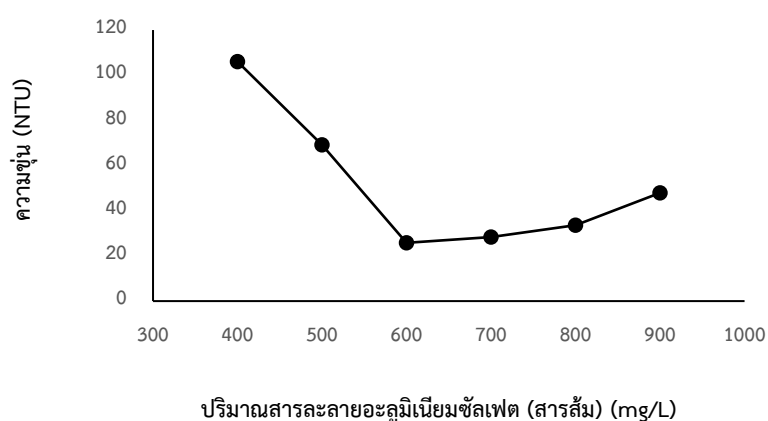


ภาพที่ 2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารละลายไอออน (II) ซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน

2.2 ผลการศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

2.2.1 ผลการศึกษาหาปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) พบว่าค่าพีเอช 8.0 เป็นพีเอชที่เหมาะสม ดังนั้นจึงปรับพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ ให้มีพีเอชเท่ากับ 8 และทดลองหาปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสม โดยปรับสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ให้มีปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ กัน คือ 400, 500, 600, 700, 800 และ 900 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 3 ผลการหาปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เพิ่มขึ้นจาก 400 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ความขุ่นมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงจุดที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟตเท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าความขุ่นเหลือน้อยที่สุด คือ 25.80 NTU หลังจากนั้นค่า

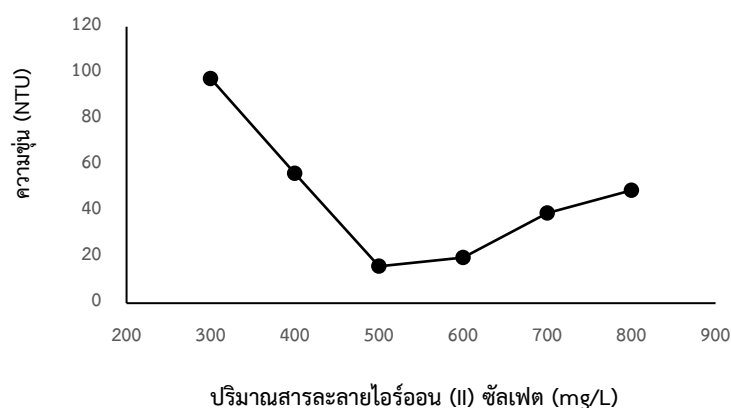
ความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 เนื่องจากไอออนคอมเพล็กซ์ที่มีหมู่ไฮดรอกซิลของอนุภาคคอลลอยด์ ทำให้ความขุ่นมีค่าลดลงและเมื่อปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่มีปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสม จะทำให้คอลลอยด์สูญเสียเสถียรภาพ ทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุดและหลังจากที่จุดนี้เป็นต้นไป เมื่อเพิ่มปริมาณสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ลงไปก็จะทำให้มีไอออนซึ่งมีประจุตรงกันข้ามกับประจุของคอลลอยด์ คอลลอยด์จะแสดงประจุตรงกันข้ามกับของเดิม ทำให้ความขุ่นมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากคอลลอยด์ได้เสถียรภาพกลับคืนมาใหม่นั้นเอง

พีเอชหลังตกตะกอนน้ำเสียพบว่าค่าพีเอชลดลงเป็น 7.70, 7.45, 7.28, 7.07, 6.81 และ 6.55 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชหลังการตกตะกอนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) สามารถแตกตัวแล้วให้ H^+ ซึ่งทำให้พีเอชมีค่าลดลง ดังนั้นการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ปริมาณสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เท่ากับ 600 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นปริมาณของสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.2.2 ผลการศึกษาหาปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากการทดลองหาค่าพีเอชที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายไอออน (II) ซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) พบว่าค่าพีเอช 11 เป็นพีเอชที่เหมาะสม ดังนั้นจึงปรับพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ ให้มีพีเอชเท่ากับ 11 และทดลองหาปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตที่เหมาะสม โดยปรับปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตให้มีปริมาณความเข้มข้นต่างๆกัน คือ 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อเติมสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตลงไปในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ความขุ่นมีค่าลดลงจนกระทั่งถึงจุดที่มีปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟต เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าความขุ่นเหลือน้อยที่สุด คือ 16.00 NTU หลังจากนั้นค่าความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟต ที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 จุดที่มีปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตที่เหมาะสม คอลลอยด์จะสูญเสียเสถียรภาพทำให้มีค่าความขุ่นน้อยที่สุด และหลังจากที่จุดนี้เป็นต้นไป เมื่อเพิ่มปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตลงไป ก็จะทำให้คอลลอยด์ได้เสถียรภาพกลับคืนมาใหม่



ภาพที่ 4 ผลการหาปริมาณของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟตที่เหมาะสมในการตกตะกอน

พีเอชหลังตกตะกอนน้ำเสียพบว่าค่าพีเอชลดลงเป็น 10.85, 10.84, 10.81, 10.76, 10.66 และ 10.58 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าพีเอชหลังการตกตะกอนจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ ดังนั้นการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ปริมาณสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นปริมาณของสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.2.3 ผลการศึกษาหาชนิดสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากผลการทดลองในหัวข้อ 2.2.1 และ 2.2.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความขุ่นของน้ำหลังตกตะกอนโดยใช้สารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตมีค่าเท่ากับ 16.00 NTU ซึ่งมีค่าความขุ่นน้อยกว่าการใช้สารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) ที่มีค่าความขุ่น 26.30 NTU ดังนั้นจึงเลือกสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน

2.3 ผลการศึกษาหาชนิดและปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

2.3.1 ผลการศึกษาหาชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากผลการเปรียบเทียบค่าความขุ่นของน้ำเสียหลังการโคแอกกูเลชันของสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ทั้ง 2 ชนิด พบว่าสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟต เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) ที่เหมาะสม จึงนำมาทำการทดลองหาชนิดของสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน ดังนั้นจึงปรับพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ ให้มีพีเอชเท่ากับ 11 และ ปริมาณสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) และพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (C-0320) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) จำนวน 2.00 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซึ่งเป็นสารละลายพอลิเมอร์ชนิดและปริมาณที่ได้จากการทำการทดลองเบื้องต้น)

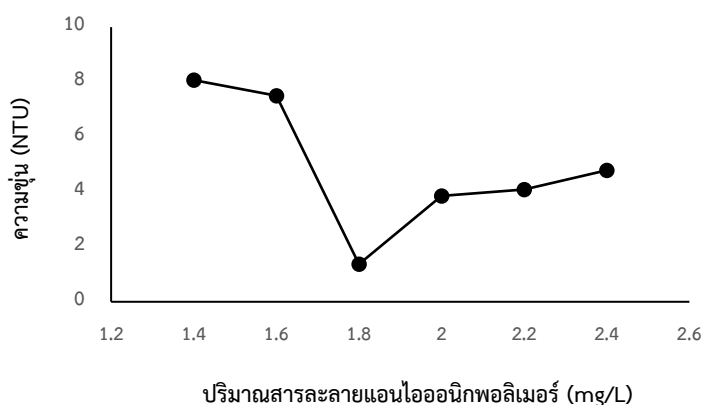
จากผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน น้ำเสียมีค่าความขุ่นหลังโคแอกกูเลชันเท่ากับ 3.37 NTU ส่วนสารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (C-0320) มีค่าความขุ่นหลังโคแอกกูเลชันเท่ากับ 4.85 NTU ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) จะมีค่าความขุ่นน้อยกว่าสารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุบวก (C-0320) นอกจากนี้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่เกาะรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่ดีกว่า ดังนั้นในการทดลองต่อไปจะเลือกใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน

2.3.2 ผลการศึกษาหาปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน

จากผลการศึกษาหาชนิดของสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตเป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) และใช้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอ็ด) ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงปรับพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ ให้มีพีเอชเท่ากับ 11 ปริมาตรของสารละลายไฮดรอกไซด์ (II) ซัลเฟตเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็น 1.4, 1.6, 1.8, 2, 2.2 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า เมื่อมีปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์ เพิ่มขึ้นจาก 1.40 ถึง 1.60 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ความขุ่นมีค่าลดลง จนกระทั่งถึงจุดที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์ เท่ากับ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าความขุ่นเหลือน้อยที่สุด คือ 1.37 NTU หลังจากนั้นค่าความขุ่นจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์ที่เพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 เนื่องจากสารพอลิเมอร์สามารถเกาะติดบนอนุภาคคอลลอยด์ได้หลายตำแหน่ง อนุภาคที่มีพอลิเมอร์เกาะติดอยู่โดยมีปลายอิสระสำหรับเกาะบนอนุภาคอื่นถือได้ว่าเป็น

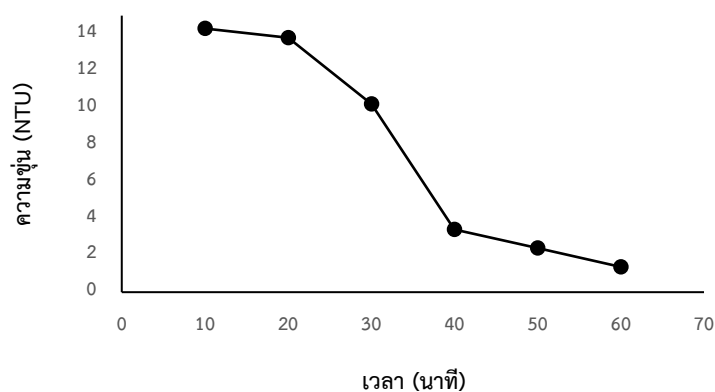
อนุภาคที่สูญเสียเสถียรภาพแล้ว อนุภาคนี้อาจจับตัวกับอนุภาคอื่นๆ โดยมีพอลิเมอร์เป็นสะพานเชื่อม การต่อเชื่อมด้วยพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นได้ตรงตำแหน่งที่มีพอลิเมอร์และ ตำแหน่งว่างบนผิวอนุภาค ถ้าปลายอิสระของพอลิเมอร์ไม่มีที่จะเกาะจับบนอนุภาคอื่นปลายอิสระก็จะเกาะจับบนอนุภาคเดิม ทำให้อนุภาคได้เสถียรภาพกลับคืนมาใหม่ การใช้พอลิเมอร์มากเกินไปทำให้พอลิเมอร์หลายโมเลกุลจะไปเกาะอยู่บนอนุภาคคอลลอยด์ จนกระทั่งไม่มีที่ว่างบนอนุภาคสำหรับเป็นที่จับของปลายอิสระของพอลิเมอร์ที่อยู่บนอนุภาคอื่นๆ อนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจึงเป็นแบบที่มีเสถียรภาพ ดังนั้นการทดลองต่อไปจะเลือกใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์เท่ากับ 1.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นปริมาณความเข้มข้นของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์เหมาะสมในการตกตะกอนที่เหมาะสม



ภาพที่ 5 ผลการหาปริมาณของสารละลายแอนไอออนิกพอลิเมอร์ที่เหมาะสมในการตกตะกอน

2.5 ผลการศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอนโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากผลการศึกษาหาปริมาณสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนท์เอ็ด) ที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชัน พบว่า สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) ปริมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นปริมาณของสารช่วยสร้างตะกอนที่เหมาะสม ดังนั้นจึงปรับพีเอชในน้ำเสียทั้ง 6 บีกเกอร์ ให้มีพีเอชเท่ากับ 11 ปริมาตรของสารละลายไอออน (II) ซัลเฟต 500 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) เป็น 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับเวลาในการตกตะกอนเป็น 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตามลำดับ



ภาพที่ 6 การหาเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน

จากผลการทดลองพบว่า ความขุ่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 30 นาทีแรก และเมื่อเวลาในการตกตะกอนนานขึ้น ความขุ่นจะค่อยๆคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 6 ในการทดลองนี้จึงเลือกเวลาในการตกตะกอน 40 นาที เป็นเวลาที่เหมาะสมในการตกตะกอน เพื่อประหยัดเวลาในการบำบัด

2.6 ผลการศึกษาคุณลักษณะน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงหลังผ่านการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำเสียหลังการตกตะกอนด้วยสภาวะที่เหมาะสมแล้ว แสดงดังตารางที่ 1 พบว่า พีเอช (pH) หลังตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 8.34 และจะเห็นได้ว่าที่เคเอ็นไนโตรเจน (TKN) , ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และเหล็ก (Fe) เมื่อผ่านการบำบัดแล้ว พบว่าค่าเหล่านี้ผ่านมาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม แต่บีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมันยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงควรนำหลังผ่านกระบวนการบำบัดโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันไป การบำบัดทางชีววิทยาต่อไป

2.7 ผลการศึกษาค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย

จากผลการคำนวณค่าสารเคมีทั้งหมดในการตกตะกอนในสภาวะที่เหมาะสม (ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 2.8 กรัมต่อ ปริมาณสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) ปริมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ) พบว่าค่าใช้จ่ายสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์, ไอร์ออน (II) ซัลเฟต, แอนไอออนิกพอลิเมอร์ มีค่าเท่ากับ 0.01316, 0.0235 และ 0.00025 บาทต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นค่าสารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูงโดยกระบวนการโคแอกกูเลชันมีค่าเท่ากับ 36.91 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ราคาสารเคมี แคลเซียมไฮดรอกไซด์ 18 บาท/kg , ไอร์ออน (II) ซัลเฟต 47 บาท/kg, แอนไอออนิกพอลิเมอร์ 139 บาท/kg)

อภิปรายและสรุปผล

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการโคแอกกูเลชันน้ำเสียจากกระบวนการผลิตโลชั่นทากันยูง มีค่าบีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมัน (O/G) ที่เคเอ็น(TKN) ฟอสเฟต(PO_4^{3-}) และเหล็ก(Fe) ก่อนตกตะกอนเท่ากับ 898, 3,838, 200, 68.6, 3.96, และ 0.05 ตามลำดับ พบว่าค่าบีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมัน ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม จึงได้บำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี คือกระบวนการโคแอกกูเลชัน โดยใช้สารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟตและสารละลายอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม) เป็นสารสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์) และใช้สารละลายพอลิเมอร์ประจุลบ (Anionic Polymer) และสารละลายพอลิเมอร์ประจุบวก (cationic Polymer) เป็นสารช่วยสร้างตะกอน (สารโคแอกกูแลนต์เอด) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอน คือ พีเอช 11 ปริมาณสารละลายไอร์ออน (II) ซัลเฟต เท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณสารละลายพอลิเมอร์ชนิดประจุลบ (D-2050) ปริมาณ 1.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้เวลาในการตกตะกอน 40 นาที หลังจากการตกตะกอนน้ำเสียจากกระบวนการผลิตด้วยสภาวะที่เหมาะสม พบว่าคุณลักษณะน้ำหลังการตกตะกอนมีค่าบีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมัน ที่เคเอ็น(TKN) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และเหล็ก(Fe) เท่ากับ 365 , 2,349, 120, 61.6, 1.89 และ 0.80 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมัน ที่เคเอ็น(TKN) ฟอสเฟต(PO_4^{3-}) และเหล็ก(Fe) ได้ร้อยละ 40.65, 61.20, 60, 89.80, และ 47.73 ตามลำดับ

หลังจากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนมาคำนวณหาค่าใช้จ่ายสารเคมีในการบำบัด พบว่าค่าใช้จ่ายสารเคมีในการบำบัดด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 6.32 บาทต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งหลังการบำบัดแล้ว พบว่ามีค่าบี

โอดี (BOD) , ซีโอดี (COD) ปริมาณไขมันและน้ำมันยังไม่ผ่านมาตรฐานน้ำเสียอุตสาหกรรม จึงควรมีการส่งบำบัดทางชีววิทยาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2545). *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย*. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2567). *คุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน*. สืบค้นจาก <https://www.diw.go.th>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). *ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ*. กรุงเทพมหานคร: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.
- ณรงค์ฤทธิ์ กิ่งไทยสงค์. (2541). *การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำยาปรับผ้านุ่มด้วยกระบวนการทางเคมี*. [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภาพัสส์ คุ่มกลาง, กิตา ทรัพย์อ่อน, น้าอ้อย ปัญญา, ดารานัย รบเมือง และ วลัยพร สิ้นสวัสดิ์. (2563). *การศึกษาประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์กันยุงจากสารสกัดธรรมชาติ 5 ชนิด*. โครงการวิจัยจากเงินกองทุนส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- วิริยะอาหารสัตว์. (2567/มกราคม/1). *แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ราคา*./ Facebook. <https://www.facebook.com/p/วิริยะอาหารสัตว์>.
- สำนักโรคติดต่อฯ โดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2558). *คู่มือวิชาการโรคติดต่อเขื้อแดงกึและโรคไข้เลือดออกแดงกึด้านการแพทย์และสาธารณสุข*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อักษรกราฟิกแอนดดีไซน์.
- สำนักโรคติดต่อฯ โดยแมลง กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. (2558). *โรคไข้เลือดออกสำหรับประชาชนและเครือข่ายภาคประชาสังคม*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- อิสวดี แสงมณี, กรกฎ เพ็ชรหัสสนะโยธิน และ สุธน เสถียรยานนท์. (2552). *สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนผลิตอะไหล่รถยนต์*. *ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์*, 9(1), 143-151.
- Aloui, F. , Kchaou, S. , & Sayadi, S. (2009.) Physicochemical treatments of anionic surfactants wastewater: Effect on aerobic biodegradability. *Journal of Hazardous Materials*, 164, 353–359.
- Boroski, M. , Rodrigues, A. C. , Garcia, J. C. , Sampaio, L. C. , Nozaki, J. , & Hioka, N. (2009). Combined electrocoagulation and TiO₂ photoassisted treatment applied to wastewater effluents from pharmaceutical and cosmetic industries. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 448–454.
- Chemrich. (2567/มกราคม/1). *ไอรีออน (II) ซัลเฟต ราคา*./ <https://www.lazada.co.th/shop/chemrich>.
- El-Gohary, F. , Tawfik, A. , & Mahmoud, U. (2010). Comparative study between chemical coagulation/ Precipitation (C/P) versus coagulation/dissolved air flotation (C/DAF) for pre-treatment of personal care products (PCPs) wastewater. *Desalination*, 252, 106–112.
- Esplugas, S. , Bila, D. M. , Krause, L. G. , & Dezotti, M. (2007). Ozonation and advanced oxidation technologies to remove disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 149, 631-642.
- Namsaithai. (2567/มกราคม/1). *แอนไอออนิกพอลิเมอร์ ราคา*./ <https://www.namsaithai.com/shop/category>

Naumczyk, J. , Bogacki, J. , Marcinowski, P. , & Kowalik, P. (2014). Cosmetic wastewater treatment by coagulation and advanced oxidation processes. *Environmental Technology*, 35(5), 541-548.

Translated Thai References

Pollution Control Department (2002). *Domestic Wastewater and Wastewater System*. Bangkok: Pollution Control Department.

Department Of Industrial Works. (2024). *Characteristics of Wastewater Discharged from Factories*. Retrieved from <https://www.diw.go.th>.

Department Of Industrial Works. (2006). *Instructions for Wastewater Treatment System*. Bangkok: Department Of Industrial Works.

Koomklang, N. , Subanek, K. , Panya, N. , Robmuang, D. , & Sinsawas, W. (2020). *A Study of the Performance Testing of Mosquito Repellent Products from Five Natural Extracts*. (Research Report). Bangkok: Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi.

Wiriya pet food. (2024). Calcium hydroxide. Retrieved from <https://www.facebook.com/p/วิธีอาหารสัตว์>.

Division of Vector-bourn Diseases Department of Diseases Controls. (2015). *Academic Manual for Dengue Infection and Dengue Fever in Medicine and Public Health*. Bangkok: Graphic Font and Design Publishing House.

Division of Vector-bourn Diseases Department of Diseases Controls. (2015). *Dengue Fever for Citizens and Civil Society Networks*. Bangkok: Agricultural Cooperative Assembly of Thailand Printing Co., Ltd.

Saengmanee, I. , Pethasanayothin, K. , & Sathianyanon, S. (2009). Suitable Conditions for Treating Wastewater from Automobile Parts Factories. *Advanced Science Journal*, 9(1), 143-151.

การใช้โดรนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสำรวจธุรกิจเหมืองแร่ในจังหวัดชลบุรี

USING DRONES TO INCREASE EFFICIENCY AND SURVEY MINING BUSINESS IN CHONBURI PROVINCE

วัฒนา เอกปมิตศิลป์¹ สมบัติ ทิมทรัพย์² สมศักดิ์ ตันตาสนี³ ชนม์ธิดา ยศปັນ⁴ ประสงค์ อุทัย^{5*}

¹⁻²สาขาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี

³หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยธนบุรี

⁴สาขาการตลาดดิจิทัล คณะบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยอีสต์อีสท์แบงกอก

⁵สาขาการจัดการ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยธนบุรี

Wattana Eakepimshin¹ Sombat Teekasap² SomsakTantasane³ Chonida Yospan⁴ Prasong Uthai⁵

¹⁻²Department of Data Science and Information Technology, Faculty of Science and Technology,
Thonburi University

E-mail: Wattana_it@thonburi-u.ac.th, Sombat @thonburi-u.ac.th

³Master of Business Administration Program, Faculty of Business Administration, Thonburi University

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

⁴Department of Digital Marketing, Faculty of Accounting and Management Science,
Southeast Bangkok University

E-mail: Chontida@sbu.southeast.ac.th

⁵Department of Management, Faculty of Business Administration, Thonburi University

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

*Corresponding Author: prasong_mn@thonburi-u.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยวัตถุประสงค์เพื่อ 1. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อประสิทธิภาพการสำรวจของโดรน 2. เพื่อศึกษาการใช้โดรนที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพและการสำรวจของธุรกิจเหมืองแร่ 3. เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาศักยภาพในปฏิบัติงานของธุรกิจเหมืองแร่ การศึกษานี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ ประชากรที่ใช้ในการวิจัย คือ ธุรกิจเหมืองแร่ในชลบุรี จำนวน 37 บริษัท กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานในธุรกิจเหมืองแร่ในจังหวัดชลบุรี จำนวน 400 คน เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบสอบถาม วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ความถี่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบอย่างง่าย

ผลการศึกษาพบว่า 1. ปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อประสิทธิภาพการสำรวจของโดรนในธุรกิจเหมืองแร่ ตัวแปรเพศกับด้านการใช้โดรน พบมีความสัมพันธ์ในระดับสถิติที่ 0.05 ตัวแปรอายุกับด้านการเพิ่มประสิทธิภาพและการสำรวจ พบมีความสัมพันธ์ในระดับสถิติที่ 0.05 ตัวแปรระดับการศึกษากับด้านธุรกิจเหมืองแร่ พบมีความสัมพันธ์ในระดับสถิติที่ 0.05 2. ด้านการใช้โดรนส่งผลต่อเพิ่มประสิทธิภาพและสำรวจธุรกิจเหมืองแร่ พบมีความสัมพันธ์ในระดับสถิติที่ 0.05 อุตสาหกรรมเหมืองแร่ส่วนใหญ่เริ่มนำเทคโนโลยีการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือ Drone มาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีงาน

รังวัดชนิดต่าง ๆ เช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับงานรังวัด และภาพถ่ายทางอากาศใช้ในการตรวจสอบพื้นที่ประกอบการเหมืองแร่ จากการใช้เทคโนโลยีงานรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับ 3. แนวทางในการพัฒนาธุรกิจเหมืองแร่ ซึ่งสามารถเพิ่มศักยภาพในการปฏิบัติงานในการจัดทำข้อมูลสำหรับการตรวจสอบและกำกับดูแลสถานประกอบการเหมืองแร่ โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นข้อมูลแบบเรียลไทม์ มีความชัดเจน ถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากขึ้น การทดสอบสมมติฐานการวิจัยพบมีความสำคัญในระดับสถิติที่ 0.05 สมมติฐานเป็นจริงทุกข้อ

คำสำคัญ: การใช้โดรน, เพิ่มประสิทธิภาพ, ธุรกิจเหมืองแร่

Abstract

Research objectives: 1. To study personal factors affecting the efficiency of drone surveying. 2. To study the use of drones that affects the increase in efficiency and surveying of the mining business. 3. To study guidelines for developing the operational potential of the mining business. This study is quantitative research. The population used in the research is 37 companies in the mining business in Chonburi. The sample group is 400 employees in the mining business in Chonburi province. The instrument used in the research is a questionnaire. Data were analyzed using frequency, mean, percentage, standard deviation. and multiple regression analysis A simple random sampling method was used.

The results of the study found that: 1. Personal factors affect the efficiency of drone surveying in the mining business. Gender variables and the use of drones It was found that there was a statistical relationship of 0.05 between the age variables and the areas of efficiency enhancement and exploration. It was found that there was a statistical relationship of 0.05 between educational level variables and the mining business. It was found that the relationship was at a statistical level of 0.05. 2. The use of drones affects the efficiency and exploration of the mining business. It was found that the relationship was at a statistical level of 0.05. Most of the mining industry has begun to use surveying technology with unmanned aerial vehicles or Drones to use with various types of surveying technology such as satellite receivers for surveying. and aerial photographs are used to inspect mining areas. From the use of surveying technology with unmanned aerial vehicles. 3. Guidelines for developing the mining business. This can increase operational potential in preparing data for inspection and supervision of mining establishments. The data obtained from the survey is real-time, clearer, more accurate and more efficient. Testing of the research hypotheses was found to be significant at the statistical level of 0.05. All hypotheses were true.

Keywords: drone usage, increase efficiency, mining business

บทนำ

อากาศยานไร้คนขับ (LAV) และประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีการรังวัดด้วยภาพ (Photogrammetry) เพื่อสร้างแบบจำลองภาพสามมิติและแสดงผลภาพรวมการก่อสร้างของโครงการเพื่อให้การติดตามและประเมินงานก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองที่พัฒนามีค่าน้อยกว่า 19 แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้แบบจำลองสามมิติในรูปแบบของพอยต์คลาวด์จากภาพสถานที่ก่อสร้างเพื่อประเมินความคืบหน้าในการก่อสร้างได้อย่างแม่นยำ

เทคโนโลยีโดรน (Mohsan et al., 2022) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุทางถนนเพื่อหาสาเหตุการเกิดอุบัติเหตุและเสนอแนวทางแก้ไขประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหาอุบัติเหตุทางถนนทำให้มีผู้เสียชีวิตและบาดเจ็บจำนวนมากในแต่ละปีจากการศึกษาพบว่าอากาศยานไร้คนขับสามารถลดระยะเวลาในการเก็บและรวบรวมข้อมูล อีกทั้งเพิ่มความปลอดภัยให้กับทีมสืบสวนอุบัติเหตุ ทำให้สามารถเก็บรวบรวมข้อมูลตำแหน่งต่างๆ ณ จุดชนและจุดสุดท้ายของการชนได้อย่างถูกต้องรวมทั้งลักษณะความเสียหายของจุดเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถนำเข้าสู่โปรแกรมวิเคราะห์การชนเพื่อลดการเกิดอุบัติเหตุไปสู่การวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุภาพที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ สรุปว่าอากาศยานไร้คนขับสำหรับการใช้งานการสำรวจระยะไกลได้เป็นอย่างดี (Gowroju & Ramchander, 2023) การพัฒนาระบบควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ซึ่งเป็นอากาศยานที่สามารถควบคุมได้จากระยะไกล โดยในปัจจุบันมีการใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ อย่างแพร่หลาย ตัวอย่างเช่น การใช้ในงานสำรวจพื้นที่ การค้นหา การเกษตร และการถ่ายภาพ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาระบบควบคุมการบินสำหรับอากาศยานไร้คนขับ โดยนำสถาปัตยกรรมการควบคุมเชิงพฤติกรรมมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมให้อากาศยานดังกล่าวสามารถหลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่เข้าชนกับวัตถุกีดขวางได้โดยอัตโนมัติ ทางอุตสาหกรรมโดรน (Mahajan, 2021) การศึกษาอากาศพลศาสตร์ของอากาศยานไร้คนขับปีก box-wing ขึ้น-ลงทางดิ่งขนาดเล็กโดยใช้แพนอากาศแบบรุ่น S3010 ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์แรงยกสูงจากผลการเปรียบเทียบกับสภาพอากาศที่นิยมใช้ในการออกแบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก พบว่ามีความเร็วอากาศเท่ากับ 17.5 เมตร/วินาที และมีมุมปะทะ 0° อากาศยานไร้คนขับปีก box-wing มีอัตราส่วนระหว่างแรงยกต่อแรงต้านเพิ่มขึ้น 9.43% เมื่อเทียบกับอากาศยานไร้คนขับปีกขึ้นเดียว และมีการนำเสนอการติดตั้งชุดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถปรับมุมได้ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบครั้งต่อไป (The preliminary design) อากาศยานไร้คนขับได้มีผู้กล่าวไว้ว่าสามารถนำมาใช้งานด้านการสำรวจในระยะไกลได้ และยังช่วยให้ประหยัดเวลาในการทำงานได้ในหลายๆ ด้านเช่นด้านการค้นหา ด้านการเกษตร และยังทำให้องค์กรมีการทำงานที่รวดเร็วได้อีกขึ้น

การสำรวจและสร้างข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับได้ผลลัพธ์ของการสำรวจเป็นข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง. ระบบตรวจจับและสำรวจ จากข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่ได้จากอากาศไร้คนขับและเปรียบเทียบกับข้อมูลความสูงของต้นไม้จากการสำรวจภาคสนามในแปลงตัวอย่างจำนวน 10 แปลง การวิจัยพบว่าความสูงของต้นไม้ที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับและความสูงของต้นไม้ที่ได้จากการสำรวจในแปลงตัวอย่างมีความสอดคล้องกันค่อนข้างมาก ความแตกต่างของความสูงเฉลี่ยรายแปลงอยู่ระหว่าง -0.025 ถึง 0.07 เมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้ข้อมูลความสูงต้นไม้จากอากาศยานไร้คนขับในการประเมินปริมาณคาร์บอนกักเก็บได้. สำรวจภาคสนามการจำลองระดับน้ำท่วมด้วยข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขจากการบินถ่ายด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับ เพื่อสร้างข้อมูลแบบจำลอง ความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model: DEM) จากการบินถ่ายด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle System: UAVs) และ เพื่อจำลองระดับน้ำท่วมจากข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (DEM) จากการบินถ่ายด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับ. การสำรวจสภาพพื้นที่

การถ่ายภาพด้วยโดรน (Yao et al., 2019) ทรัพยากรแร่ธาตุพบกระจายอยู่ทั่วไปทุกภูมิภาคในประเทศไทย เช่น แร่ดีบุก แร่ลิเทียม แร่โคโลมันต์ แร่หินปูน ฯลฯ ทรัพยากรแร่ (Pradipta et al., 2019) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของปัจจัยการเมือง สังคม เทคโนโลยี และเศรษฐกิจ ที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการกองทุนเหมือง โดยมีค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับเท่ากับ 0.905 การวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถาม ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติร้อยละ ค่าความถี่และการวิเคราะห์แบบจำลองสมการโครงสร้าง อุตสาหกรรมเหมืองแร่

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์และใบพัดมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมากไม่เป็นนัยสำคัญเมื่อมีการ

เพิ่มความเร็ว โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.625 หรือ 62.5 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่ากำลังขับที่ให้ (รอบมอเตอร์สูงสุด) ที่ค่ากำลังขับสูงสุดอยู่ที่ความเร็วของกระแสอากาศ 25 เมตร/วินาที ประสิทธิภาพการใช้อากาศยานไร้คนขับ ด้วยความสำคัญข้างต้นที่กล่าวมานั้นคณะผู้วิจัยได้สนใจทำงานวิจัยเรื่อง การใช้โดรนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสำรวจธุรกิจเหมืองแร่ในจังหวัดชลบุรี

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคลที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการสำรวจของโดรน
2. เพื่อศึกษาการใช้โดรนที่ส่งผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพและการสำรวจของธุรกิจเหมืองแร่
3. เพื่อศึกษาแนวทางในการพัฒนาศักยภาพในการปฏิบัติงานของธุรกิจเหมืองแร่

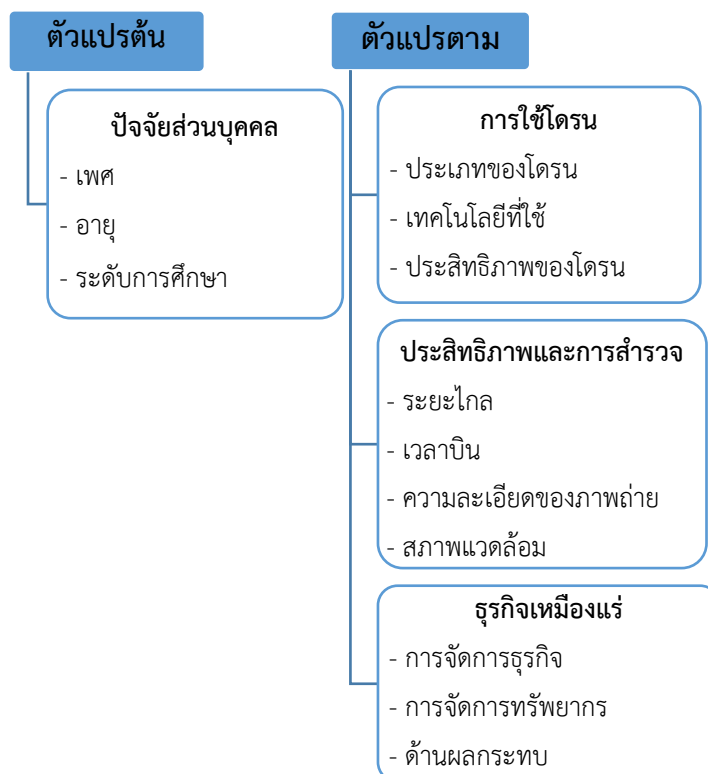
ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตด้านเวลา คือ ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2566 - พฤศจิกายน 2567

ขอบเขตด้านเนื้อหา คือการเก็บข้อมูลจากเอกสาร แหล่งข้อมูลการใช้โดรนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสำรวจธุรกิจเหมืองแร่ จากกลุ่มงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากำหนดประเด็นเพื่อศึกษาในการทำวิจัย

ขอบเขตประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากร คือ ธุรกิจเหมืองแร่ ในชลบุรี จำนวน 37 บริษัท กลุ่มตัวอย่าง คือ พนักงานในธุรกิจเหมืองแร่ ในจังหวัดชลบุรี ใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 400 คน (อก, 2560)

กรอบแนวคิด



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมุติฐานในการวิจัย

1. ปัจจัยส่วนบุคคลที่มีต่อการให้โดรนประสิทธิภาพการสำรวจในธุรกิจเหมืองแร่มีความแตกต่างกัน

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีและนวัตกรรม

การยอมรับเทคโนโลยีคือ การเลือกใช้เทคโนโลยี (Actual Use) ของปัจเจกบุคคล โดยในการตัดสินใจ เลือกใช้เทคโนโลยีจะมีความตั้งใจในการใช้งานเป็นตัวแปร ซึ่งทัศนคติเป็นปัจจัยที่อธิบายความตั้งใจในการใช้งานเทคโนโลยี โดยวัดอิทธิพลของทัศนคติจากการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ (Perceived Usefulness) และความง่ายในการใช้งาน (Ease of Use) โดยแต่ละ ปัจจัยมีลักษณะดังนี้

1. การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับ (Perceived Usefulness) คือ ระดับการรับรู้ของบุคคลในการใช้ เทคโนโลยีใหม่ว่าจะช่วยเพิ่มขีดความสามารถหรือ ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานให้บรรลุผลสำเร็จได้ดี ยิ่งขึ้น
2. ความง่ายในการใช้งาน (Ease of Use) คือ ระดับการรับรู้ของบุคคลในการใช้เทคโนโลยีใหม่ว่า สามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องใช้ความพยายามมาก (Free of Effort)
3. ความตั้งใจที่จะใช้งาน (Intention to Use) คือ ความตั้งใจที่ผู้ใช้จะพยายามใช้เทคโนโลยี และ ความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้จะยอมรับ และมีท่าทีที่จะใช้งาน

อากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี (Unmanned Aerial Vehicle: UAV)

อากาศยานไร้คนขับ หรือ "Unmanned Aerial Vehicle: UAV" ตามความหมายของ Canadian Aviation Regulations (CARs) คือ เครื่องบินที่ใช้กำลัง (power) ขับเคลื่อน สามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยไม่มีนักบินอยู่ เครื่องบินแต่ควบคุมจากภาคพื้นดินที่อยู่ระยะไกลใช้การควบคุมอัตโนมัติซึ่งมีอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ การควบคุมจากระยะไกล และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบการบินด้วยตนเอง ซึ่งต้องอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบที่ซับซ้อนและมีการติดตั้งไว้ในอากาศยาน อาจกล่าวได้ว่า อากาศยานไร้คนขับคือเครื่องบินที่สามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยไม่ต้องใช้นักบินประจำการอยู่บนอากาศยาน อาจมีการติดตั้งกล้องถ่ายภาพคุณภาพสูงทั้งกล้องถ่ายภาพในเวลากลางวัน (electro optical) และกล้องอินฟราเรด (infrared sensor) ที่สามารถบันทึกภาพระยะไกลได้ และแพร่ภาพสัญญาณมายังจอภาพที่สถานีภาคพื้นดินในเวลาใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุด (Near Real Time: NRT) ทำให้ผู้บังคับสามารถมองเห็นภาพในเวลาใกล้เคียงเวลาจริงมากที่สุด นอกจากนั้นอากาศยานไร้คนขับยังสามารถปฏิบัติการด้านการติดตามการแผ่รังสี การค้นหาเป้าหมาย และการลาดตระเวนหรือที่เราเรียกว่า ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition, Reconnaissance) ได้ เป็นต้น

ประเภทของอากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวี

อากาศยานไร้คนขับหรือยูเอวีที่ถูกนำมาใช้ปฏิบัติงาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) อากาศยานปีกตรึง (fixed-wing aircraft) อากาศยานปีกตรึง จัดเป็นอากาศยานชนิดหนักกว่าอากาศยานปีกแข็งในการบินในอากาศ มีลักษณะคล้ายเครื่องบิน และใช้งานได้นานกว่าอากาศยานไร้คนขับประเภทอื่นๆ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบินด้วยอากาศยานปีกตรึงดังนี้

- 1.1) แรงยก (lift) เครื่องบินสามารถลอยอยู่ในอากาศได้ เนื่องมาจากแรงยกที่เกิดขึ้นที่ปีกซึ่งแรงยกนี้ จะเกิดขึ้นที่เครื่องบินมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ (หรือมองในมุมกลับคือ มีอากาศเคลื่อนที่ผ่านปีก) ด้วยความเร็วที่เหมาะสม จะเกิดแรงยกที่เพียงพอจะ ยกเครื่องบินให้ลอยขึ้นได้

1.2) แรงต้าน (drag) แรงต้านคือแรงที่เกิดขึ้นขณะเครื่องบินมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศตัวแปรหลักของแรงต้าน คือ ขนาดรูปทรงของเครื่องบิน และความเร็วขณะเคลื่อนที่

1.3) น้ำหนัก (weight) หมายถึงน้ำหนักรวมของเครื่องบิน

1.4) แรงขับเคลื่อน (thrust) แรงขับเคลื่อน คือ แรงที่ขับเคลื่อน หรือผลัก วัตถุ เครื่องบินให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้ามีแหล่งกำเนิดมาจากเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ

2) อากาศยานปีกหมุน (Multicopter) อากาศยานปีกหมุน ใช้หลักการหมุนของใบพัดที่มีหน้าตัดเป็นรูปแบนอากาศ (air foil) หมุนเพื่อสร้างแรงยก อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multicopter) เป็นอากาศยานขึ้นลง แนวตั้งโดยอาศัยการหมุนของใบพัดในการขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่าง ๆ ประกอบด้วยใบพัด จำนวน 3, 4, 6 และ 8 ใบพัด โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 10-20 นาที

3) อากาศยานปีกตรึงขึ้นลงแนวตั้ง (Fixed-Wing Hybrid) อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวตั้ง (Fixed-Wing Hybrid) เป็นอากาศยานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ มีลำตัวอากาศยานเป็นแบบอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง แต่สามารถขึ้นลงแนวตั้งได้ ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของประเภทอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงมารวมกับอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน แต่อากาศยานไร้คนขับประเภทนี้ยังมีการนำมาใช้งานน้อยมาก เนื่องจากมีราคาสูง

4) อากาศยานสี่ใบพัด (DJI Phantom 3 professional) อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กสี่ใบพัด ที่ได้ติดตั้งกล้องดิจิทัลไว้ด้านล่างของเครื่องโดยมีการเชื่อมต่อกับกิมบอลซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มความเสถียรภาพป้องกันการสั่นไหวของกล้องถ่ายภาพ สามารถบินได้ไม่เกิน 23 นาที โดยสามารถบินได้สูงไม่เกิน 500 เมตรมีกล้องถ่ายภาพมีความละเอียดขนาด 12.4 เมกะพิกเซล (4000 x 3000) และถ่ายวิดีโอที่ความละเอียดระดับ 720p (p ย่อมาจาก progressive scan) (1280 x 720 พิกเซล) ที่ 24 เฟรมต่อวินาทีการควบคุมการปรับกล้องเอียงขึ้นลงได้ในระยะ 0-90 องศา ในแนวตั้ง ภายในติดตั้งระบบบินอัตโนมัติด้วยGPS (auto pilot) และระบบการบินในร่ม (indoor flight) สามารถบินขึ้นลงอัตโนมัติ auto take off, (landing) ควบคุมด้วยวิทยุบังคับให้เคลื่อนที่ทุกทิศทาง (มีระบบกันเอียง stabilizer) สามารถบินลอยอยู่กับที่เมื่อไม่ได้บังคับ (position hold) และสั่งให้บินกลับตัวเอง (return to home) บินผ่านกล้องแบบFPV (FirstPersonView) โดยสามารถควบคุมผ่านคันบังคับ หรือโทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟนได้การเชื่อมต่อจะเป็นการเชื่อมต่อสัญญาณจากอากาศยานไร้คนขับไปยังคันบังคับ และเชื่อมต่อไปยังตัวขยายสัญญาณ -f ที่เชื่อมต่อกับโทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟนอีกต่อหนึ่ง ระยะส่งสัญญาณจากที่บังคับไปยังตัวอากาศยานไร้คนขับสามารถส่งสัญญาณระยะได้ไม่เกิน 800 เมตร ตัวส่งสัญญาณไปโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้ไม่เกิน กิโลเมตร สัญญาณภาพและวิดีโอสามารถแสดงผลทันทีบนหน้าจอโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ซอฟแวร์ที่ใช้เป็นซอฟต์แวร์ใช้งานผ่านทางสมาร์ทโฟนไปในระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส (iOS) และแอนดรอยด์ (android)



อากาศยานปีกตรึง



อากาศยานประเภทปีกหมุน



อากาศยานประเภทปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง



อากาศยานสี่ใบพัด

ภาพที่ 2 ประเภทของอากาศยาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับบริหารโครงการก่อสร้างทางหลวง. การวิจัยพบว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก DJI MINI 2 มีความสะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบงานเดิมในการเก็บข้อมูลกิจกรรมและความก้าวหน้าของโครงการ นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับที่มี ประสิทธิภาพสูงอย่าง DJI Matrice 200 series V2 ติดตั้งกล้องถ่ายภาพ ความละเอียดสูง สามารถนำมาใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณดินถมเบื้องต้นใน โครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการสำรวจ ปริมาณดินถมอยู่ที่ร้อยละ 9.79 (ดนัย เรืองสอน และคณะ, 2565)

การนำโดรนมาใช้ในการสืบสวนของสถานีตำรวจ. การวิจัยพบว่าอากาศยานไร้คนขับหรือที่นิยมเรียกกันว่า โดรน (Drone) มาใช้งานกันอย่างหลากหลายรูปแบบ ในหลายวงการ เนื่องจากศักยภาพอันโดดเด่นของโดรน ที่สามารถบินถ่ายภาพและวิดีโอได้ในมุมสูง ทั้งยังบินขึ้นลงได้ในพื้นที่จำกัด มีรัศมีทำการบินที่กว้างไกล และยังสามารถควบคุมให้โดรนบินไปได้เหนือสภาพภูมิประเทศที่อาจยากลำบากในการเข้าถึงทางภาคพื้นดิน ซึ่งคุณสมบัติอันโดดเด่น

ของโดรนเหล่านี้ ทำให้นำมาใช้ในกิจการตำรวจได้เป็นอย่างดีสำหรับวงการตำรวจไทยที่ผ่านมาพบว่าการนำโดรนมาใช้ในการสืบสวนบ้างแล้ว เช่น การใช้โดรนไล่ล่าผู้ต้องหาที่หลบหนีการจับกุมในคดียาเสพติด หรือนำโดรนมาใช้ในการป้องกันอาชญากรรม และงานจราจร (อิสราพันธ์ บุญเผย, 2562)

การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร การวิจัยพบว่าการศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำของตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตรจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Photographic) เพื่อลดภาระเจ้าหน้าที่ในการสำรวจพื้นที่ทำเกษตรแบบผสมผสาน ขั้นตอนวิธีที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทางด้านงานระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ Maximum Likelihood (ML) Support Vector Machine (SVM) และ Random Forest (RF) ถูกนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพความแม่นยำในการจำแนกประเภทพืชพรรณทางการเกษตร ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศในช่วงคลื่นแสงสีแดง (Red band) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR band) จะถูกบันทึกจากกล้องถ่ายภาพชนิดพิเศษที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีความแตกต่างพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index: NDVI) ผลการศึกษาพบว่าขั้นตอนวิธี RF มีความแม่นยำมากที่สุดถึง 93เปอร์เซ็นต์ (ปภิกร อันขึ้น และคณะ, 2565)

การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์การใช้งานอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตรในประเทศไทยและต่างประเทศ การวิจัยพบว่าการศึกษาเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตรในประเทศไทยและต่างประเทศ ดำเนินการวิจัยโดยการศึกษาลักษณะกฎหมายและกฎระเบียบของประเทศญี่ปุ่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ประเทศออสเตรเลีย และประเทศไทยรวมทั้งคู่มือการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการอนุญาตให้ใช้งานอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินของประเทศญี่ปุ่นดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพโดยใช้การวิเคราะห์เนื้อหาและการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบ (ธัญวัช จรูญภัทรพงษ์ และคณะ, 2564)

การตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมการวิจัยพบว่าการศึกษาดูการตรวจจับภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งเป็นภาพที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) มาวิเคราะห์ด้วยหลักการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมกับภาพถ่ายทางอากาศ โดยการศึกษาที่ผู้เขียนบททวนวรรณกรรมด้านการวิเคราะห์ภาพเพื่อการตรวจจับวัตถุและศึกษาค้นคว้าว่ามีโมเดลใดบ้างที่เหมาะสมกับงานด้านการตรวจจับวัตถุ โดยเลือกโมเดลตรวจจับ YOLO, RetinaNet และ Fast R-CNN แล้วทำการศึกษาและทำการทดลองว่าการตรวจจับโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น ควรใช้โมเดลตรวจจับชนิดใดที่สอดคล้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับภาพให้เหมาะสมซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผลการใช้ YOLO มีผล mAP ถึง 58.5% และความไวในการทำงาน 158.13 เฟรมต่อวินาที ซึ่งมีความแม่นยำและความรวดเร็วในการตรวจจับมากกว่าโมเดลตัวอื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองภาพถ่ายทางอากาศของอากาศยานไร้คนขับ (วรากร เลื่องลือวุฒิ และคณะ, 2566)

วิธีการดำเนินงาน

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ส่วนที่ 1 เป็นแบบสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลปัจจัยส่วนบุคคล ทั้งหมด 3 ข้อ ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับ เพศ อายุ และระดับการศึกษา

ส่วนที่ 2 เป็นแบบสอบถามความคิดเห็นเกี่ยวกับการจัดการองค์ความรู้เกี่ยวกับ ด้านการใช้โดรน ด้านประสิทธิภาพและสำรวจ และด้านธุรกิจเหมืองแร่ จำนวน 17 ข้อ

ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

การตรวจเครื่องมือ

จากนั้นได้หาความเชื่อมั่นของแบบสอบถามในภาพรวมทั้งฉบับได้ทดลองใช้ตัวแทนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 ชุด ได้ค่าความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.903 มีค่าความเชื่อมั่นอยู่ในระดับสูงผ่านเกณฑ์ และการประเมินหาค่าความสอดคล้องเชิงเนื้อหากับวัตถุประสงค์การวิจัย IOC จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน เท่ากับ 1 ทุกข้อ ผ่านเกณฑ์

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำแบบสอบถามที่สร้างขึ้นไปดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล จำนวน 400 ชุด แจกให้กับกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นบริษัทโรโมโหมินในจังหวัดชลบุรี ระยะเวลาในเดือน พฤศจิกายน 2566 - มีนาคม 2567

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ศึกษาดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ดังนี้

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติของกลุ่มตัวอย่าง ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) โดยผู้วิจัยเลือกใช้ ความถี่ (Frequency) ค่าร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) การวิเคราะห์ถดถอยเชิงพหุ (Regression Analysis)

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไป

พบว่ากลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีเพศชาย จำนวน 208 คน คิดเป็นร้อยละ 52.00 และเพศหญิง จำนวน 192 คน คิดเป็นร้อยละ 48.00 ตามลำดับ จากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอายุ 20-30 ปี จำนวน 201 คน คิดเป็นร้อยละ 50.25 อายุ 31-40 ปี จำนวน 104 คน คิดเป็นร้อยละ 26.00 อายุ 41-50 ปี จำนวน 86 คน คิดเป็นร้อยละ 21.50 และอายุ 51 ปีขึ้นไป จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 2.25 ตามลำดับ มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 223 คน คิดเป็นร้อยละ 55.75 ปริญญาตรี จำนวน 154 คน คิดเป็นร้อยละ 38.50 และสูงกว่าปริญญาตรี จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 5.75 ตามลำดับ

การใช้โดรน

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่นั้นได้แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานของอากาศยานไร้คนขับนั้นทำให้มีบทบาทเป็นอย่างมากในธุรกิจเหมืองแร่ และยังได้ช่วยในด้านการสนับสนุนงานทางด้านการตรวจสอบและการกำกับดูแลธุรกิจเหมืองแร่เป็นไปอย่างเป็นขั้นตอนในการปฏิบัติงาน ทั้งยังช่วยให้ลดความเสี่ยงในที่เกิดจากการการปฏิบัติงานบริเวณพื้นที่ที่อาจเกิดอันตรายต่อบุคคลและผู้อื่นได้ อาทิเช่น บริเวณหน้าผาสูงชัน หรือในพื้นที่ที่มีเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมเครื่องใหญ่ซึ่งกำลังดำเนินการทำงานอยู่ เป็นต้น ซึ่งได้แสดงความเห็นอีกด้วยว่า การใช้อากาศยานไร้คนขับนั้นช่วยให้ลดการทุ่นแรงขณะปฏิบัติงานในพื้นที่ได้เยอะพอสมควร และช่วยให้ประหยัดอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการลงพื้นที่ภาคสนาม อีกทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการใช้ทรัพยากรต่างๆ ทั้งยังตรวจสอบและกำกับการดูแลธุรกิจเหมืองแร่ได้สะดวกขึ้นเป็นอย่างมาก และการใช้งานอุตสาหกรรมเหมืองแร่ที่นำมาใช้ในด้านนี้นั้น สามารถควบคุมได้จากระยะไกล ซึ่งทำให้ลดระยะเวลาในการสำรวจและคำนวณรังวัดพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถเก็บภาพมุมสูงได้เป็นอย่างดี

ประสิทธิภาพและการสำรวจ

พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่นั้นเริ่มนำเทคโนโลยีการรังวัดสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV หรือ Drone) มาใช้งานร่วมกับเทคโนโลยีงานรังวัดชนิดต่างๆ เช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสำหรับงานรังวัด (GNSS) และภาพถ่ายทางอากาศ/ภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพภูมิประเทศพื้นที่ประกอบการเหมืองแร่ จากการใช้เทคโนโลยีงานรังวัดด้วยอากาศยานไร้คนขับในการสนับสนุนภารกิจด้านต่าง ๆ ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานในการจัดทำข้อมูลสำหรับการตรวจสอบและกำกับดูแลสถานประกอบการเหมืองแร่ โดยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจเป็นข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real time) มีความชัดเจน สามารถนำไปใช้ในการตรวจสอบการทำธุรกิจเหมืองตามมาตรฐานหลักวิศวกรรมเหมืองแร่

ธุรกิจเหมืองแร่

พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนน้อยนั้นยังไม่เข้าใจเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในธุรกิจเหมืองแร่ และไม่ทราบลำดับขั้นตอนการทำงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมด้านนี้มากนัก ในทางอุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นธุรกิจเริ่มต้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทย เพราะหากเราไม่มีการนำทรัพยากรในประเทศมาใช้ประโยชน์ จะต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งจะทำให้เกิดการเสียดุลด้านการค้า และการนำเข้าแร่โดยทั่วไปจะแร่นำเข้าจะมีราคาที่สูงกว่าแร่ที่ผลิตได้ในประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์นั้นหมายถึงราคาสินค้าย่อมสูงขึ้นตามไปด้วย หากมีการทำเหมืองแร่ในประเทศ เพื่อผลิตแร่ที่สำคัญมาใช้ประโยชน์จะเป็นการทำให้ประเทศไทยมีความมั่นคงด้านวัตถุดิบสำหรับภาคอุตสาหกรรม และหากมีการส่งเสริมอุตสาหกรรมต่อเนื่องในการนำทรัพยากรแร่มาใช้ในการผลิตอย่างครบวงจร ก็จะเป็นการสร้างงาน และสร้างมูลค่าเพิ่มมหาศาลกว่าการนำแร่ดิบขายเป็นสินค้าส่งออก ซึ่งเป็นสิ่งที่ภาครัฐควรให้การสนับสนุนให้เกิดขึ้น

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างเพศกับการใช้โดรน

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1. ประเภทของโดรน	-.437	.027	-.707	-16.437	.000
2. เทคโนโลยีที่ใช้	.483	.034	.609	14.125	.000
3. ประสิทธิภาพของระบบโดรน	-.051	.021	-.092	-2.489	.013

การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างเพศกับประเภทของโดรน, เทคโนโลยีที่ใช้, ประสิทธิภาพของโดรน พบมีนัยสำคัญค่าสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างอายุกับประสิทธิภาพและการสำรวจ

Model	Unstandardized		Standardized	t	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
1. ระยะใกล้	-.294	.020	-.572	-14.359	.000
2. เวลาบิน	.357	.022	.664	16.455	.000
3. ความละเอียดของภาพถ่าย	.082	.027	.136	3.067	.002
4. สภาพแวดล้อม	.258	.036	.406	7.083	.000

การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างอายุกับระยะไกล, เวลาบิน, ความละเอียดของภาพถ่าย, สภาพแวดล้อม พบมีนัยสำคัญค่าสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างระดับการศึกษากับธุรกิจเหมืองแร่

Model	Unstandardized		Standardized	t	Sig.
	Coefficients		Coefficients		
	B	Std. Error	Beta		
1. การจัดการธุรกิจ	-.437	.027	-.707	-16.437	.000
2. การจัดการทรัพยากร	.483	.034	.609	14.125	.000
3. ด้านผลกระทบ	-.523	.024	-.919	-21.908	.000

การวิเคราะห์ตัวแปรระหว่างระดับการศึกษากับการจัดการธุรกิจ, การจัดการทรัพยากร, ด้านผลกระทบ พบมีนัยสำคัญค่าสถิติที่ระดับ 0.05

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย

จากการทดสอบสมมติฐานของการวิจัยเบื้องต้น จากตารางที่ 1 ตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่า สมมติฐานการวิจัยเป็นจริง พบมีนัยสำคัญค่าสถิติที่ระดับ 0.05

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่า 1) การใช้อากาศยานไร้คนขับ หรือโดรนนั้น เป็นเครื่องมือที่ยอดเยี่ยมสำหรับการทำงานหลายอย่างพร้อมกันในทุกขั้นตอนของโครงการชุดและในเมืองทุกประเภท ข้อค้นพบจากการศึกษานี้ อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาข้อกำหนดที่จำเป็นสำหรับการใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับในพื้นที่เหมือง 2) แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพและการสำรวจโดยอากาศยานไร้คนขับ ได้นำเสนอผลการทดลองตำแหน่งโดรนไร้คนขับ โดยใช้เสาอากาศสองตัว แพลตฟอร์มทดลองประกอบด้วยเสาอากาศอาร์เรย์สี่เหลี่ยมขนาด 4 x 4 ที่ซึ่งโครโนโซอยู่กับที่สองตัวอาร์เรย์รับสัญญาณที่ปล่อยออกมาจากเสาอากาศเดี่ยวที่ติดตั้งบนโดรน ผลการประมาณตำแหน่งของวิธีการที่เสนอมจะถูกเปรียบเทียบในเชิงปริมาณและประเมินด้วยวิธี GPS ของโดรน ผลการประมาณค่าได้ตรวจสอบแล้วว่าแนวทางการทดลองที่นำเสนอสามารถระบุตำแหน่งและติดตามโดรนได้อย่างแม่นยำ 3) การใช้งานอากาศยานไร้คนขับทางด้านอุตสาหกรรมเหมืองแร่ ช่วยในการลดต้นทุนและรายจ่ายในขณะที่ปรับปรุงประสิทธิภาพของโซลูชันทางเทคโนโลยี

เป็นสิ่งสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ อุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เหมืองแร่ และโรงงานขนาดใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการและการทำงานที่พลังงานของมนุษย์อาจตกอยู่ในความเสี่ยงหรือไม่สามารถใช้ได้ พื้นที่ในการตรวจสอบอาจรวมถึงการบำรุงรักษาโครงสร้างพื้นฐาน การตรวจจับการรั่วไหล การตรวจสอบอุปกรณ์ การเฝ้าระวังความปลอดภัย และการตรวจสอบอันตรายอย่างรวดเร็ว ในด้านดังกล่าว เราสามารถพึ่งพาเทคโนโลยีโดรนเพื่อช่วยให้มีการมองเห็น ตรวจสอบ และแจ้งเตือนความล้มเหลวในระบบต่างๆ ได้ดีขึ้น ดังนั้น อุตสาหกรรมขนาดใหญ่จึงค่อนข้างสนใจลงทุนในโดรนเพื่อรักษาระบบและโครงสร้างพื้นฐานให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Javad et al., 2020) ในหัวข้อเรื่องการใช้งานโดรน ผลการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่เพศชาย จำนวน 208 คน คิดเป็นร้อยละ 52.00 และเพศหญิง จำนวน 192 คน คิดเป็นร้อยละ 48.00 ตามลำดับ จากกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่มีอายุ 20-30 ปี จำนวน 201 คน คิดเป็นร้อยละ 50.25 อายุ 31-40 ปี จำนวน 104 คน คิดเป็นร้อยละ 26.00 อายุ 41-50 ปี จำนวน 86 คน คิดเป็นร้อยละ 21.50 และอายุ 51 ปีขึ้นไป จำนวน 9 คน คิดเป็นร้อยละ 2.25 ตามลำดับ มีระดับการศึกษาต่ำกว่าปริญญาตรี จำนวน 223 คน คิดเป็นร้อยละ 55.75 ปริญญาตรี จำนวน 154 คน คิดเป็นร้อยละ 38.50 และสูงกว่าปริญญาตรี จำนวน 23 คน คิดเป็นร้อยละ 5.75 ตามลำดับนั้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ (ธงชัย วะสุวรรณ และ เจษฎา วงศ์แสนสุขเจริญ, 2565). ผลการวิจัยพบว่า ระดับของการ ยอมรับเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้โดรน โดยรวมอยู่ในระดับมาก (3.95) ในส่วนปัจจัยการ ยอมรับเทคโนโลยีและนวัตกรรมพบว่า การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อการรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับของผู้ใช้โดรน ร้อยละ 26.3 การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับมีอิทธิพลเชิงบวกต่อทัศนคติที่มีต่อการใช้โดรน ร้อยละ 36.3 การรับรู้ถึงความง่ายในการใช้งานมีอิทธิพลเชิงบวกต่อทัศนคติที่มีต่อการใช้ โดรน ร้อยละ 21.2 และทัศนคติที่มีต่อการใช้โดรนมีอิทธิพลเชิงบวกต่อความตั้งใจใช้โดรน ร้อยละ 52.3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นผลที่ได้จึงสอดคล้องกับแบบจำลองการยอมรับเทคโนโลยี (TAM)

องค์ความรู้ใหม่

โดรนสามารถใช้สำรวจพื้นที่ธุรกิจเหมืองได้ด้วยความละเอียดและความเร็วที่สูงขึ้น โดยสามารถบันทึกข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับการทำงานในเหมืองได้อย่างรวดเร็วและตรงประเด็น นอกจากนี้ การใช้โดรนยังช่วยลดความเสี่ยงในการทำงานที่อาจเป็นอันตรายสำหรับมนุษย์ เช่น การตรวจสอบพื้นที่ที่อันตรายหรือการทำงานด้วยการใช้เทคโนโลยีโดรนใช้แทนมนุษย์ ธุรกิจเหมืองแร่สามารถดำเนินกิจกรรมของตนได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัยมากขึ้นในสมัยใหม่ การนำเทคโนโลยีโดรนเข้ามาใช้ในธุรกิจเหมืองแร่มีศักยภาพในการเป็นกำลังเสริมที่สำคัญในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทำงานในอุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้อย่างต่อเนื่อง

ข้อเสนอจากการวิจัย

ข้อเสนอแนะการนำไปใช้

- สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวเขตประทานบัตรและงานรังวัดจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ โดยใช้อากาศยานไร้คนขับเข้ามาช่วย ทำให้เกิดความสะดวกและตรวจสอบทานความแม่นยำ และทำการวางเป้าเพื่อในการกำหนดจุดพิกัดภาคพื้นดินและประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้มาจะถูกคำนวณความสูงและค่าพิกัดของพื้นที่เพื่อนำมาใช้ในการสร้างแผนที่และแบบจำลองภูมิประเทศและการคำนวณปริมาตรพื้นดินที่ถูกขุดตักจากการทำเหมือง

- สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจการกำกับดูแลด้านต่างๆ อาทิ กำกับดูแลการประกอบการเหมืองแร่ที่ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม การใช้เป็นข้อมูลเพื่อการประเมินความถูกต้องในการชำระ

ค่าภาคหลวง การตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบพื้นที่สถานประกอบการเพื่อป้องกันการทำเหมืองออกนอกเขต และการกำกับดูแลการออกแบบพื้นที่เพื่อการฟื้นฟูเมืองหลังเสร็จสิ้นการทำเหมือง ที่สำคัญเป็นการลดต้นทุนการใช้ทรัพยากรต่างๆ ในการกำกับดูแลได้

ข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยครั้งต่อไป

ควรทำการวิจัยในด้านการประยุกต์และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอากาศยานไร้คนขับ ด้านการสำรวจ และการตรวจสอบสิ่งแวดล้อมในด้านมลภาวะที่เป็นพิษส่งผลกระทบต่อประชาชนในประเทศไทย

เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2560). *กฎกระทรวงแบ่งส่วนราชการกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2560*. สืบค้นจาก <https://www.dipim.go.th/laws?catid=297>.
- दनัย เรืองสอน, วิชัย วงศ์วิศิษฐ์, สุชาภัสร์ โชติรักษา, ณัฐภูมิ หัสดีวิจิตร, ศุภกร สุทธิพันธ์, ภาณุพงศ์ มะโนเย็น, และ มิชัย บุญเลิศ. (2565). การใช้อากาศยานไร้คนขับสำหรับบริหารโครงการก่อสร้างทางหลวง. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 27* เชียงราย ประเทศไทย, 1-8.
- ธงชัย วะสุวรรณ และ เกษภา วงศ์แสนสุขเจริญ. (2565). การยอมรับเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่ส่งผลต่อความตั้งใจใช้โดรนเพื่อการเกษตรในอุตสาหกรรมเกษตร. *วารสารปัญญาภิวัฒน์*, 14(1), 147-148.
- ธัญวรัช จุญญภัทรพงษ์, อภิรดา นามแสง และ นวทัศน์ ก้องสมุท. (2564). การเปรียบเทียบหลักเกณฑ์การใช้งานอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินเพื่อการเกษตรในประเทศไทยและต่างประเทศ. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์*, 21(1), 105-121.
- ปธิกร อันขึ้น, ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง และ ประสาทพร วงษ์คำช้าง. (2565). การศึกษาเปรียบเทียบตัวจำแนกสำหรับการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินทางการเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ*, 18(2), 16-25.
- วรกร เลื่องลือวุฒิ, กิตติกร วิริยะศาสตร์, วิชัย แผ้วเกษม, พันธุ์เทพ แก้วมงคล และ สัญญา มิตรเอน. (2566). การตรวจจับวัตถุในภาพถ่ายทางอากาศด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีป้องกันประเทศ*, 5(12), 16-25.
- อิสราพันธ์ บุญเผย. (2562). การนำโดรนมาใช้ในการสืบสวนของสถานีตำรวจ. *วารสารอาชีวกรรมและความปลอดภัย*, 2(1), 77-96.
- Gowroju, S. , & Ramchander, N. S. (2023). *Applications of Drones—A Review*. Drone Technology, 183-206.
- Javad, S. , et al., (2020). A Comprehensive Review of Applications of Drone Technology in the Mining Industry. *DMPi*, 4(3), 34.
- Mahajan, G. (2021). Applications of Drone Technology in Construction Industry: A Study 2012-2021. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 11(1), 224-239.
- Mohsan, S. A. H. , et al. (2022). Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review. *Drones* 6(6), 147.

- Pradipta, A. , et al. (2019). The Application of Data Mining in Determining Timely Graduation Using the C45 Algorithm. *International Journal of Information System and Technology*, 3(1), 31-36.
- Yao, H. , Qin, R. , & Chen, X. (2019). Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications—A Review. *DMPI*, 11(12), 1443.

Translated Thai References

- Ministry of Industry. (2017). *Ministerial Regulations Dividing Government Departments, Department of Primary Industries and Mines, Ministry of Industry 2017*. Retrieved from <https://www.dpim.go.th/laws?catid=297>.
- Ruangson, D. , Wongvisit, W. , Chotiraksa, S. , Hasdeevijit, N. , Suthiphan, S. , Manoyen, P. , & Boonlert, M. (2022). *Using of Unmanned Aerial Vehicle for Highway Construction Project Management*. The 27th National Convention on Civil Engineering. Chiang Rai THAILAND, 1- 8.
- Wajasuwan, T. , & Wongsansukcharoen, J. (2022). Acceptance of Technology and Innovation Affecting the Intention of Using Drone for Agriculture in the Agricultural Industry. *Panyapiwat Journal*, 14(1), 147-148.
- Charoonpatrapong, T. , Namsang, A. , Kongsamutr, N. (2021). A Comparison of Regulations for Agricultural Unmanned Aerial Vehicles in Thailand and Foreign Countries. *Sripatum Review of Humanities and Social Sciences*, 21(1). 105-121.
- Anchuen, P. , Daungklang, P., & Wongkamchang, P. (2022). A Comparative Study of Classifiers for Analyzing Agricultural Land Use. *NKRAFA Journal of Science and Technology*. 18(2), 16-25.
- Luangluewut, W. , Viriyasatr, K. , Pawgasame, W. , Kaewmongkol, P. , & Mitaim, S. (2023). Detecting Objects in Aerial Photographs Using Neural Network Techniques. *Defence Technology Academic Journal*, 5(12), 16-25.
- Bunphoei, I. (2019). How Drone Utilizes for Investigation in the Police Station. *Journal of Crime and Security*. 2(1), 77-96.

การจัดการด้านการพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับการให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์

MANAGEMENT SYSTEM FOR DEVELOPMENT OF A CHATBOT PROTOTYPE FOR ADVISOR UNDERGRADUATE STUDENTS OF THE COUNSELING AND CAREER DEVELOPMENT FOR STUDENT CENTER: CCDS SECTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

พรสิริ ชาตปรีชา^{1*}, ชุติตารัฐ อุตมะสิริเสนี²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลและสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์,

²สาขาวิชาการจัดการ วิทยาลัยบริหารธุรกิจนวัตกรรมและการบัญชี มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

Pornsiri Chatpreecha^{1*}, Chutitanrat Uttamasiriseni²

¹Department of Digital and Information Technology, Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management

²Department of Management, Faculty of College of Innovative Business and Accountancy, Dhurakij Pundit University

*Corresponding author: chutitanra.utt@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับบริหารจัดการด้านให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ พัฒนาในส่วนข้อมูลของหน่วยงานของฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา หรือเรียกว่าหน่วยงาน CCDS โดยจะนำเสนอข้อมูลด้านการบริการและข้อคำถามที่นักศึกษามีคำถาม ได้แก่ แผนการฝึกงาน 4 ปี, ตัวอย่างการเขียนรีพอร์ตฝึกงาน, ข้อมูลการเตรียมตัวฝึกงาน, ข้อมูลการลงร้าน, ข้อมูลการฝึกงานต่างประเทศ และข้อมูลติดต่อเจ้าหน้าที่ และทำการทดสอบและแสดงผลของแชทบอท (Chatbot) ระบบนี้จะให้ข้อมูลสนทนาโต้ตอบอัตโนมัติกับผู้ใช้เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application)

จากผลการทดลองนำโปรแกรม แชทบอท ไปให้ ผู้ใช้ทดลองจำนวน 432 คน ด้านกระบวนการติดตั้งและความเข้าใจในการใช้งานระบบ มีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.31 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ส่วนภาพรวมความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของเว็บ มีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.07 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ความพึงพอใจด้านการใช้งานมีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.04 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก นอกจากนี้การทดสอบการทำงานของ แชทบอท ตอบสนองความต้องการได้ถูกต้อง ค่าเฉลี่ยของความถูกต้อง คือ 90.77 % และไม่ถูกต้องคือ 9.23 %

คำสำคัญ: แชทบอท, ปัญญาประดิษฐ์, แอปพลิเคชันไลน์

Abstract

This research aimed to develop a chatbot prototype for advisor management undergraduate students of the counseling and career development for student center (CCDS) faculty of Engineering and Technology using Artificial Intelligence technology. In the second phase, record the information of the coaching unit for the counseling center to prohibit student occupations or to require CCDS. It will present service information and students' questions with menus: Four-year internship plan, Sample internship report writing, Internship preparation information, Internship store, International internship program and Official contact information. This system will provide automatic conversation information to users connected to the Line Application.

From the experimental results, the chatbot program has 432 trial users, an installation process, and an understanding of the system usage part; there was a satisfaction assessment result of 4.31, a delighted level, as for overall satisfaction with the form and image of the web. There is a satisfaction assessment result of 4.07 in a lively group. Satisfaction in use is rated 4.04, at a delighted level. In addition, the Chatbot's functionality was tested to meet the requirements correctly. The average accuracy was 90.77%, and the inaccuracy was 9.23 %.

Keywords : Chatbot, Artificial Intelligence, Line Application

บทนำ

การพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่ง โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ ทางผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลด้านการบริการและข้อคำถามที่นักศึกษามีคำถาม เช่น หลักสูตรการเรียน การลงทะเบียนเรียน การฝึกงานในชั้นปีต่าง ๆ และกิจกรรมต่างๆ ของทางคณะหรือสถาบัน ตามที่มีการร้องขอบริการ นำข้อมูลมาออกแบบ รวมทั้งทำการจัดเก็บข้อมูล และเขียนโปรแกรมโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ และทำการทดสอบและแสดงผลของของแชทบอท (Chatbot) ระบบนี้จะให้ข้อมูลสนทนาได้ตอบอัตโนมัติกับผู้ใช้เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application) ในส่วนงานอาจารย์ที่ปรึกษา โดยนำหลักการของ Rule-Based และการทดสอบโดยการป้อนข้อมูลจาก Keyword มาประยุกต์กับ แชทบอท ซึ่งผู้วิจัยได้ทำตัวอย่าง Rule-Based ให้ผู้ใช้สามารถกดเลือกเมนู จากตัวอย่าง 3 เมนู พบว่า แชทบอท สามารถแสดงผลและทำงานได้ตรงกับ Rule-Based ที่กำหนดไว้ ถูกต้องทั้ง 3 เมนู (ข้อมูลอาจารย์ที่ปรึกษา/ข้อมูลการติดต่อสำนักกิจการนักศึกษา/ข้อมูลการติดต่อสำนักส่งเสริมวิชาการ)

จากผลการทดลองนำโปรแกรม แชทบอท ไปให้ผู้ใช้งานทดลอง พบว่า ภาพรวมด้านกระบวนการติดตั้งและความเข้าใจการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.25 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ส่วนด้านภาพรวมของแอปพลิเคชันมีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 3.86 อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง ส่วนความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของเว็บแอปพลิเคชัน มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 3.90 อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง และส่วนความพึงพอใจด้านการใช้งานเว็บแอปพลิเคชัน มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.01 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก นอกจากนี้ การทดสอบการทำงานของ แชทบอทตอบสนองความต้องการได้ถูกต้อง ค่าเฉลี่ยของความถูกต้อง คือ 90.77 % และไม่ถูกต้องคือ 9.23 %

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อการจัดการด้านพัฒนาต้นแบบโปรแกรมแชทบอทอัจฉริยะสำหรับการบริหารจัดการด้านให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์

ขอบเขตของงานวิจัย

สำหรับขอบเขตงานวิจัยการพัฒนาโปรแกรมแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรี ของส่วนงานฝึกปฏิบัติงาน CCDS คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่ง โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์การวิจัยจึงได้กำหนดขอบเขตงาน การดำเนินงาน 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลและเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้ทฤษฎีทาง อัลกอริทึม naive Bayes / Natural Language Processing (NLP) โดยมีการประมวลผลภาษาธรรมชาติเพื่อช่วยการวิเคราะห์ประโยคและระบุเจตนาของผู้ใช้
2. นำข้อมูลมาออกแบบรายละเอียดในการให้ข้อมูลในแต่ละด้านของการฝึกปฏิบัติงาน
3. ปรับปรุงการจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดประเด็นต่าง ๆ จากข้อเสนอแนะและข้อมูลในการให้บริการ ลงในโปรแกรมแชทบอทและทำการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application)
4. ทำการทดสอบการแสดงผลของระบบตอบแชทอัตโนมัติบนแอปพลิเคชัน

ในการวิจัยครั้งนี้ เพื่อให้การพัฒนาระบบมีความถูกต้องครบถ้วน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรอบแนวคิด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดของการพัฒนาระบบ

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะ

Natural Language Processing (NLP) คือ ระบบแปลภาษาเป็นงานวิจัยแขนงหนึ่งของการประมวลผลภาษาธรรมชาติ ซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และภาษาศาสตร์เชิงคำนวณ (Computation Linguistic) โดย NLP จะเน้นไปที่การประมวลผลข้อความ แยกโครงสร้างประโยค ชื่อเฉพาะ หน้าที่ของคำ ถือเป็นเทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ที่นำมาใช้กับการพัฒนาโปรแกรมแชทบอท (Kritsuthikul, 2006)

Shrutika และคณะทำการศึกษาวิจัยระบบการดูแลและสุขภาพด้วยโปรแกรมแชทบอทโดยใช้วิธีการของอัลกอริทึมนาอ์ฟเบย์ (Naïve Bayes) พบว่าทำให้สามารถแยกและทำนายประเภทของข้อมูลคำตอบได้แม่นยำและยังสามารถจับคู่รูปแบบคำถามคำตอบได้ถูกต้อง (Shrutika, 2022)

ปรีชา ตั้งเกรียงกิจ ได้วิจัยเรื่อง การประยุกต์ระบบปัญญาประดิษฐ์ตอบแชทอัตโนมัติเพื่อการเรียนรู้ด้วยการจัดทำ Periodic bot ซึ่งเป็น Chabot เพื่อช่วยในการเรียนรู้เรื่องตารางธาตุ เนื่องจากนักเรียนนักศึกษาได้มีการเรียนรู้เรื่องตารางธาตุทั้งในระดับมัธยม และระดับมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นฐานของการเรียนรู้ในวิชาเคมี โดยตารางธาตุมีรายละเอียดเกี่ยวกับธาตุต่าง ๆ จำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความจำ ในการวิจัยนี้ได้อาศัยเทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์ตอบแชทอัตโนมัติโดยใช้ Dialog flow และ แอปพลิเคชันไลน์ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนรู้อย่างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นักศึกษาสามารถหาคำตอบ ทบทวน ได้อย่างรวดเร็ว ทุกที่ ทุกเวลา (ปรีชา ตั้งเกรียงกิจ, 2563)

รัตนาวรี และจิราวรรณได้วิจัยเรื่อง แอปพลิเคชันแชทบอทการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรกรรมและวัฒนธรรม เพื่อให้คำแนะนำการส่งเสริมการท่องเที่ยว อำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี มีการพัฒนาระบบมาจากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI :Artificial Intelligence) และการใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP: Natural language processing) โดยใช้โปรแกรม dialog flow และติดต่อผู้ใช้งานทางโปรแกรม LINE แอปพลิเคชันจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนติดต่อผู้ใช้ ส่วนประมวลผล และส่วนดำเนินการ (Fulfillment Engine) และรับหัวข้อเจตนา (intent) หลังจากนั้นนำไปใช้ผลประเมิน พบว่า ผู้ใช้โดยรวมมาก ค่าเฉลี่ย 3.80 และมีระบบความเป็นธรรมชาติใกล้เคียงมนุษย์ เฉลี่ย 3.66 แต่ยังคงเพิ่มเติมส่วนการปรับใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาษาธรรมชาติ (NLP: Natural language processing) เพื่อให้ให้เคียงมนุษย์มากที่สุด (รัตนาวรี และจิราวรรณ, 2562)

AYTM, Opus Research & Nuance Communication, Inc. ได้ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่าง 425 คน ที่มีอายุมากกว่า 18 ปี พบว่า 89% ของผู้ตอบแบบสอบถามชื่นชอบที่จะใช้ผู้ช่วยเสมือน (Virtual Assistance) เพื่อที่จะเพิ่มความเร็วในการหาข้อมูล 73% ของผู้ตอบแบบสอบถามต้องการ บริการเฉพาะรายบุคคล (Personalized Customer Services) 64% ต้องการให้บริการลูกค้า (Customer Service) เป็นไปในเชิงรุก มีการนำข้อมูลและการแนะนำข้อมูลแก่ลูกค้า (AYTM, Opus Research & Nuance Communication, Inc., 2016)

Smys และ Haoxiang ศึกษาวิธีการใช้แบบจำลอง Naïve Bayes และการวิเคราะห์เอนโทรปีในการแยกแยะระหว่างมนุษย์และแชทบอท โดยทำการวิเคราะห์เอนโทรปีเพื่อวัดความซับซ้อนและความไม่แน่นอนของข้อมูลการสนทนาแบบจำลองโดยใช้อัลกอริทึมนาอ์ฟเบย์ มาช่วยแยกแยะระหว่างมนุษย์และแชทบอทได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มความแม่นยำในการจำแนกประเภทการสนทนาในแอปพลิเคชันจริงแต่ยังพบข้อจำกัด การพึ่งพาความเป็นอิสระของคุณลักษณะใน Naïve Bayes อาจไม่สอดคล้องกับข้อมูลที่แท้จริงในชีวิตประจำวันจึงจำเป็นต้องเพิ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น (Smys & Haoxiang, 2021)

วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการที่ได้มาเพื่อการพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ มีขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอ ดังนี้

1. การสำรวจความต้องการในการใช้โปรแกรมแชทบอท

ในขั้นตอนนี้จะทำการสร้างแบบสอบถามแชทบอทในการสำรวจความต้องการในการใช้งานโปรแกรมของผู้ใช้ส่วน

งานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อเป็นการเก็บข้อมูลสำหรับนำมาวิเคราะห์ในการพัฒนาระบบส่วนงานหน้าบ้าน (Front-end), การปรับปรุงส่วนงานหลังบ้าน (Back-end) และ แอปพลิเคชัน Programming Interface ส่วนของโปรแกรมแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application)

2. ศึกษาข้อมูลรวบรวมข้อมูล

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาข้อมูลโดยนำผลสำรวจความต้องการมารวบรวมและสรุปโดยแยกออกเป็นส่วนการทำงานของแต่ละผู้ใช้ส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา

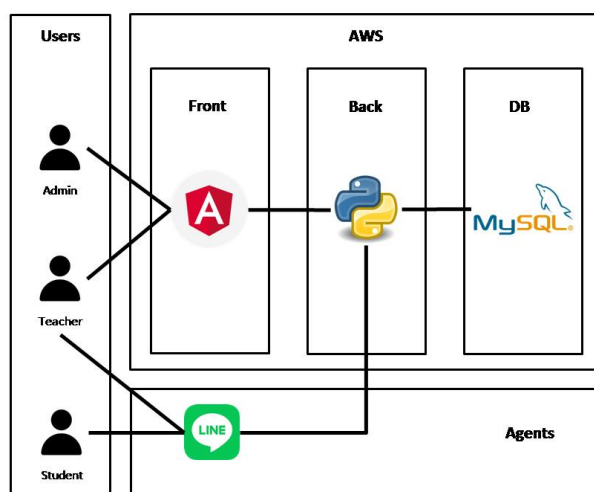
3. วิเคราะห์ตัวอย่างโปรแกรมแชทบอท

วิเคราะห์จากโปรแกรมแชทบอทที่ให้บริการทางด้านระบบทางการศึกษาภายในประเทศเพื่อให้เป็นแนวทางในการสร้างต้นแบบ สำหรับ Library แชทบอท ที่จะนำมาใช้ Chatterbot เนื่องจากสามารถรองรับภาษา Python ซึ่งเป็นภาษาและนำวิธีการจากอัลกอริทึม Naive Bay มาประยุกต์ใช้สำหรับการพัฒนา ส่วนงาน Backend ของระบบ

4. การออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน

สำหรับการออกแบบโปรแกรมแชทบอทส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษาที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล ออกแบบระบบสนับสนุนการทำงานของโปรแกรมแชทบอท ส่วนงานหน้าบ้าน (Front-end), ส่วนงานหลังบ้าน (Back-end) และ แอปพลิเคชัน Programming Interface ส่วนของโปรแกรมไลน์แอปพลิเคชัน โดยจะนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และนำมาออกแบบโดยแบ่งออกเป็น ดังนี้

4.1 สถาปัตยกรรมของโปรแกรมแชทบอทรายละเอียดดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมของโปรแกรมแชทบอท

จากภาพที่ 2 เป็นสถาปัตยกรรมของโปรแกรมแชทบอท โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนการทำงานที่ 1 ระบบหน้าบ้าน (Front End) จะใช้เทคโนโลยี Angular 9 เป็น Framework สำหรับสร้าง Front-End API มาช่วยในการจัดการระบบเว็บสำหรับ Provide ข้อมูลมาช่วยจัดการและพัฒนาระบบหน้าบ้านโดยจะมีผู้ใช้งาน คือ นักศึกษา เจ้าหน้าที่และผู้ดูแลระบบ โดยจะบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงบนฐานข้อมูล

ส่วนการทำงานที่ 2 ระบบหลังบ้าน (Back End) จะใช้เทคโนโลยีภาษาไพทอน (Python) มาสนับสนุน มาช่วยในการสนับสนุนส่วนการจัดการข้อมูลและการโต้ตอบของระบบกับผู้ใช้ โดยผู้ใช้งาน คือ ผู้ดูแลระบบโดยจะบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ลงบนฐานข้อมูลแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วน

1. Flask เป็น Framework สำหรับสร้าง Back-End API

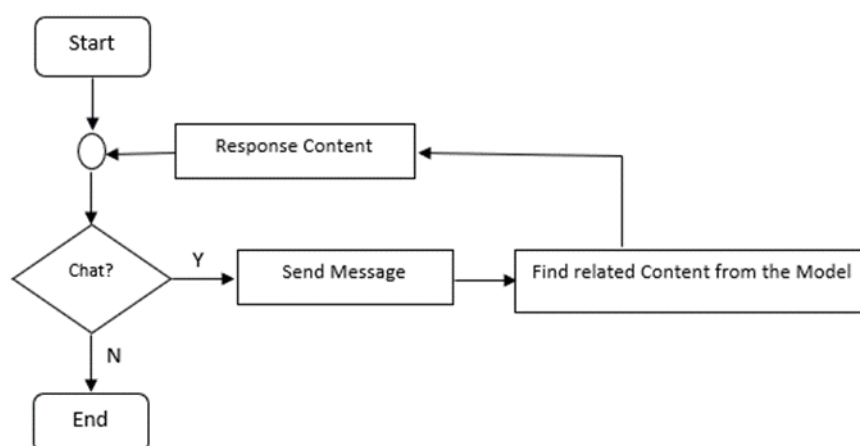
2. Chatterbot เป็น Library สำหรับทำ Rule Base

ส่วนการทำงานที่ 3 ไลน์แชทบอทแอปพลิเคชัน ส่วนงานนี้จะเป็นส่วนของโปรแกรม แชทบอท ตัวกลางสำหรับการดึงข้อมูลที่จำเป็นมาใช้สำหรับทั้งระบบหน้าบ้าน (Front End) ระบบหลังบ้าน (Back End) จะใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยวิธีการจากอัลกอริทึม Naive Bay มาช่วยในการประมวลผลการโต้ตอบให้เป็นระบบอัตโนมัติแบบ Real Time โดยใช้ Rule-based bots เข้ามาประยุกต์ใช้ไปด้วย สำหรับอัลกอริทึม Naïve Bayes จะเป็นขั้นตอนวิธีที่ใช้สำหรับการจำแนกข้อมูลโดยจะทำการเรียนรู้ปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อนำมาสร้างเงื่อนไขใหม่ โดยเน้นหลักการ ใช้คำนวณหาความน่าจะเป็นในการทำนายผลลัพธ์ได้ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อสร้างเงื่อนไขและหาความน่าจะเป็นแต่ละความสัมพันธ์ โดยข้อมูลที่มีจำนวนมากและคุณสมบัติของข้อมูลตัวอย่างไม่ขึ้นต่อกัน ตัวอย่างดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่าง Rule-based bots

ลำดับ	Input	Answer
1	ข้อมูลพี่เลี้ยง	ข้อมูลพี่เลี้ยง
	กำหนดการลงฝึกสถานประกอบการปัจจุบัน	ข้อมูลกำหนดการลงฝึกสถานประกอบการปัจจุบัน
	กำหนดการลงฝึก	ข้อมูลกำหนดการลงฝึก
2	เอกสารที่ใช้ในการสมัครลงฝึกงาน	ข้อมูลเอกสารที่ใช้ในการสมัครลงฝึกงาน
	สายอาชีพเปิดรับนักศึกษาฝึกงานกับสถานประกอบการ	ข้อมูลสายอาชีพเปิดรับนักศึกษาฝึกงานกับสถานประกอบการ
3	ขั้นตอนการลา	ข้อมูลขั้นตอนการลา

4.2 แผนผังการทำงานส่วนของเมนูของแชทบอท ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการทำงานส่วนของเมนูของแชทบอท

4.3 การออกแบบหน้าจอสำหรับผู้ใช้งาน ดังภาพที่ 4

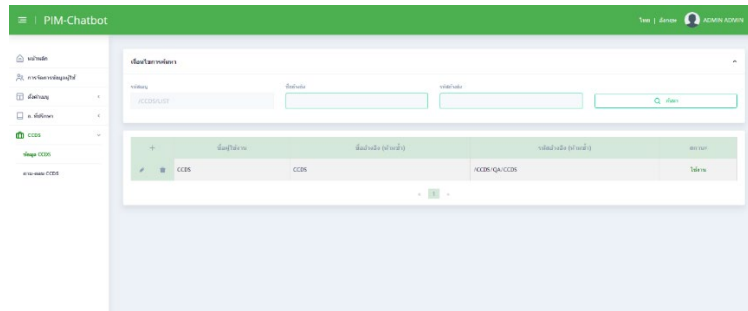
ภาพที่ 4 ตัวอย่างหน้าจอเข้าสู่ระบบของผู้ใช้

จากภาพที่ 4 เป็นตัวอย่างหน้าจอการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้โดยผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูล ชื่อผู้ใช้งานและรหัสส่วนตัว และกดการยืนยันเพื่อเข้าสู่ระบบ โดยจะแบ่งการเข้าถึงตามสิทธิ์ของผู้ใช้ของนักศึกษา เจ้าหน้าที่และผู้ดูแลระบบ และสามารถค้นหาข้อมูลการฝึกงานได้ ดังภาพที่ 5

ภาพที่ 5 ตัวอย่างหน้าจอการค้นหาข้อมูลผู้ใช้

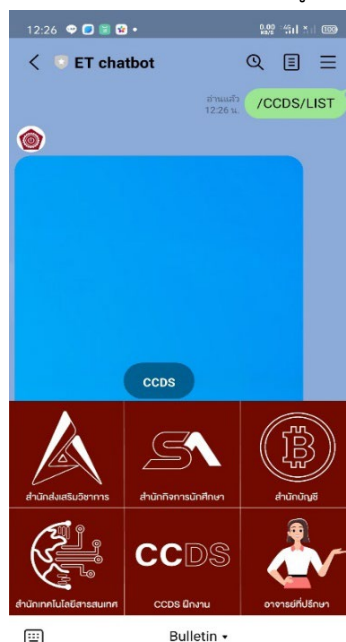
จากภาพที่ 5 จะเป็นการจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานสามารถกรอกชื่อและข้อมูลต่างๆ ที่ระบบต้องการในส่วนนี้ จะเป็นการทำงานของผู้ดูแลระบบโดยสามารถค้นหาข้อมูลผู้ใช้งานระบบได้ ดังภาพที่ 6

ภาพที่ 6 ตัวอย่างหน้าจอการค้นหาข้อมูลผู้ใช้งานในระบบ



ภาพที่ 7 ตัวอย่างหน้าและเมนูระบบหลังบ้านของส่วนงาน CCDS (Back-end system)

จากภาพที่ 7 ตัวอย่างหน้าและเมนูระบบหลังบ้าน (Back-end system) จะมีเมนูการจัดการส่วนงานต่างของผู้ใช้ระบบและส่วนของการจัดการ Model ที่นำไปใช้ในโปรแกรมแชทบอทโดยผู้ใช้งานสามารถเลือกได้



ภาพที่ 8 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับแชทบอท ที่นำไปใช้งาน

จากภาพที่ 8 ตัวอย่างหน้าจอสำหรับ แชทบอท ส่วนงานฝึกปฏิบัติติงาน ที่นำไปใช้งานใช้เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบข้อมูลเกี่ยวกับการลงทะเบียน ระบบจะไปค้นข้อมูลหรือคำตอบจากฐานข้อมูลที่ระบบได้ทำการจัดเก็บไว้ และแสดงการโต้ตอบกลับผ่านระบบ แชทบอท

5. ขั้นตอนของการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน แบ่งขั้นตอนเป็น ดังนี้

5.1 ออกแบบสร้างฐานข้อมูลและเมนูต่างๆ สำหรับระบบที่ทำการรวบรวมข้อมูลมาขึ้นขั้นตอนการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 3.3 จะเป็นขั้นตอนการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน เมื่อเริ่มต้นการใช้งาน ผู้ใช้ต้องการทำการ Login โดยใส่ Username/Password เข้าสู่ระบบโดยระบบจะมีการตรวจสอบสิทธิ์ของผู้ใช้ตามประเภท User ของการใช้งาน คือ นักศึกษา อาจารย์ และผู้ดูแลระบบโดยจะมีการกำหนดสิทธิ์เข้าถึงในเมนูต่าง ๆ ที่กำหนดเอาไว้

5.2 พัฒนาส่วนงานระบบหน้าบ้าน (Front End) และส่วนงานหลังบ้าน (Back End) ที่ได้ทำการออกแบบไว้

5.3 พัฒนาในส่วนของการเชื่อมต่อแอปพลิเคชัน Programming Interface สำหรับส่วนไลน์แอปพลิเคชัน

5.4 การทดสอบแอปพลิเคชัน จะแบ่งออกแบ่งการทดสอบย่อยดังนี้

Unit Testing คือ จะทำการทดสอบส่วนของฟังก์ชันการทำงานย่อย ๆ ของเว็บระบบหน้าบ้าน (Back End) และระบบหน้าบ้าน (Front End) ในส่วนนี้จะเพิ่ม การวิเคราะห์ความแม่นยำ โดยเตรียม Testing Dataset ไว้สำหรับ Test ความแม่นยำโดย Dataset นี้จะมี Input ที่มีความสื่อความหมายคล้ายคลึงกับ Input ของ Training Dataset และมี Response ที่เหมือนกับ Training Dataset และ Run ทดสอบดูว่า Response จากระบบกับ Response ของ Testing Dataset นั้นเหมือนกันหรือไม่โดยใช้การวัดความแม่นยำในการตอบของบอท (Bot)

Sub Function Testing คือ จะทำการทดสอบส่วนของฟังก์ชันการทำงานหลักของระบบรวมไปถึง ไลน์แชทบอท

Integration Testing คือ จะทำการทดสอบในส่วนของการเชื่อมต่อ แอปพลิเคชัน Programming Interface ของไลน์แชทบอท กับการทำงานร่วมกันของระบบระบบหน้าบ้าน (Back End) และ ระบบหน้าบ้าน (Front End)

System Testing คือ จะทำการทดสอบภาพรวมของการทำงานทั้งหมด

User Acceptance คือ จะให้ผู้ใช้มาทำงานทดสอบระบบและโปรแกรมแชทบอท

5.5 การนำติดตั้งส่วนของเว็บแอปพลิเคชัน (Backend) คือ จะนำเว็บแอปพลิเคชันที่ผ่านการทดสอบแล้วนำขึ้นสู่ระบบ Server จริง

6. ขั้นตอนการหาประสิทธิภาพของโปรแกรมแชทบอท

ในหัวข้อนี้จะกำหนดนิยามของค่าประสิทธิภาพ และรูปแบบการทดสอบประสิทธิภาพ โดยการทดสอบประสิทธิภาพจะใช้บรรทัดฐานในการเปรียบเทียบเป็นการความพึงพอใจในการใช้งานแอปพลิเคชัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบสอบถามเพื่อใช้สำรวจความพึงพอใจจากการใช้งานระบบ โดยไปทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 500 คน เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขต่อไป โดยทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบและการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติพื้นฐานที่เป็นค่าเฉลี่ย ค่าร้อยละ และใช้มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนนออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่

5 หมายถึง พึงพอใจระดับมากที่สุด

4 หมายถึง พึงพอใจระดับมาก

3 หมายถึง พึงพอใจระดับปานกลาง

2 หมายถึง พึงพอใจระดับน้อย

1 หมายถึง พึงพอใจระดับน้อยที่สุด

มีเกณฑ์แปลความหมายของค่าเฉลี่ยระดับความพึงพอใจประสิทธิภาพ ดังนี้

4.51–5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด

3.51–4.50 หมายถึง ระดับมาก

2.51–3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง

1.51–2.50 หมายถึง ระดับน้อย

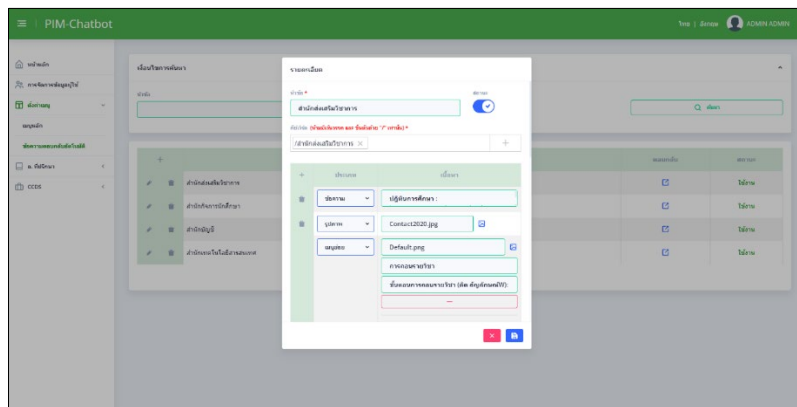
1.00–1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

ผลการวิจัย

สำหรับผลของผู้วิจัยได้นำระบบไปให้นักศึกษาระดับปริญญาตรี ในคณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาด้านคอมพิวเตอร์ โดยจะแบ่งออกเป็น ส่วนต่าง ๆ ดังนี้

การพัฒนาและการปรับปรุงส่วนของระบบหน้าบ้าน (Front-End) ระบบหลังบ้าน (Back-End)

1. การพัฒนาและปรับปรุงหน้าจอสำหรับผู้ใช้งานของระบบหลังบ้าน (Admin) หน้าจอการสร้างข้อมูลรายละเอียดเมนูย่อย



ภาพที่ 9 หน้าจอการสร้างข้อมูลรายละเอียดเมนูย่อย

2. การพัฒนาและปรับปรุง โปรแกรม LINE OA : ET_แชทบอท ส่วนงาน CCDS

สำหรับการพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรม LINE OA : ET_แชทบอท ส่วนงานของอาจารย์ที่ปรึกษาและส่วนงาน CCDS นั้นทางผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาและปรับปรุง โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนของการพัฒนาและปรับปรุง ดังนี้

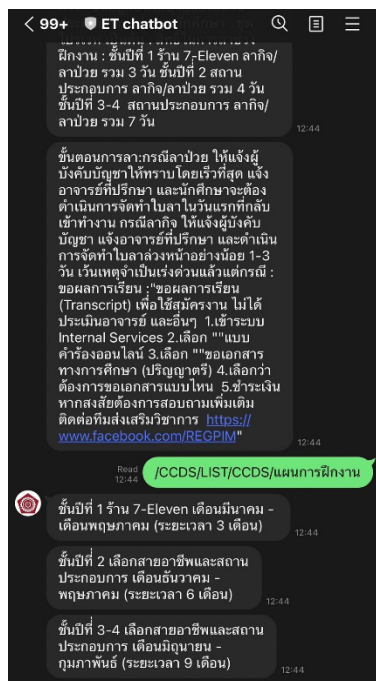
- ส่วนหน้าจอใช้งาน โปรแกรม แชทบอท สำหรับผู้ใช้ โดยเข้าไปที่ LINE OA : ET_แชทบอท ส่วนงาน CCDS

ภาพที่ 10

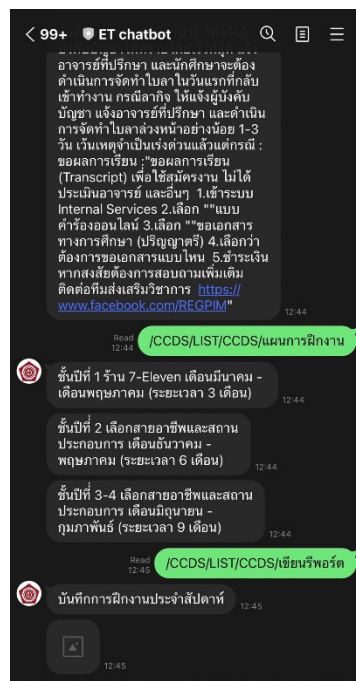


ภาพที่ 10 หน้าจอหลัก ET_แชทบอท (CCDS)

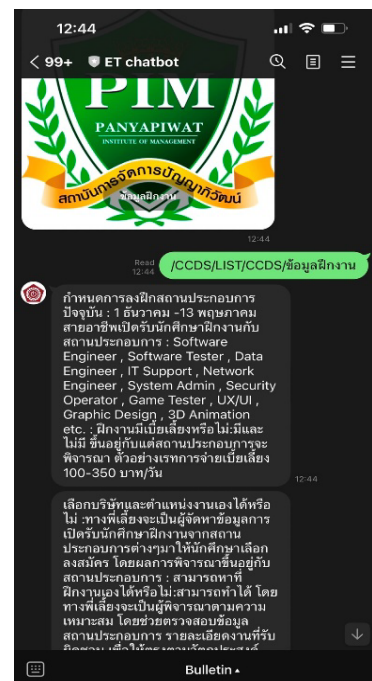
จากภาพที่ 10 หน้าจอหลัก ET_แชทบอท จะปรากฏเมนูหลัก ทั้งหมด 6 เมนู ให้ผู้ใช้งานเลือก เมนู CCDS เพื่อเข้าใช้งาน หลังจากที่ถูกเข้าไปแล้วจะพบกับเมนูย่อย เช่น แผนการฝึกงาน 4 ปี ดังภาพที่ 11 และเมื่อเลื่อนลงมาด้านล่างจะปรากฏเมนูย่อย อันดับที่ 2 คือ ตัวอย่างการเขียนรายงาน (Report) ฝึกงานดังภาพที่ 12 และเมนูลำดับที่ 3 คือ ข้อมูลการเตรียมตัวฝึกงาน ดังภาพที่ 13 เป็นต้น



ภาพที่ 11 แผนการฝึกงาน



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการเขียน Report



ภาพที่ 13 ข้อมูลการเตรียมตัวฝึกงาน

ผลการทดสอบโปรแกรม แชทบอท ส่วนการทำงาน CCDS ดังนี้

ทำการทดสอบแต่ละเมนู จำนวน 500 ครั้ง พบว่ายังมีส่วนของการตอบสนองจากเมนูทั้ง 6 มาใช้ในการทดสอบ โดยแสดงดัง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโปรแกรม แชทบอท

ลำดับ	การทดสอบคำถาม	ผลการทดสอบ			
		ถูกต้อง	(%)	ไม่ถูกต้อง	(%)
1	แผนการฝึกงาน 4 ปี	453	90.60	47.00	9.4
2	ตัวอย่างการเขียนรีพอร์ตฝึกงาน	445	89.00	55.00	11.00
3	ข้อมูลการเตรียมตัวฝึกงาน	460	92.00	40.00	8.00
4	ข้อมูลการลงร้าน 7-11	457	91.40	43.00	8.60
5	ข้อมูลการฝึกงานต่างประเทศ	463	92.60	37.00	7.40
6	ข้อมูลติดต่อเจ้าหน้าที่	445	89.00	55.00	11.00
ค่าเฉลี่ยรวมความถูกต้องและถูกต้อง			90.77		9.23

ผลการศึกษาและทดสอบการใช้ Algorithm TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency) โดยมีขั้นตอน ดังนี้

Preparing data

ทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวม dataset ที่ประกอบด้วย คำถาม และ คำตอบ ทั้งหมด 100 คู่ เกี่ยวกับหัวข้อที่จะทำ แชนบอท โดยเราใช้ Column คำถามเพื่อ Train Model ขณะที่ใช้ Column คำตอบเป็น Target ที่คาดหวังให้ Model ตอบ เช่นตัวอย่าง

Q1: ลงทะเบียน (ขอรับส่วนลดค่าเทอม 5,000)

A1: http://reg.pim.ac.th/registrar/download/pdf/Howto_itax.pdf

Q1: กยศ กรอ

A1: <https://eservices.studentloan.or.th/SLFSTUDENT/html/index.html>

Q1: ปฏิทินการศึกษาล่าสุด

A1: https://aa.pim.ac.th/wp/wp-content/uploads/2021/09/REMIND_PIM2564_100964.pdf

ขั้นตอนการทำ Preprocessing ในขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย 3 หัวข้อย่อย

Text Cleaning คือ ลบอักขระพิเศษที่ไม่ส่งผลต่อความหมายรูปประโยค เช่น “!”, “?” ลบ Emoji, ลบเครื่องหมาย คำพูด, ลบ Tag ต่างๆ เช่น HTML, URL เป็นต้น

Tokenization คือ การตัดประโยคให้เป็นคำ เช่น “ลงทะเบียน (ขอรับส่วนลดค่าเทอม 5,000)” จะได้ ['ลงทะเบียน', ' ', '(', 'ขอรับ', 'ส่วนลด', 'ค่า', 'เทอม', ' ', ' ', '5,000', ')']

Create Bag Of Words คือ นำแต่ละคำมาสร้าง คลังคำศัพท์โดยใช้ ID ในการระบุแทนแต่ละคำสร้าง Matrix สำหรับนับคำที่พบในแต่ละประโยค โดยใช้ Term Frequency-Inverse Document Frequency (TFIDF)

ขั้นตอน Text Retrieval Process แปลง User’S Question เป็น Vector และไปหาใน TFIDF Matrix และเลือก Response คำตอบตัวที่ได้ Score สูงสุดที่มีค่ามากกว่า Threshold แต่หากไม่ผ่านตามเกณฑ์ก็จะ Return “ไม่พบข้อมูล”

ขั้นตอน Evaluation เราใช้ Accuracy Score ในการวัดประสิทธิภาพของโมเดล โดยใช้ 2 Dataset

1. Dataset ที่ใช้ Build Model จะประกอบด้วย คำถาม และ คำตอบ ตรงไปตรงมา
2. Dataset ทางผู้วิจัยได้มีการดัดแปลงประโยคคำถามหลากหลายแบบแต่ผู้ใช้งานต้องการคำตอบเดียวกัน เพราะเวลาคนแต่ละคนถามจะพิมพ์มาไม่เหมือนกัน

สำหรับ ผลการทดลองพบว่า Dataset 1 ที่ใช้ คำถาม และคำตอบ ตรงไปตรงมา ทำความแม่นยำได้ดีกว่า 100% แต่เมื่อนำ Dataset 2 ที่ดัดแปลงคำถาม พบว่า Model ทำ Accuracy น้อยกว่า 50% จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางผู้วิจัย พบว่าเนื่องจากลักษณะคำถามและคำตอบเป็นภาษาไทยซึ่งมีความยากในการตัดคำกว่าภาษาอังกฤษ อีกทั้งการพิมพ์ผิด คำกำกวม ซึ่งล้วนแต่เป็นอุปสรรค จึงทำให้ ได้รับ Accuracy ต่ำ เมื่อเราเปลี่ยนรูปแบบประโยคคำถาม และเนื่องจากคำถามที่มีอยู่นั้นน้อยเกินไปจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จาก Deep Learning Model ซึ่งต้องการข้อมูลปริมาณมากๆ ในการเรียนรู้ ดังนั้น เราจึงเสนอ Rule Base ในการทำ แชนบอท ซึ่งเหมาะสมกับกรณีศึกษานี้มากกว่า

ความคิดเห็นด้านความพึงพอใจของผู้ใช้

จากจำนวนนี้มีผู้ทำการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานผู้ใช้งานผู้ต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ทั้งสิ้น 432 คน ผลการประเมินดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินความพึงพอใจในภาพรวมแต่ละด้าน

ด้าน		ค่าเฉลี่ย	ระดับความคิดเห็น
1	ด้านกระบวนการติดตั้งและความเข้าใจการใช้งาน	4.31	พึงพอใจมาก
2	ด้านภาพรวมของระบบ	3.93	พึงพอใจปานกลาง
3	ด้านรูปแบบและภาพลักษณ์	4.07	พึงพอใจมาก
4	ด้านการใช้งาน	4.01	พึงพอใจมาก
สรุปภาพรวม		4.08	พึงพอใจมาก

จากผลในตารางที่ 3 นำเว็บแอปพลิเคชันไปให้นักศึกษาใน ทดลองใช้ พบว่า ภาพรวมด้านส่วนความพึงพอใจด้านการใช้งานมีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.01 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ส่วนด้านภาพรวมของระบบ มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 3.93 อยู่ในระดับพึงพอใจปานกลาง ด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ ผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.07 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก และด้านการใช้งานระบบ มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.01 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก สรุปความพึงพอใจพึงพอใจในภาพรวมแต่ละด้าน มีผลประเมินความพึงพอใจ คือ 4.08 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก

อภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้การพัฒนาต้นแบบแชทบอทอัจฉริยะสำหรับให้คำปรึกษานักศึกษาระดับปริญญาตรีของส่วนงานฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่ง โดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ นำอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้กับส่วนงานของตัวหลังบ้าน (Backend System) เพื่อทำมาใช้ในการปรับปรุงส่วนงานต่าง ๆ มีการพัฒนาในส่วนข้อมูลของหน่วยงานของฝึกปฏิบัติงานศูนย์ที่ปรึกษาและพัฒนาอาชีพนักศึกษา หรือเรียกว่าหน่วยงาน CCDS โดยนำเสนอข้อมูลด้านการบริการและข้อคำถามที่นักศึกษามีคำถาม มีเมนูแผนการฝึกงาน 4 ปี, ตัวอย่างการเขียนรายงาน(Report) ฝึกงาน, ข้อมูลการเตรียมตัวฝึกงาน, ข้อมูลการลงร้าน, ข้อมูลการฝึกงานต่างประเทศและข้อมูลติดต่อเจ้าหน้าที่โปรแกรมโดยใช้เทคโนโลยีทางด้านปัญญาประดิษฐ์ และทำการทดสอบและแสดงผลของ แชทบอทระบบนี้จะให้ข้อมูลสนทนาโต้ตอบอัตโนมัติกับผู้ใช้เชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันไลน์ (Line Application)

จากผลการทดลองนำโปรแกรม แชทบอท ไปให้ ผู้ใช้ทดลองจำนวน 432 คน มหาวิทยาลัยเอกชนแห่งหนึ่ง ด้านกระบวนการติดตั้งและความเข้าใจในการใช้งานระบบ มีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.31 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ส่วนภาพรวมความพึงพอใจด้านรูปแบบและภาพลักษณ์ของเว็บ มีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.07 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก ความพึงพอใจด้านการใช้งานมีผลประเมินความพึงพอใจคือ 4.04 อยู่ในระดับพึงพอใจมาก นอกจากนี้การทดสอบการทำงานของ แชทบอท ตอบสนองความต้องการได้ถูกต้อง ค่าเฉลี่ยของความถูกต้อง คือ 90.77% และไม่ถูกต้องคือ 50.99% ส่วนการนำเอาเทคโนโลยีทางด้าน Machine Learning มาทดลองใช้พบว่า ผลการทดลอง Data Set 2 ชุดพบว่า Dataset 1 ที่ใช้คำถามและคำตอบ ตรงไปตรงมา ทำความแม่นยำได้ดีกว่า 100% แต่เมื่อนำ Dataset 2 ที่ดัดแปลงคำถาม พบว่า Model ทำ Accuracy น้อยกว่า 50% จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางผู้วิจัย พบว่า เนื่องจากลักษณะคำถามและคำตอบเป็นภาษาไทยซึ่งมีความยากในการตัดคำว่าภาษาอังกฤษ อีกทั้งการพิมพ์ผิด คำกำกวม ซึ่งล้วนแต่เป็นอุปสรรค จึงทำให้ ได้รับ Accuracy ต่ำ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบประโยคคำถาม และเนื่องจากคำถามที่มีอยู่นั้นน้อยเกินไปจึงไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการทดลองนำเทคนิคทางด้าน Machine Learning มาใช้กับโปรแกรมแชทบอท ทั้งนี้เนื่องจากเทคนิควิธีการที่กล่าวมาข้างต้นต้องใช้ข้อมูลในปริมาณมากๆ สำหรับการเรียนรู้และทดสอบจึงไม่เหมาะกับลักษณะข้อมูล ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงนำเสนอการ Rule Base ในการทำแชทบอท ซึ่งเหมาะสมกับส่วนการใช้งาน CCDS

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้รับข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการประเมินความพึงพอใจและผู้วิจัยต้องการพัฒนาเพิ่มเติมในอนาคต ดังนี้

1. อยากรู้ความสามารถตรวจสอบการส่งสถานะสมัครฝึกงาน
2. สามารถส่งเอกสารฝึกงานผ่าน ไลน์
3. เพิ่มจำนวนข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดการฝึกงานและอื่น ๆ
4. จะนำ Algorithm และเทคโนโลยีทางด้าน Machine Learning ที่นำมาประยุกต์ใช้และเพิ่มการทดสอบ และเมนูต่างๆ

ดังนั้น การพัฒนาระบบในครั้งนี้จะสามารถเป็นต้นแบบให้กับองค์กรหรือหน่วยงานต่าง ๆ ไปปรับใช้เป็นต้นแบบแชทบอทสำหรับการให้คำปรึกษาในส่วนงานหรือแผนก ต่างๆ ขององค์กรได้

เอกสารอ้างอิง

- เกวลี จันทรวงษ์. (2564). Conversational Flow คืออะไร ทำไมถึงนำมาใช้ใน Chatbot? สืบค้นจาก <https://www.medium.com/convolab/conversationalflowคืออะไร-ทำไมถึงนำมาใช้ใน-chatbotaa9bfff5eb2ff>.
- จักรินทร์ สันติรัตนภักดี. (2561). การตลาดออนไลน์และบริการลูกค้าด้วยแชทบอท กรณีศึกษา: การใช้ Chatfuel ปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าผ่านเมสเซนเจอร์. *วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, 10(1), 71-87.
- จิรันดร บัวสวัสดิ์ (28 – 29 กันยายน 2560). แนวทางการพัฒนาด้านแชทบอทสำหรับให้คำแนะนำระบบกองทุนอุดหนุนการวิจัยงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. *งานประชุมวิชาการระดับชาติครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม*, 9, 1906-1903, นครปฐม, ประเทศไทย
- ชลณัฐ พูนขวัญกาญจน์ (2560). *เสริมศักยภาพองค์กร ด้วยการใช้เทคโนโลยี Chatbot*. สืบค้นจาก <https://www.digitalagemag.com/แชทบอท-แก้ปัญหา-การขาดคนทำงาน-สำหรับ-smes>.
- ชุมพล โมฆรัตน์, วราภรณ์ อุ่นชัย, และ สุกัญญา มารแพ (2559). พัฒนาแอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อการวินิจฉัยโรคเบาหวานด้วยออนโทโลยี. *การประชุมวิชาการระดับนานาชาติทางด้านการคอมพิวเตอร์และวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยแม่โจ้*, 519-524, โรงแรมเชียงใหม่ฮิลล์, เชียงใหม่, ประเทศไทย.
- ธนภัทร บุศราทิศ. (2559). อิทธิพลของการสื่อสารเนื้อหาโปรแกรมลูกค้าสัมพันธ์ผ่านสื่อ Chatbot ต่อระดับการมีส่วนร่วมของลูกค้า. [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].
- ประชาชาติธุรกิจ. จีนเปิดตัว “ผู้ประกาศข่าว AI” คนแรกของโลก! หนูนางงามข่าว 24 ชั่วโมง ลดต้นทุนคนจริง. สืบค้นจาก <https://www.prachachat.net/world-news/news-247476>.
- ปรีชา ตั้งเกรียงกิจ (2563). การประยุกต์ระบบปัญญาประดิษฐ์ตอบแชทอัตโนมัติเพื่อการเรียนรู้. *Royal Thai Air Force Medical Gazette*, 66(2).
- รัตนาวลี ไม้สัก และ จิราวรรณ แก้วจินดา. (2563). แอปพลิเคชันแชทบอทเพื่อการส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงเกษตรและวัฒนธรรม. *รายงานการวิจัยคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. *ปัญญาประดิษฐ์*. สืบค้นจาก <https://th.wikipedia.org/wiki/ปัญญาประดิษฐ์>.

- สิทธิพล พรณวิไล. (2560). มาเริ่มต้นเขียน LINE Bot ด้วย Messaging API กัน. สืบค้นจาก https://nuuneoi.com/blog/blog.php?read_id=882.
- Anak Mirasing (2560). Chatbot คืออะไร ดียังไง มารู้กันใน 10 นาที. สืบค้นจาก <https://medium.com/@igroomgrim/chatbot-คืออะไร-ดียังไง-มารู้กันใน-10-นาที-3e6165dd34b8>.
- AYTM, Opus Research, & Nuance Communication, Inc. (2016). *The Conversational Interface Preferences survey*.
- Kritsuthikul N. , Thammano, A. , & Supnithi, T. (2006, October 8-11). English-Thai Example-Based Machine Translation using n-gram model. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (ICSMC 2006 / IEEE SMC 2006)*, Grand Hotel Taipei, Taipei, Taiwan.
- Pakorn Ngammanussiri. แนะนำ DIALOGFLOW สำหรับการสร้าง CHATBOT. สืบค้นจาก <https://blog.tangerine.co.th/2019/04/29/แนะนำ-dialogflow-สำหรับการสร้าง-chatbot>.
- Shrutika N. Shirsat, Taslima J. Khan, Payal A. Wable, Dhanashree B. Mandalik, & Prof. M. T. Jagtap. (2022). Healthcare Chatbot system using multinomial naive Bayes algorithm. *IJARII*, 8(2), 1826-1831.
- Smys, S. , & Haoxiang, W. (2021). Naive Bayes and Entropy based Analysis and Classification of Humans and Chat Bots. *IRO Journals* 3(1), 40-49.

Translated Thai References

- Chantawong, K. (2020). Conversational Flow คืออะไร ทำไมถึงนำมาใช้ใน Chatbot?. Retrieved from <https://www.medium.com/convolab/conversationalflowคืออะไร-ทำไมถึงนำมาใช้ใน-chatbotaa9bff5eb2ff>.
- Santirattanaphakdi, C. (2018). Online Marketing and Customer Service by Chatbot Case Study: Chatfuel in Customer Interactive on Messenger. *Sripatum Review of Science and Technology*, 10(1), 71-87.
- Buhatchai, J. (2017, September 29-29). The development of Chatbot prototype for guidance on a research Government budget system. *The 9th NPRU National Academic Conference Nakhon Pathom Rajabhat University*, 9, 1906-1903. Nakhon Pathom, Thailand.
- Poonchattakarn, C. (2017). เสริมศักยภาพองค์กร ด้วยการใช้เทคโนโลยี Chatbot. Retrieved from <https://www.digitalagemag.com/Chatbot-solving-the-problem-lack-of-workers-for-smes>.
- Mokarat, C. , Aunchai, W. , Marpae, S. (2016). An Ontology Based Chatbot Application for Diabetes Diagnosis. *The 20th International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2016)*. 516-524, Chiangmai Orchid Hotel, Chiangmai, Thailand.
- Bussaratis, T. (2016). *Influence of CRM messages communication via chatbot on customer engagement level*. [Master's thesis, Middle, Thammasat University].
- Prachachat Business. จีนเปิดตัว “ผู้ประกาศข่าว AI” คนแรกของโลก! หนูนรายานข่าว 24 ชั่วโมง ลดต้นทุนคนจริง. Retrieved from <https://www.prachachat.net/world-news/news-247476>.
- Tangkraingkij, P. (2020). Application of Artificial Intelligence Chatbot for Learning. *Royal Thai Air Force Medical Gazette*, 66(2).

- Maisak, R. , Kaeowjinda, J. (2020). Chatbot applications will serve as Eco-tourism assistants. *Research report, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon*. Bangkok, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.
- Wikipedia. *Artificial intelligence*. Retrieved from <https://th.wikipedia.org/wiki/ปัญญาประดิษฐ์>.
- Phanvilai, S. (2017). มาเริ่มต้นเขียน LINE Bot ด้วย Messaging API กัน. Retrieved from https://nuuneoi.com/blog/blog.php?read_id=882.

Received: Apr 21, 2024

Revised: Jun 27, 2024

Accepted: Jun 29, 2024

การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อทำการลดต้นทุน IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE PRODUCTION PROCESS OF AUTOMOTIVE PART IN ORDER TO REDUCE COST

บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์¹ พิพัฒน์ เลิศโกวิท^{2*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์²คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์/มหาวิทยาลัยธนบุรีBundit Inseemeeasak¹ Pipat Lertkowitz^{2*}¹Automotive Manufacturing Engineering, Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management²Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thonburi UniversityE-mail: ¹bundit086@hotmail.com, ²pipatpop56@gmail.com*Corresponding Author: ²pipatpop56@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการลดต้นทุนต่างๆในด้านการผลิต หรือ ลดค่าใช้จ่ายทางด้านแรงงานลง จึงได้มีการหาทางแก้ไขและปรับปรุงขั้นตอนกระบวนการผลิต โดยขั้นตอนการดำเนินการแก้ไข เริ่มจากขั้นตอนการศึกษา และวิเคราะห์กระบวนการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการผลิต โดยใช้เครื่องมือ 7 QC Tools, ECRS และ Why Why Analysis จากนั้นจึงทำการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต โดยเริ่มจากวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการผลิตการตรวจสอบต้นทุนการผลิต แผนภูมิการผลิต รวมถึงการออกแบบกระบวนการผลิตใหม่ และประสานงานกับหน่วยงานในบริษัท ในการออกแบบผลิต และทดสอบแม่พิมพ์ และติดตามผล

ผลการวิจัยพบว่า การลดต้นทุน ลดเวลาในการผลิต และลดขั้นตอนในการผลิตและขั้นตอนในการดำเนินงาน ของชิ้นงานเหล็กแผ่น (PLATE 20Y-06) ผู้ดำเนินงานได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการและเครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools), ECRS และ Why Why Analysis ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนได้ จาก 149.68 บาทต่อชิ้น เป็น 107.65 บาทต่อชิ้น หรือลดลง 42.03 บาท ลดเวลาในการผลิต จาก 21.35 นาทีต่อชิ้น เหลือเพียง 14.88 นาทีต่อชิ้น รวมถึงลดขั้นตอนการผลิตจากเดิม 7 ขั้นตอน เหลือเพียง 4 ขั้นตอน

คำสำคัญ: แม่พิมพ์, เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง, ทฤษฎี ECRS, การวิเคราะห์ Why Why Analysis

Abstract

This project aims to reduce cost in production and labor cost to find the way to improve manufacturing process. The corrective action steps begin with a comprehensive study and analysis to identify ways to enhance the production of the PLATE 20Y-06 by using 7 QC Tools, ECRS and Why Why

Analysis to analyze the root causes of the problems by finding production cost information, production chart Including designing new production steps and collaborating with the company's engineering departments to develop and test molds.

The research results indicate significant reductions in costs, production time, production steps, and operational procedures for the PLATE 20Y-06 workpiece. By implementing the 7 QC Tools, ECRS, and Why Why Analysis then costs were reduced from 149.68 THB per unit to 107.65 THB per unit resulting in a cost reduction of 42.03 THB. Production time has decreased from 21.35 minutes per unit to 14.88 minutes per unit and the production process has been streamlined from the original 7 steps to just 4 steps.

Keywords: mold, 7 QC Tools, ECRS, Why Why Analysis

บทนำ

ในปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจที่มากขึ้นทั้งด้านการเพิ่มกำลังการผลิต การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็ว และการลดต้นทุนการผลิต ทำให้หลายโรงงานต้องลดต้นทุนต่างๆ ในด้านการผลิต หรือลดจำนวนแรงงานลง การลดต้นทุนเป็นความจำเป็นสำหรับการดำเนินการในแวดวงอุตสาหกรรม เพราะต้นทุนที่ลดลงไปได้ ไม่เฉพาะเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพเท่านั้น แต่ในที่สุดก็จะแปลงกลับมาเป็นกำไรให้กับกิจการ โดยโรงงานกรณศึกษานั้นเป็นโรงงานที่รับบริการผลิตงานตัดเลเซอร์ พับโลหะ ขึ้นรูปโลหะ และการผลิตงานตามแบบลูกค้า ออกแบบ ปรับปรุง

ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะปรับปรุงขั้นตอนการผลิต ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการลดต้นทุนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อขั้นตอนในการผลิตนั้นลดลง เวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานก็จะลดลงด้วย ซึ่งแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการผลิตนั้นมีอยู่มากมายหลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการลดเวลาในการปฏิบัติงานของเครื่องจักร การใช้เครื่องมือช่วยในการผลิต หรือการปรับเปลี่ยนขั้นตอนในการดำเนินงาน โดยผู้วิจัยจะนำความรู้ และเครื่องมือต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ มาช่วยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา เช่น เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC Tools), การลดความสูญเปล่า (ECRS), การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทำไม (Why Why Analysis) เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ PLATE 20Y-06 มีขั้นตอน และการทำงาน และเวลาในการผลิตที่ไม่เหมาะสม กระบวนการผลิตนั้นมีขั้นตอนที่มากเกินไป ทำให้กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เกิดความล่าช้าในการทำงาน ทำให้ต้นทุนในการผลิตมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดต้นทุนชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กแผ่น (PLATE 20-Y06)
2. เพื่อลดขั้นตอนในกระบวนการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กแผ่น (PLATE 20-Y06)
3. เพื่อลดเวลาในการผลิตของชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กแผ่น (PLATE 20-Y06)

ขอบเขตของโครงการ

1. วิเคราะห์หาแนวทางการลดขั้นตอนในการผลิต รวมถึงลดเวลา และลดต้นทุนการผลิต ของชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กแผ่น (PLATE 20-Y06)
2. ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลขั้นตอนในการผลิต และขั้นตอนในการดำเนินงาน รวมถึงต้นทุนในการผลิต ของ

ชิ้นส่วนยานยนต์เหล็กแผ่น (PLATE 20-Y06)

3. ประสานงานออกแบบและทดสอบแม่พิมพ์ เพื่อลดขั้นตอนในการผลิต
4. การติดตามผลการผลิต หลังการปรับปรุงขั้นตอนการผลิต

การดำเนินการ

การศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิต และวิธีการผลิตชิ้นงานเหล็กแผ่น (PLATE20Y-06) ซึ่งแบบที่ใช้ในการผลิต มีการตรวจสอบความถูกต้องและอนุมัติการผลิตจากฝ่ายวิศวกรรมและฝ่ายขาย วัสดุที่ใช้ในการผลิต คือเหล็กเกรด SS400 (บริษัท ทีเอ็มที สตีล จำกัด, 2565) (จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน, 2551)

1. กระบวนการตัดเลเซอร์ ฝ่ายวิศวกรรมดำเนินการคำนวณแผ่นคลี่ของชิ้นงาน และทำการแปลงไฟล์ เพื่อใช้วางแผนการตัด นามสกุลไฟล์ DXF เข้าโปรแกรมคำนวณการตัดว่าเหล็กหนึ่งแผ่นจะได้ชิ้นงานจำนวนทั้งหมดกี่ชิ้น และตัวโปรแกรมจะคำนวณออกมาให้โดยอัตโนมัติ จากนั้นนำไฟล์ที่โปรแกรมคำนวณให้ (Nesting) ใส่ USB และมาเสียบหน้าเครื่องตัดเลเซอร์ Trumpf TruLaser 1030 (บริษัท ไทยเจริญเทค จำกัด, 2566)

2. ฝ่ายผลิตจะดำเนินการยกเหล็กที่เบิกจากคลังวัตถุดิบ มาไว้ที่ถาดตัด (Tray) ฝ่ายผลิตทำการตั้งระยะ



ภาพที่ 1 ถาดตัด (Tray)



ภาพที่ 2 ชิ้นงานที่ตัดเสร็จแล้วบนพาเลท

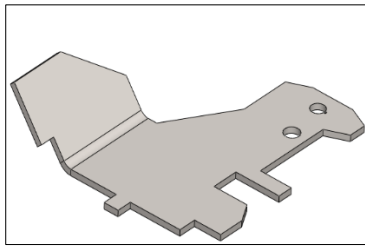
3. เมื่อทำการตัดเสร็จแล้วเจ้าหน้าที่หน้าควบคุมเครื่องจักรจะมีการสุ่มตรวจสอบชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานถูกตรวจสอบเรียบร้อยแล้ว จึงจะจัดเรียงใส่พาเลท และส่งมอบให้แผนก Rolling ต่อไป

4. กระบวนการรีดเรียบหลังการตัด (Rolling) เนื่องจากโลหะเมื่อได้รับความร้อนก็จะขยายตัว และเมื่อโลหะเย็นลงก็จะหดตัว ซึ่งเป็นสาเหตุของการทำให้โลหะเกิดการบิดเบี้ยว โค้งงอ ซึ่งกระบวนการตัดเลเซอร์นั้น เป็นการสร้างความร้อนสูงให้แก่โลหะ จึงต้องมีกระบวนการรีดเรียบหลังการตัด เนื่องจากถ้าไม่รีดให้เรียบและส่งไปยังขั้นตอนถัดไป จะทำให้มีปัญหาความคลาดเคลื่อนสะสม ทำให้งานไม่ได้คุณภาพ หรืองานเสียหายส่งผลให้เสียเวลา และเสียต้นทุนโดยเปล่าประโยชน์

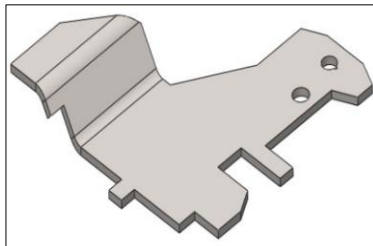
5. กระบวนการพับ (Bending) การพับโลหะแผ่นของทางบริษัท เป็นเครื่องพับที่ใช้ V - Die ในการพับชิ้นงานเท่านั้น จึงต้องใช้ช่างเทคนิคชำนาญงานในการพับชิ้นงาน เนื่องจากต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงาน และต้องมีความชำนาญแม่นยำ ถูกต้อง เพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสียหาย และต้องดำเนินการพับทั้งหมด 3 ครั้ง (ดร.อภิชาติ ชยานุกัทรกุลม, 2551)

ขั้นตอนการพับชิ้นงาน

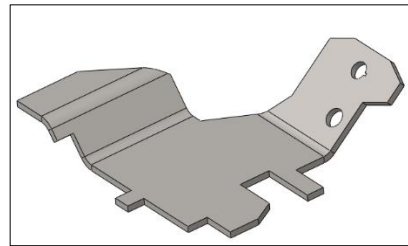
เนื่องจากการตั้งชิ้นงาน การใช้อุปกรณ์จับยึดต่างๆ ในขั้นตอนนี้ เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัทไม่สามารถนำมาเผยแพร่ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ ทางผู้วิจัยจึงขออนุญาตใช้ภาพประกอบเป็นภาพ 3D จากโปรแกรม Solid Works



ภาพที่ 3 ชิ้นงานการพับครั้งที่ 1



ภาพที่ 4 ชิ้นงานการพับครั้งที่ 2



ภาพที่ 5 ชิ้นงานการพับครั้งที่ 3

1) การพับครั้งที่ 1 ช่างเทคนิคจะดำเนินการวัดขนาด และ Mark จุดพับ และตั้งค่าเครื่องจักร แม่พิมพ์ V – Die และอุปกรณ์จับยึด Jig, Fixture ต่างๆ เมื่อทำการพับชิ้นงานจะออกมาในลักษณะดังรูปที่ 3

2) การพับครั้งที่ 2 ช่างเทคนิคจะดำเนินการวัดขนาด และ Mark จุดพับ และตั้งค่าเครื่องจักร แม่พิมพ์ V – Die และอุปกรณ์จับยึด Jig, Fixture ต่างๆ เมื่อทำการพับชิ้นงานจะออกมาในลักษณะดังรูปที่ 4

3) การพับครั้งที่ 3 ช่างเทคนิคจะดำเนินการวัดขนาด และ Mark จุดพับ และตั้งค่าเครื่องจักร แม่พิมพ์ V – Die และอุปกรณ์จับยึด Jig, Fixture ต่างๆ เมื่อทำการพับชิ้นงานจะออกมาในลักษณะดังรูปที่ 5

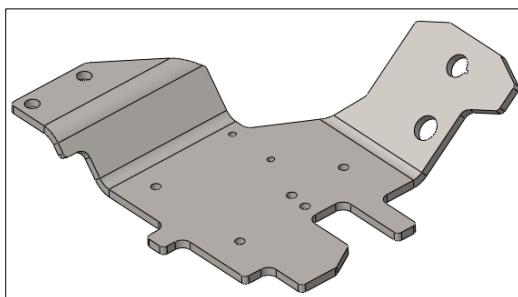
4) เมื่อทำการพับชิ้นงานทั้งหมดแล้ว แผนกดัดขึ้นรูป (Bending) จะดำเนินการบรรจุชิ้นงานลงในพาเลท และส่งมอบให้แผนกงานเจาะ (Drilling) (ห้องปฏิบัติการการผลิตและอุตสาหกรรมอัตโนมัติ, 2557)



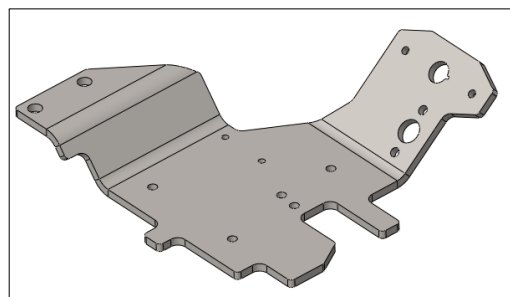
ภาพที่ 6 ลักษณะชิ้นงานที่จบกระบวนการพับและบรรจุลงในพาเลท

6. กระบวนการเจาะ (Drilling) (แซนด์วิช ประเทศไทย จำกัด, 2565)

การเจาะของบริษัทในชิ้นงานนี้เป็นเครื่องเจาะ CNC 3 แกน และชิ้นงานที่เป็นแผ่น Sheet Metal จึงสามารถเจาะได้ที่ละระนาบเท่านั้น ทำให้ต้องเจาะทั้งหมด 2 ขั้นตอน

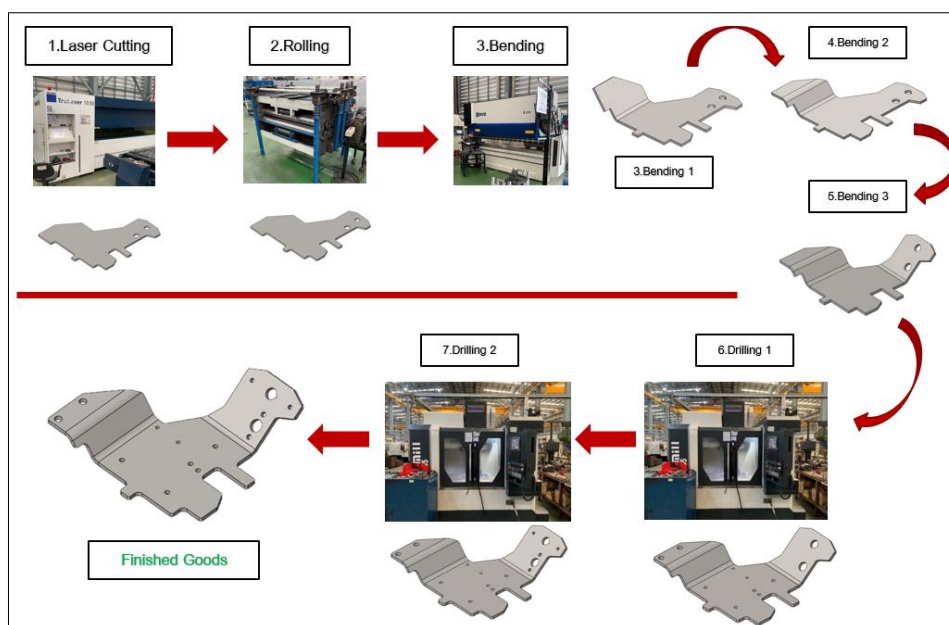


ภาพที่ 7 ลักษณะการเจาะครั้งที่ 1

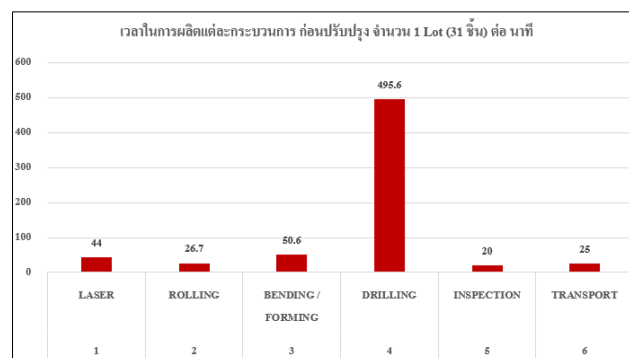


ภาพที่ 8 ลักษณะการเจาะครั้งที่ 2

- 1) การเจาะครั้งที่ 1 พนักงานควบคุมเครื่องจักรจะนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการพับแล้ว มาติดตั้งกับโต๊ะทำงานของเครื่อง CNC เพื่อดำเนินการเจาะระนาบแรก เมื่อเจาะเสร็จแล้วจะได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 7
- 2) การเจาะครั้งที่ 2 พนักงานควบคุมเครื่องจักรจะนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการพับแล้ว มาติดตั้งกับโต๊ะทำงานของเครื่อง CNC เพื่อดำเนินการเจาะระนาบที่สอง เมื่อเจาะเสร็จแล้วจะได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 8
- 3) เมื่อทำการเจาะเสร็จสิ้นแล้ว พนักงานควบคุมเครื่องจักรจะทำการนับจำนวนและสุ่มตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเจาะ เช่นการวัดขนาดรู ระยะต่างๆ โดยใช้ เครื่องมือ JIG, Fixture วัดระยะต่างๆ เมื่อผ่านแล้วจะนำไปบรรจุใส่พาเลท และนำส่งเข้าคลัง WIP (Work in Process) เพื่อใช้ในการผลิตต่อไป



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06



ภาพที่ 10 จำนวนเวลาในแต่ละกระบวนการที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน จำนวน 1 Lot

ตารางที่ 1 แผนภูมิการทำงานในกระบวนการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 (ก่อนการปรับปรุง)

Process Flow - PLATE 20Y-06 (ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต)										
ลำดับ	รายการ	สัญลักษณ์							เวลา (min)/Lot	เวลา (sec) Pcs.
		○	△	▽	◊	◉	◈	▭ →		
1	เบิกเหล็กแผ่นจากคลังวัตถุดิบ								5.00	-
2	ได้รับเหล็กมาวางหน้าเครื่อง								-	-
3	ตั้งโปรแกรมเครื่องตัดเลเซอร์								5.00	-
4	Setup เหล็กแผ่นบน Table								8.00	-
5	Laser Cutting								31.00	60.00
6	Inspection [Random Check]								5.00	-
7	ขนส่งไปที่ Line Rolling Machine								5.00	-
8	Setup Rolling Machine								15.30	30.00
9	Rolling								11.36	22.00
10	Inspection [Random Check]								5.00	-
11	ขนส่งไปที่ Line Bending								5.00	-
12	Setup Bending Machine For Bending 1								15.30	30.00
13	Bending 1								1.55	3.00
14	Setup Bending Machine For Bending 2								15.30	30.0
15	Bending 2								1.55	3.00
16	Setup Bending Machine For Bending 3								30	30.00
17	Bending 3								1.55	3.00
18	Inspection [Random Check]								5.00	-
19	ขนส่งไปที่ Line M/C								5.00	-

Process Flow - PLATE 20Y-06 (ก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต)											
ลำดับ	รายการ	สัญลักษณ์								เวลา (min)/Lot	เวลา (sec) Pcs.
20	Setup on Drill CNC Table 1		●							15.30	30.00
21	Drill CNC Table 1 [9 Hole]	●								341.00	660.00
22	Setup on Drill CNC Table 2		●							15.30	30.00
23	Drill CNC Table 2 [4 Hole]	●								124.00	240.00
24	Final Inspection [Random Check]						●			5.00	-
25	ส่งเก็บในคลัง Work in Process เพื่อใช้ในการ ผลิตต่อไป								●	5.00	-
	รวม	6	7	0	0	3	4	0	5	661.81	21.35 นาที/ชิ้น

	OPERATION (การปฏิบัติงาน)		QUALITY INSPECTION (การตรวจสอบคุณภาพ)
	START (การเริ่มต้น)		QUANTITY INSPECTION (การตรวจสอบจำนวน)
	STORAGE (การจัดเก็บ)		PROCESS FLOW (การไหลของกรรมวิธี)
	MULTI OPERATION : MAINLY QUALITY INSP. PLUS COUNTING (การปฏิบัติงานร่วม : คือตรวจสอบเป็นการหลักและมีการนับจำนวนไปด้วย)		
	MULTI OPERATION : MAINLY PROCESS PLUS QUALITY INSP. (การปฏิบัติงานร่วม : คือมีกรรมวิธีการทำงานเป็นงานหลักและมีการตรวจสอบคุณภาพด้วย)		

ตารางที่ 2 ต้นทุนก่อนการปรับปรุง Process

No.	Process	ระยะ (mm.)	เวลา (sec)	Time (ครั้ง)	ต้นทุนผลิต	จำนวน	ต้นทุน	หน่วย
1	Laser Cutting	2080.00	60.00	1.00	0.021 Bath / mm.	1	43.68	บาท/ชิ้น
2	Setup Rolling Machine	-	30.00	1.00	1 Bath / ครั้ง	1	1.00	บาท/ชิ้น
3	Rolling	-	22.00	1.00	0.75 / วินาที	1	16.50	บาท/ชิ้น
4	Setup Bending Machine For Bending 1	-	30.00	1.00	1.5 Bath / ครั้ง	1	1.50	บาท/ชิ้น
5	Bending 1	-	3.00	1.00	5 Bath / พับ	1	5.00	บาท/ชิ้น
6	Setup Bending Machine For Bending 2	-	30.00	1.00	1.5 Bath / ครั้ง	1	1.50	บาท/ชิ้น
7	Bending 2	-	3.00	1.00	5 Bath / พับ	1	5.00	บาท/ชิ้น

No.	Process	ระยะ (mm.)	เวลา (sec)	Time (ครั้ง)	ต้นทุนผลิต	จำนวน	ต้นทุน	หน่วย
8	Setup Bending Machine For Bending 3	-	30.00	1.00	1.5 Bath / ครั้ง	1	1.50	บาท/ชิ้น
9	Bending 3	-	3.00	1.00	5 Bath / พับ	1	5.00	บาท/ชิ้น
10	Setup on Drill CNC Table 1	-	30.00	1.00	2 Bath / ครั้ง	1	2.00	บาท/ชิ้น
11	Drill CNC Table 1 [9 Hole]	-	660.00	9.00	5 Bath / Hole	1	45.00	บาท/ชิ้น
12	Setup on Drill CNC Table 2	-	30.00	1.00	2 Bath / ครั้ง	1	2.00	บาท/ชิ้น
13	Drill CNC Table 2 [4 Hole]	-	240.00	4.00	5 Bath / Hole	1	20.00	บาท/ชิ้น
Total Process Cost							149.68	บาท/ชิ้น

วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางแก้ไข

หลังจากการเก็บข้อมูลการทำงานในกระบวนการผลิตผู้ดำเนินงานได้นำข้อมูลมาดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อนำมากำหนดการแก้ไข โดยการวิเคราะห์ดำเนินงานเลือกใช้ ECRS และ Why Why Analysis มาช่วยวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไขจากการเก็บข้อมูลต่างๆตามลำดับดังนี้

ตารางที่ 3 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น (ECRS) (ประเสริฐ อัครประภพพงศ์, 2552)

หัวข้อปัญหา	สาเหตุ ปัญหา	รายละเอียดปัญหา	แนวทางการแก้ไข
1. เกิดความล่าช้าใน ขั้นตอนการ Rolling	วิธีการ/ คน/วัสดุ	Process Rolling นั้นมีไว้เพื่อให้ชิ้นงาน เรียบก่อนการ Bending เท่านั้น ซึ่งไม่ จำเป็นหากเปลี่ยนกระบวนการผลิตเป็น การขึ้นรูป (Forming)	1) ยกเลิกขั้นตอนการ Rolling (Eliminate)
2. ขั้นตอนในการ ทำงานหลายขั้นตอน	วิธีการ/ คน/วัสดุ	มีขั้นตอนในการพับหลายขั้นตอนและต้อง Setup หลายครั้งทำให้เสียเวลา	2) รวมขั้นตอนการพับจาก 3 ครั้งให้ เป็นงานขึ้นรูป 1 ครั้ง (Combine)
3. ขั้นตอนในการ ทำงานไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความล่าช้า ในการทำงาน	วิธีการ/ คน/วัสดุ	Process Drilling รูขนาดใหญ่ใช้เวลามาก ขณะที่ Process Laser Cut สามารถตัดรู ขนาดใหญ่ได้เร็วกว่า	3) ออกแบบ เรียบเรียงและจัดทำ ขั้นตอนการผลิตใหม่ ให้เหมาะสม (Rearrange)

หัวข้อปัญหา	สาเหตุปัญหา	รายละเอียดปัญหา	แนวทางการแก้ไข
4. เสียเวลาใน Process Bending	วิธีการ/คน/วัสดุ	เนื่องจากต้องใช้ช่างเทคนิคชำนาญงาน ในการปฏิบัติงานแต่ละครั้ง และต้องมีขั้นตอนการ Setup หลายขั้นตอน รวมถึงต้องตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการพับ	4) ทำการออกแบบ แม่พิมพ์ เพื่อใช้ในการผลิต (Forming) แทนกระบวนการผลิตเดิม (Bending) ทำให้ง่ายต่อการผลิต ลดขั้นตอน และลดโอกาสผิดพลาด (Simplify)

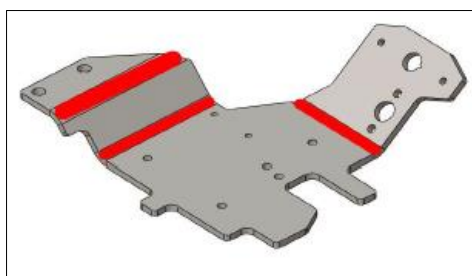
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุงด้วยวิธี Why Why Analysis (ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ, 2562)

หัวข้อปัญหา	ทำไม	ทำไม	ทำไม	การแก้ไข
1. เสียเวลาในการตั้งค่า Jig, Fixture หลายครั้ง รวมถึงต้องตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการพับ	ต้องใช้ช่างผู้ชำนาญงาน	ต้องตั้งค่า Jig , Fixture หลายครั้ง	ชิ้นงานเกิดความคลาดเคลื่อนจากแบบ และต้องตรวจสอบชิ้นงานหลังจากการพับ	ทำการออกแบบ แม่พิมพ์ เพื่อใช้ในการผลิต (Forming) แทนกระบวนการผลิตเดิม (Bending) ทำให้ง่ายต่อการผลิต ลดขั้นตอน และ ลดโอกาสผิดพลาด
2. เสียเวลาในการเจาะชิ้นงาน	ต้องใช้ Process Drilling	รูขนาดใหญ่ไม่ใช่ Process Laser Cut	Process Drilling ใช้เวลานานมาก	ออกแบบ เรียบเรียงและจัดทำขั้นตอนการผลิตใหม่ ให้เหมาะสม
3. เกิดความล่าช้าในขั้นตอนการพับ (Bending)	มีขั้นตอนการพับมาก (3 ขั้นตอน)	ต้องพับงานจำนวนมาก	ต้องตั้งค่าเครื่องจักรใหม่ทุกครั้งที่มีการสั่งผลิต	รวมขั้นตอนการพับ (Bending) จาก 3 ครั้งให้เป็นงานขึ้นรูป (Forming) 1 ครั้ง

ศึกษาสภาพของปัญหา

จากการศึกษากระบวนการการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 ซึ่งพบว่าปัญหาในกระบวนการการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 มีความล่าช้าและมีต้นทุนการผลิตที่สูงเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมาจากสาเหตุ 3 ประการ ได้แก่

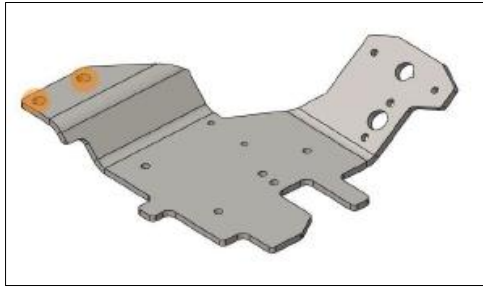
1) เสียเวลาในการผลิตมากเกินไป ในขั้นตอนการพับ (Bending) ซึ่งมีการพับทั้งหมด 3 ครั้งจึงต้องตั้งค่าเครื่องจักร อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงาน Jig, Fixture ต่างๆ หลายครั้ง รวมถึงการตรวจสอบชิ้นงานหลังจากกระบวนการ ทำให้เกิดการทำงานหลายขั้นตอน



ภาพที่ 11 เส้นแสดงขั้นตอนการพับทั้งหมด 3 ครั้ง

2) เสียเวลาในขั้นตอนการม้วน (Rolling) โดยขั้นตอนนี้เป็นเพียงการรีดให้ชิ้นงานเรียบเพียงเท่านั้นซึ่งทำให้เกิดการทำงานที่ล่าช้า ซึ่งใช้เวลาถึง 12 นาที ต่อ 1 ล็อตการผลิต หรือ 22 วินาที ต่อ 1 ชิ้น

3) เสียเวลาในขั้นตอนการเจาะ (Drilling) โดยขั้นตอนนี้ เป็นการเจาะรูชิ้นงาน ซึ่งรูที่ขนาดใหญ่ขึ้นใช้เวลาเจาะที่ค่อนข้างนาน ทำให้งานเกิดการคอขวดที่ขั้นตอนนี้มากเกินไป

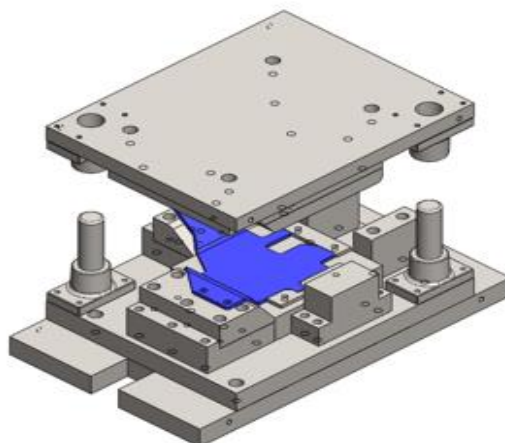


ภาพที่ 12 การเจาะรูขนาดใหญ่ ทั้ง 2 รู ในขั้นตอนการ Drilling

ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

การแก้ไขขั้นตอนที่ 1 ทำการออกแบบ เรียบเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่จากเดิม 7 ขั้นตอน เริ่มจาก Process Laser Cutting, Process Rolling, Process Bending 1, 2, 3 Process Drilling 1, 2 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 7 ขั้นตอนการผลิต ทำการออกแบบ ปรับปรุงขั้นตอนการผลิต ให้เหลือเพียง 4 ขั้นตอน เริ่มจาก Process Laser Cutting, Process Forming, Process Drilling 1, 2 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 4 ขั้นตอนการผลิต

การแก้ไขขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบต้นทุนในการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 หลังจากทำการออกแบบ ปรับปรุงขั้นตอนการผลิต ให้เหลือเพียง 4 ขั้นตอน เริ่มจาก Process Laser Cutting, Process Forming, Process Drilling 1, 2 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 4 ขั้นตอนการผลิต



ภาพที่ 13 จุดคุ้มทุน และการคำนวณระยะคุ้มทุน

การแก้ไขขั้นตอนที่ 4 ดำเนินการผลิตแม่พิมพ์ เพื่อใช้ในระบบการขึ้นรูป (Forming) ที่ทำการออกแบบมาทดแทนกระบวนการพับ (Bending) ขั้นตอนในการผลิตแม่พิมพ์มีดังนี้

1) ทำการออกแบบ และเขียนแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรม Solid Works และทำการสั่งผลิตโดยฝ่ายวิศวกรรม เพื่อให้ฝ่ายผลิตดำเนินการผลิตแม่พิมพ์ตามแบบ แสดงเป็นรูปภาพ 3D Isometric ดังรูปที่ 21

2) เมื่อทำการผลิตแม่พิมพ์สำเร็จแล้ว จะต้องมีการทดสอบแม่พิมพ์ ก่อนการใช้งานจริง โดยสรุปผลการทดสอบที่มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือใช้กำลังเครื่อง 315T ตั้งค่าแม่พิมพ์ที่ระยะ 491.5 mm จะทำให้ชิ้นงานเข้ารูปมากที่สุด



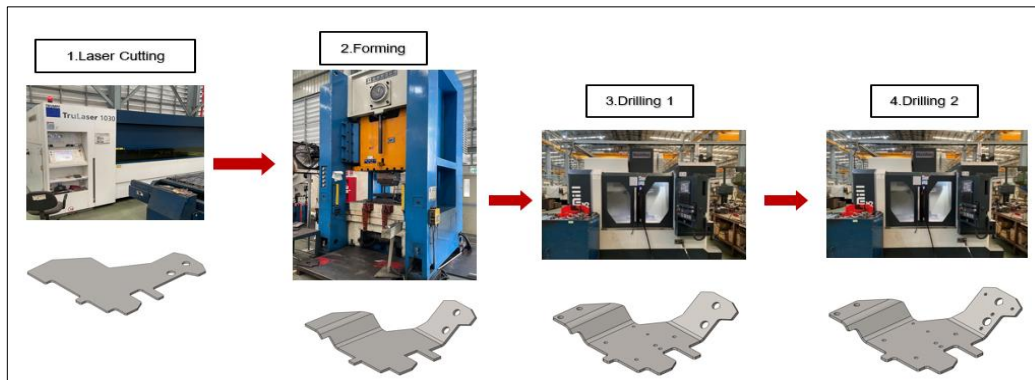
ภาพที่ 14 การทดสอบแม่พิมพ์

3) เมื่อทดสอบแม่พิมพ์สำเร็จแล้ว จะต้องทำการตรวจสอบชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ เมื่อพบว่าชิ้นงานที่ทำการทดสอบนั้น ได้ค่าตามที่กำหนดในแบบ (Drawing) จึงทำการส่งให้ทางลูกค้าตรวจสอบอีกรอบ เมื่อลูกค้ายืนยันว่าชิ้นงานได้ผ่านมาตรฐานของลูกค้าแล้ว และสามารถนำไปประกอบได้ ฝ่ายวิศวกรรมจะทำการอนุมัติใช้แม่พิมพ์และดำเนินการส่งมอบแม่พิมพ์ให้ฝ่ายผลิต เพื่อใช้ในการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 ต่อไป



ภาพที่ 15 การทดสอบชิ้นงาน

4) การแก้ไขขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับแก้ไฟล์ DXF (ไฟล์ตัดงาน PLATE 20Y-06) แผ่นคลี่จากเดิมที่ไม่มีรูขนาด Dia.15 อยู่ด้วย ให้เพิ่มการเจาะรูขนาด Dia.15 จำนวน 2 รู ในขั้นตอนนี้ไปด้วย เพื่อลดเวลาการเจาะ (Drilling) เนื่องจากการตัดเลเซอร์ มีความรวดเร็วมากกว่าการเจาะ ซึ่งพื้นผิวรูขนาด Dia.15 mm นั้นไม่ได้ใช้ผิวงานละเอียด เป็นเพียงรูผ่านเท่านั้น จึงสามารถตัดเลเซอร์แทนการเจาะรูด้วยเครื่อง CNC ได้



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการผลิตหลังปรับปรุง

หลังจากทำการปรับปรุง จะพบว่าขั้นตอนการผลิต จะเหลือเพียง 4 ขั้นตอน คือ 1) Laser Cutting 2) Forming 3) Drilling 1 4) Drilling 2 จากเดิมที่ก่อนปรับปรุงแก้ไขจะมีทั้งหมด 7 ขั้นตอน คือ 1) Laser Cutting 2) Rolling 3) Bending 1 4) Bending 2 5) Bending 3 6) Drilling 1 7) Drilling 2 สรุปได้ว่า ขั้นตอนการผลิตลดลง 3 ขั้นตอน

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงาน (หลังแก้ไข)

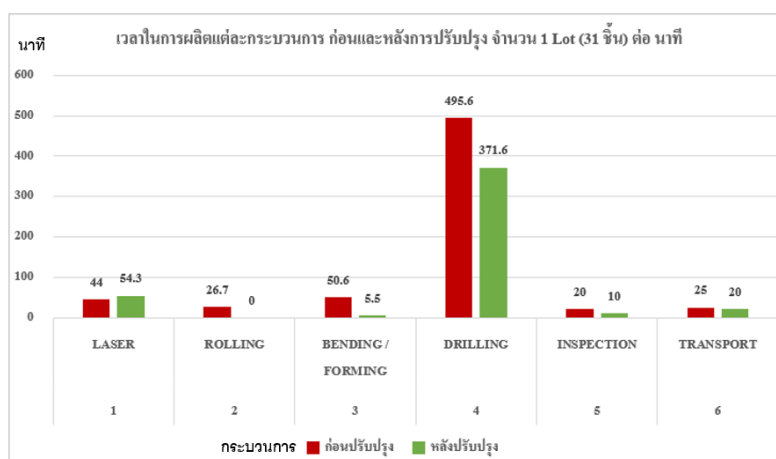
Process Flow - PLATE 20Y-06 (หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต)											
ลำดับ	รายการ	สัญลักษณ์							เวลา (min)/Lot	เวลา (sec)/ Pcs.	
		○	△	▽	◻	◊	◇	▭			➡
1	เบิกเหล็กแผ่นจากคลังวัตถุดิบ								●	5.00	-
2	ได้รับเหล็กมาวางหน้าเครื่อง		●							-	-
3	ตั้งโปรแกรมเครื่องตัดเลเซอร์	●								5.00	-
4	Setup เหล็กแผ่นบน Table	●								8.00	-
5	Laser Cutting	●								41.33	80.00
6	Inspection [Random Check]					●				5.00	-
7	ขนส่งไปที่ Line Forming								●	5.00	-
8	Setup Forming		●							5.16	10.00
9	Form	●								0.31	1.00
10	ขนส่งไปที่ Line M/C								●	5.00	-
11	Setup on Drill CNC Table 1		●							15.30	30.00
12	Drill CNC Table 1 [7 Hole]	●								217.00	420.00
13	Setup on Drill CNC Table 2		●							15.30	30.00
14	Drill CNC Table 2 [4 Hole]	●								124.00	240.0
15	Final Inspection [Random Check]					●				5.00	-
16	ส่งเก็บในคลัง Work in Process เพื่อใช้ในการผลิตต่อไป								●	5.00	-
รวม		6	4	0	0	0	2	0	4	461.40	14.88 นาทีต่อชิ้น

แก้ไขแล้วจึงได้นำแผนภูมิกระบวนการไหลมาทำการเก็บข้อมูลและศึกษาขั้นตอนการผลิตหลังปรับปรุง ซึ่งขั้นตอนการผลิตหลังปรับปรุงใช้เวลา 14.88 นาที และขั้นตอนการดำเนินงานลดลงเหลือเพียง 16 ขั้นตอน

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ลำดับ	รายการ	เวลา/นาที				
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ส่วนต่าง	หน่วย	ส่วนต่าง (%)
1	LASER	44	54.3	+10.3	นาที	+18.97 %
2	ROLLING	26.7	0	-26.7	นาที	-100 %
3	BENDING / FORMING	50.6	5.5	-45.1	นาที	-89.13 %
4	DRILLING	495.6	371.6	-124	นาที	-25.02 %
5	INSPECTION	20	10	-10	นาที	-50 %
6	TRANSPORT	25	20	-5	นาที	-20 %
รวม		661.9	461.4	-200.5	นาที / Lot	-30.29 %
ค่าเฉลี่ยต่อชิ้น		21.35	14.88	-6.46	นาที / 1 Pcs.	-30.29 %

จากข้อมูลที่ศึกษากระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง จึงได้ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้เป็นกราฟเปรียบเทียบแต่ละขั้นตอน



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบเวลาในกระบวนการผลิต

ตารางที่ 7 ต้นทุนการทำงานหลังปรับปรุง

No.	Cost Process	ระยะ (mm.)	เวลา (sec)	Time (ครั้ง)	ต้นทุนผลิต	จำนวน	ต้นทุน	หน่วย
1	Laser Cutting	2150.00	80.00	1.00	0.021 Bath / mm.	1	45.15	บาท/ชิ้น
2	Setup Forming	-	10.00	1.00	0.5 Bath / ครั้ง	1	0.50	บาท/ชิ้น
3	Form	-	1.00	1.00	3 Bath / วินาที	1	3.00	บาท/ชิ้น
4	Setup on Drill CNC Table 1	-	30.00	1.00	2 Bath / ครั้ง	1	2.00	บาท/ชิ้น
5	Drill CNC Table 1 [7 Hole]	-	420.00	7.00	5 Bath / พับ	1	35.00	บาท/ชิ้น
6	Setup on Drill CNC Table 2	-	30.00	1.00	2 Bath / ครั้ง	1	2.50	บาท/ชิ้น
7	Drill CNC Table 2 [4 Hole]	-	240.00	4.00	5 Bath / พับ	1	20.00	บาท/ชิ้น
Total Process Cost							107.65	บาท/ชิ้น

สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการลดต้นทุนของการผลิตชิ้นงาน PLATE 20Y-06 โดยผู้ดำเนินงานได้ทำการศึกษาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และแนวทางการแก้ไขด้วยหลักการและเครื่องมือ ECRS, Why Why Analysis และการใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (7 QC Tools) (วันเฉลิม วรรณสถิตย์, 2559) จากนั้นจึงทำการแก้ไขปัญหาทั้งหมด 5 ขั้นตอน ได้แก่

1. ทำการออกแบบขั้นตอนการผลิตใหม่จากเดิม 7 ขั้นตอน เริ่มจาก Process Laser Cutting, Process Rolling, Process Bending 1, 2, 3 Process Drilling 1, 2 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 7 ขั้นตอนการผลิต ให้เหลือเพียง 4 ขั้นตอน เริ่มจาก Process Laser Cutting, Process Forming, Process Drilling 1, 2 ตามลำดับ รวมทั้งสิ้น 4 ขั้นตอนการผลิต

2. ลดเวลาในการผลิตจาก 21.35 นาทีต่อชิ้น เหลือเพียง 14.88 นาทีต่อชิ้น คิดเป็น 30.29 %

3. ลดต้นทุนในการผลิต จาก 149.68 เป็น 107.65 หรือลดลง 42.03 บาท คิดเป็น 28.08 %

	ขั้นตอนการผลิต (ขั้นตอน)	เวลาในการผลิต (นาที)	ต้นทุนในการผลิต (บาท)
■ ก่อนการปรับปรุง	7	21.35	149.68
■ หลังการปรับปรุง	4	14.88	107.65

■ ก่อนการปรับปรุง ■ หลังการปรับปรุง

ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงาน ก่อนและหลังปรับปรุง

ข้อเสนอแนะ

สามารถใช้แนวคิด และออกแบบไปทำการปรับปรุงในการผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ ได้ ก็จะสามารถลดเวลาการผลิต ลดค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิต ได้อีกมาก

เอกสารอ้างอิง

ชญาณุตน์ ภูนาเถร ชลลดา ทองคำ และ สุพรรณิ อึ้งปัญญสังวศ์. (2558). *การผลิตแบบลีนในโรงงานอุตสาหกรรม*.

[วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยขอนแก่น]

แซนด์วิก ประเทศไทย จำกัด (2565). *การเจาะรู*. สืบค้นจาก <https://www.sandvik.coromant.com/th-th/knowledge/drilling>.

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. (2551). *การวิเคราะห์กระบวนการ*. สืบค้นจาก https://pirun.ku.ac.th/~fengcsr/courses/2008_01/206341/ch8.pdf.

อภิชาติ ชยานุรักษ์กุล. (2551). *งานพับโลหะแผ่น*. สืบค้นจาก <https://www.psstainlessthailand.com/>.

บริษัท ไชยเจริญเทคโนโลยี จำกัด. (2566). *การตัดโลหะด้วยกระบวนการตัดด้วยเลเซอร์*. สืบค้นจาก <https://www.chi.co.th/article/article-844/>.

บริษัท ทีเอ็มที สตีล จำกัด (มหาชน). (2565). *วิธีการผลิตเหล็กแผ่นให้มีความเรียบและคงความเรียบอยู่เสมอ*. สืบค้นจาก <https://www.tmtsteel.co.th/files/Technical%20Information.pdf>.

ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ. (2562). *Why Why Analysis*. สืบค้นจาก <http://qd.swu.ac.th/Portals/2077/Why%20Why%20Anlysis.pdf?ver=2562-05-24-082545-380>.

ไพโรจน์ ตัวงนคร และ ดร.วิทยา อินทร์สอน. (2559). *การเพิ่มผลผลิต*. สืบค้นจาก http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/online_mag_preview.php?cid=461.

ประเสริฐ อัครประถมพงศ์. (2552). *การลดความสูญเสียเปล่า ด้วยหลักการ ECRS*. สืบค้นจาก <https://cpico.wordpress.com/>.

รัตติยา ราชณะสุข. (2555). *การปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์*. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง]

วันเฉลิม วรรณสถิตย์. (2559). *เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)*. สืบค้นจาก <http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/>.

ห้องปฏิบัติการการผลิตและอุตสาหกรรมอัตโนมัติ (2557). *การขึ้นรูปโลหะแผ่น*. สืบค้นจาก <http://eng.sut.ac.th/me/2014/document/LabManulIndAuto/C.pdf>.

Translated Thai References

- Phunather, C. , Thongkham, C. , & Ungpansattawong, S. (2015). *Lean production in industrial plants* [Master of Science Thesis, Khon Kaen University].
- Sandvik Thailand Limited. (2022). *Drilling holes*. Retrieved from <https://www.sandvik.coromant.com/th-th/knowledge/drilling>.
- Dr. Chansiri Singthuan. (2008). *Process analysis*. Retrieved from https://pirun.ku.ac.th/~fengcsr/courses/2008_01/206341/ch8.pdf
- Dr. Apichat Chayanuphatkul. *Sheet metal folding work*. Retrieved from <https://www.psstainlesssteelthailand.com/>.
- Chaijaroen Tech Co., Ltd. (2023). *Metal cutting using laser cutting process*. Retrieved from <https://www.chico.th/article/article-844/>.
- TMT steel public company limited. (2022). *How to produce uniform and uniform steel sheets*. Retrieved from <https://www.tmtsteel.co.th/files/Technical%20Information.pdf>
- Kongprasert, N. (2019). *Why Why Analysis*. Retrieved from <http://qd.swu.ac.th/Portals/2077/Why%20Why%20Anlysis.pdf?ver=2562-05-24-082545-380>.
- Duangnakorn, P. , & Inson, W. (2016). Increasing productivity. Retrieved from http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/onlinemag_preview.php?cid=461.
- Akkarapathomphong, P. (2009). *Reducing waste with ECRS principles*. Retrieved from <https://cpico.wordpress.com/>.
- Rayanasuk, R. (2012). *Improving the Production Process of Electronic Assembly Plants*. [Bachelor of Engineering Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang].
- Wannasathit, W. (2016). *7 types of quality tools (7 QC Tools)*. Retrieved from <http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/>
- Manufacturing And Industrial Automation Laboratory. (2014). *Sheet Metal Forming Process*. Retrieved from <http://eng.sut.ac.th/me/2014/document/LabManulndAuto/C.pdf>.

Received: Apr 21, 2024

Revised: Jun 27, 2024

Accepted: Jun 29, 2024

การลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ DEFECT REDUCTION IN THE PUFF PASTRY FORMING PROCESS A CASE STUDY OF BAKERY PRODUCTION FACTORY

สุคนธ์ทิพย์ เพ็ญศิลป์^{1*}, ประภากร มูลเงิน²^{1,2}คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์Sukonthip Permsin^{1*}, Praphakon Munngoen²^{1,2}Engineering and Technology Faculty, Panyapiwat Institute of ManagementE-mail: ^{1*}sukonthipper@pim.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้นในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่กรณีศึกษาจากการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น เป็นระยะเวลา 3 เดือน มียอดผลิตขนมพายชั้นทั้งหมด 15,275,198 ชิ้น เกิดของเสียทั้งหมด 180,262 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสีย 1.2% เมื่อนำมาแยกประเภทของเสียพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นสูงสุดคือไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง คิดเป็นสัดส่วนของเสีย 0.346% จึงได้นำปัญหานี้มาทำการวิเคราะห์และหาแนวทางแก้ไขโดยใช้ผังก้างปลา และ เทคนิคทำไม – ทำไม พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป เนื่องจากไม่มีการระบุตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น จึงทำการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้พาย จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน และจัดอบรมวิธีปฏิบัติงานให้กับพนักงานและหัวหน้างาน ผลจากการดำเนินการปรับปรุง สามารถลดของเสียที่เกิดจากไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้างจาก 0.346% มูลค่าของเสีย 1,994,138 บาทต่อปี เหลือเพียง 0.067% มูลค่าของเสีย 383,733 บาทต่อปี คิดเป็นของเสียที่ลดลงได้ 1,610,405 บาทต่อปี หรือลดลงได้ 80.6%

คำสำคัญ: การลดของเสีย, ผังก้างปลา, การออกแบบอุปกรณ์

Abstract

The purpose of this research is to reduce defect in the puff pastry forming process in a case study of bakery production factory. Over a period of three months, data was gathered on defects occurring during the production of puff pastries. Out of a total production of 15,275,198 pieces, there were 180,262 defects, resulting in a defect rate of 1.2%. Upon categorizing these defects, it was found that the primary issue was filling spilling over the sides of the puff pastries, accounting for 0.346% of all defects. Therefore, this issue was analyzed using Fishbone diagrams and the Why - Why technique, identifying the main cause as the improper placement of filling too close to the edge of the dough sheet due to the lack of specified filling positions. This research resolved by designing and implementing equipment to define the filling positions, along with creating work manuals and training working methods for both employees and supervisors. The result from improvement

shows that the defect from the puff pastry filling spilled over the sides has been decrease from 0.346% or 1,994,138 baht per year to 0.067% or 383,733 baht per year, reduced by 1,610,405 baht per year or 80.6%.

Keywords: defective reduction, Fishbone diagram, equipment design

บทนำ

อุตสาหกรรมเบเกอรี่มีการขยายตัวขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากวิถีการดำเนินชีวิตในยุคปัจจุบัน ผู้คนใช้ชีวิตด้วยความเร่งรีบ การทำอาหารรับประทานเองน้อยลง การบริโภคเบเกอรี่จึงได้รับความนิยม เช่น ในกลุ่มคนทำงาน กลุ่มนักเรียน นักศึกษา เนื่องจากมีความสะดวกสบาย รสชาติอร่อย หาซื้อง่าย สามารถพกพาได้ ผู้ผลิตเบเกอรี่แต่ละรายจึงมีการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน การลดต้นทุนการผลิตเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ผู้ผลิตมีผลกำไรเพิ่มขึ้น ซึ่งแนวทางในการลดต้นทุน ได้แก่ การลดของเสียหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ซึ่งดำเนินธุรกิจผลิตสินค้าประเภทเบเกอรี่อบสด โดยมีสินค้าที่หลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคทั้งในประเทศและต่างประเทศ หนึ่งในสินค้าที่มีความนิยมมากที่สุดคือสินค้ากลุ่มขนมพายชั้น ที่มีไส้ต่างๆ เช่น ไส้สับปะรด ไส้ข้าวโพด ไส้เผือกมะพร้าวอ่อน ไส้ถั่วแดง จากการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น ตั้งแต่เดือนมิถุนายน – สิงหาคม พ.ศ. 2564 มียอดผลิตขนมพายชั้นทั้งหมด 15,275,198 ชิ้น เกิดของเสียทั้งหมด 180,262 ชิ้น หรือคิดเป็นสัดส่วนของเสีย 1.2% โดยแต่ละไส้พบปัญหาไม่แตกต่างกัน เมื่อแยกประเภทของเสียตามลักษณะการเกิด ดังแสดงตารางที่ 1 และภาพที่ 1 พบว่าปัญหาที่เกิดสูงสุดคือไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง จึงได้นำปัญหานี้มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุและหาวิธีการแก้ไขต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

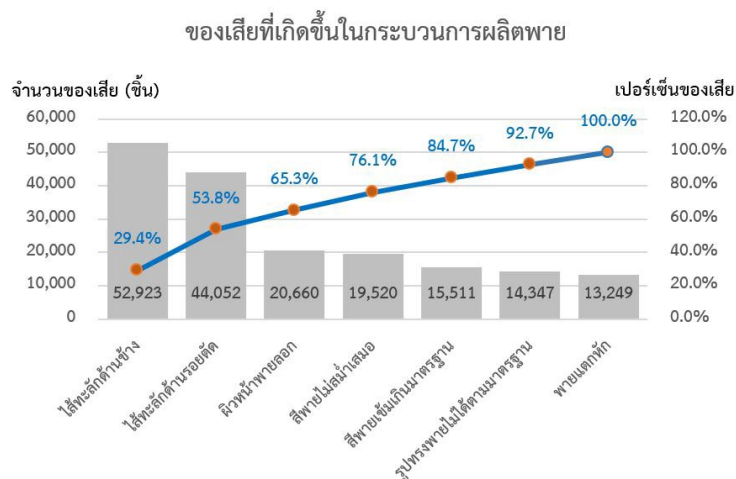
เพื่อลดของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง

ขอบเขตงานวิจัย

กระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น ของโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่กรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น เป็นระยะเวลา 3 เดือน (จำนวน 15,275,198 ชิ้น)

ประเภทของเสีย	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (เปอร์เซ็นต์)
ไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง	52,923	29.4%
ไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านรอยตัด	44,052	24.4%
ผิวหน้าขนมพายชั้นลอก	20,660	11.5%
ไส้ขนมพายชั้นไม่สม่ำเสมอ	19,520	10.8%
ไส้ขนมพายชั้นเข้มเกินมาตรฐาน	15,511	8.6%
รูปทรงขนมพายชั้นไม่ได้ตามมาตรฐาน	14,347	8.0%
ขนมพายชั้นแตกหัก	13,249	7.3%
รวม	180,262	100.0%



ภาพที่ 1 ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายขึ้น เป็นระยะเวลา 3 เดือน (จำนวน 15,275,198 ชิ้น)

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการลดของเสีย เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา ได้แก่ งานวิจัยของ (สมรรถ เหรียญนามวงศ์ และ ศักดิ์ชาย รักการ, 2565) ได้ดำเนินการลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจุกลูมิเนียม โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพในการค้นหาสาเหตุเพื่อปรับปรุงคุณภาพ โดยสาเหตุหลักพบว่า เครื่อง CNC ตัดชิ้นงาน เครื่อง CNC เจาะชิ้นงาน มีปัญหาตัดชิ้นงานไม่ได้ระยะและองศา ระยะรูเจาะไม่ตรงตาม Center ตามที่แบบกำหนด และปากชิ้นงานที่สึกเกินกว่าแบบ จึงได้เสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการออกแบบวัสดุควบคุมชิ้นงาน (jig fixture) ผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดของเสียจากร้อยละ 4.4 ต่อเดือน ลดลงเหลือร้อยละ 1.7 ต่อเดือน

วิรัตน์ พรหมจรรย์ และคณะได้ดำเนินการลดของเสียและปรับปรุงกระบวนการผลิตอิฐ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางคุณภาพ ได้แก่ ไบโตรวสอบ แผนภูมิพาเรโต แผนผังแสดงเหตุและผล ทำให้ทราบปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ เกิดรอยแตกร้าวในการเผา แล้วจึงใช้แผนผังแสดงเหตุและผลเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่พบพร้อมทั้งเสนอแนวทางการแก้ไข ผลการปรับปรุงสามารถลดของเสียจากร้อยละ 22.79 เหลือร้อยละ 18.22 (วิรัตน์ และคณะ, 2562)

ธนศักดิ์ และคณะได้ดำเนินการลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์โครงเหล็กค้ำกันความปลอดภัยของรถยนต์ โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง ได้แก่ ผังแสดงเหตุและผล แผนภูมิพาเรโต ไบโตรวสอบ และกราฟ พบว่าปัญหาเกิดจากพนักงานขาดทักษะในการทำงาน และการทำงานไม่เป็นไปตามขั้นตอน จึงได้จัดทำเอกสารแสดงขั้นตอนในการปฏิบัติงาน และจัดอบรมให้กับพนักงานเพื่อให้พนักงานตามขั้นตอนได้อย่างถูกต้อง ผลการปรับปรุงสามารถลดของเสียจากร้อยละ 21.83 เหลือร้อยละ 9.82 (ธนศักดิ์ พุฒิพัฒน์โมษิต และคณะ, 2562)

รวมใจ อิงไพเราะ และนันทิ สุทธิการณนัยได้ดำเนินการลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงพลาสติก โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยผังแสดงเหตุและผล และแก้ปัญหาโดยการสร้างมาตรฐานและคู่มือการปฏิบัติงาน และเสนอแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ ทำให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตจากก่อนปรับปรุงร้อยละ 7.86 ลดลงเหลือร้อยละ 3.51 (รวมใจ อิงไพเราะ และ นันทิ สุทธิการณนัย, 2564)

ศิลาชัย วัฒนเสย และคณะได้ดำเนินการลดของเสียในอุตสาหกรรมการผลิตพลาเทไม้ ซึ่งมีสาเหตุเกิดจากวิธีการทำงานที่ไม่ได้ประสิทธิภาพ และการปฏิบัติงานที่ไม่มีขั้นตอนที่ชัดเจน การรวบรวมข้อมูลของเสียใช้ไบโตรวสอบ และวิเคราะห์ของเสียด้วยกราฟแท่ง และผังก้างปลา รวมทั้งศึกษาวิธีการทำงาน โดยเสนอการปรับปรุงวิธีการประกอบพลาเท ประกอบด้วย การออกแบบอุปกรณ์จับยึดและออกแบบคู่มือการปฏิบัติงาน เพื่อกำหนดขั้นตอนการทำงานรวมไปถึงข้อควรระวังในการปฏิบัติงาน ผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดของเสียลดลงได้ร้อยละ 10 และมีปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้น (ศิลาชัย วัฒน

เสย และคณะ, 2562)

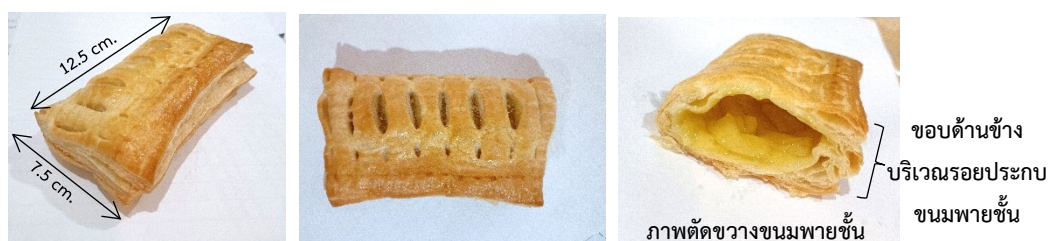
ธนัชชา ตามประทีป และกิตติชัย อธิกุลรัตน์ดำเนินการเพื่อลดปริมาณวัตถุดิบที่เหลือทิ้งในกระบวนการป้อนยางขึ้นรูปสำหรับการผลิตที่ดู่น้ำมูก โดยประยุกต์ใช้การศึกษาการทำงาน พร้อมกับประยุกต์ใช้แผนภูมิเหตุและผล เพื่อหาสาเหตุของการมีเศษวัตถุดิบเหลือทิ้งจากกระบวนการป้อนอัด และประยุกต์ใช้หลักการ ECRS เพื่อการปรับปรุงการทำงาน พบว่าสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียคือ การใช้ประสบการณ์ในการตัดยางตามต้องการทำให้ปริมาณยางเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือจับยึดวัดระยะเพื่อกำหนดระยะตัดยางให้พนักงานสามารถตัดได้ตามความยาวที่ต้องการ ผลการปรับปรุงสามารถลดปริมาณวัตถุดิบที่เหลือทิ้งเฉลี่ยลงได้ร้อยละ 14.81 (ธนัชชา ตามประทีป และ กิตติชัย อธิกุลรัตน์, 2560)

วิธีดำเนินการวิจัย

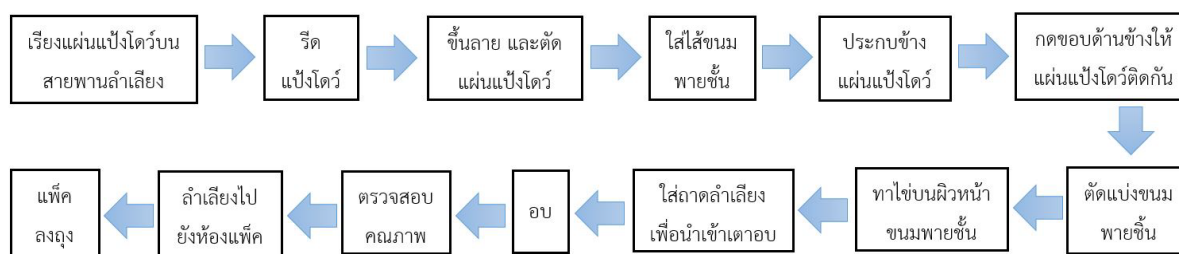
ดำเนินการศึกษาและเก็บข้อมูลการเกิดของเสียในการขึ้นรูปขนมพายชั้น และวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อหาวิธีการแก้ไข โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. ศึกษากระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น

ผลิตภัณฑ์ขนมพายชั้นของโรงงานกรณีศึกษา แสดงในภาพที่ 2 โดยมีไส้ต่างๆ เช่น ไส้สับปะรด ไส้ข้าวโพด ไส้เผือก มะพร้าวอ่อน ไส้ถั่วแดง แต่ละไส้มีกระบวนการขึ้นรูปที่เหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพที่ 4 เริ่มจากการนำแผ่นแป้งโดว์ที่ผสมเตรียมไว้ มาจัดเรียงบนสายพานลำเลียง ทำการรีดแบ่งโดว์ให้เป็นแผ่นบาง ขึ้นลายและตัดแผ่นแป้งโดว์เป็น 6 แถว และใช้เครื่องจักรใส่ไส้ขนมพายชั้นลงบนแผ่นแป้งโดว์แต่ละแถว และทำการประกบข้างแผ่นแป้งโดว์และกดขอบด้านข้างขนมพายชั้นให้ติดกัน จากนั้นทำการตัดแยกขนมพายชั้นเป็นแต่ละชิ้น ทาไขมันผิวหน้าขนมพายชั้น ใส่ถาดลำเลียงเพื่อนำขนมพายชั้นเข้าเตาอบ หลังผ่านการอบนำมาตรวจสอบคุณภาพเพื่อคัดแยกของเสีย แล้วนำขนมพายชั้นไปแพ็คเกจลง



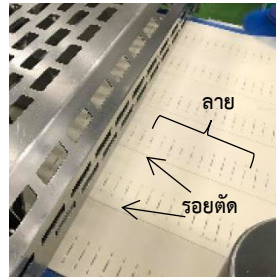
ภาพที่ 2 ขนมพายชั้นของโรงงานกรณีศึกษา



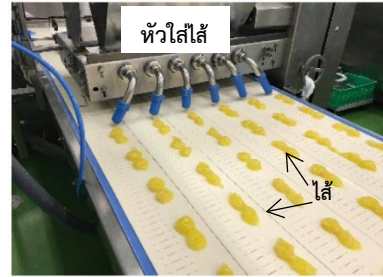
ภาพที่ 3 แผนผังกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น



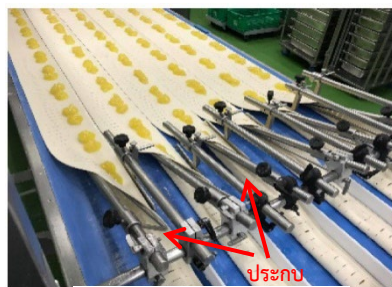
ก. เรียงแผ่นแป้งโดว์บนสายพานลำเลียง



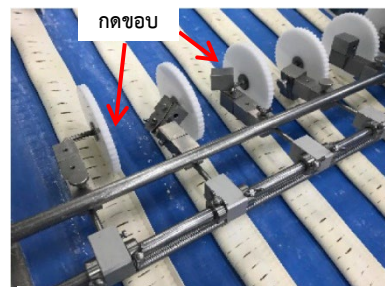
ข. ขึ้นลาย และตัดแผ่นแป้งโดว์



ค. ใส่ไส้ขนมพายชั้น



ง. ประกบข้างแผ่นแป้งโดว์



จ. กดขอบด้านข้างให้แผ่นแป้งโดว์ติดกัน



ฉ. ตัดแบ่งขนมพายเป็นชิ้น

ภาพที่ 4 อธิบายกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น

2. ศึกษาลักษณะของเสีย

ลักษณะของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง เปรียบเทียบกับขนมพายชั้นที่ปกติ (ไม่เกิดของเสีย) แสดงดังภาพที่ 5 โดยปัญหาจะเกิดหลังจากผ่านกระบวนการอบ จะมีไส้ขนมพายชั้นส่วนหนึ่งทะลักออกมาบริเวณรอยประกบด้านข้างของขนมพายชั้น

ไส้ขนมพายชั้น
ทะลักออกมา

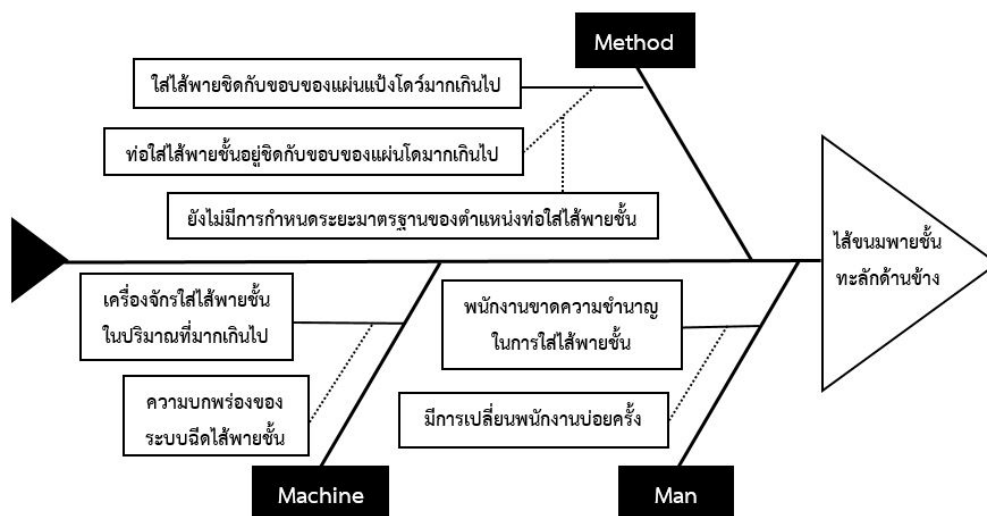


ขนมพายชั้นปกติ

ภาพที่ 5 ของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง

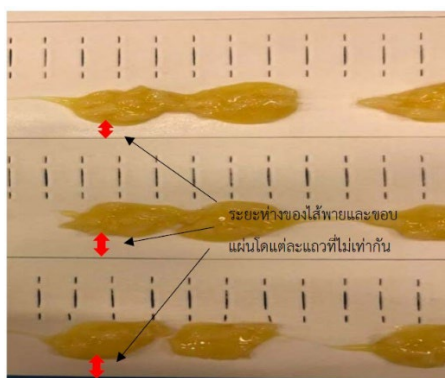
3. วิเคราะห์และหาสาเหตุของปัญหา

วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้างด้วยผังก้างปลา (Fishbone diagram) แสดงดังรูปที่ 6 โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้



ภาพที่ 6 ผังก้างปลา (Fishbone diagram) วิเคราะห์การเกิดของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง

- สาเหตุจากคน (Man) เกิดจากพนักงานขาดความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อใส่ไส้ขนมพายชั้น เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา มีการเปลี่ยนพนักงานใหม่บ่อยครั้ง และมีการรับพนักงานชั่วคราว (Part time) เป็นจำนวนมาก
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine) อาจเกิดจากเครื่องจักรใส่ไส้ขนมพายชั้นในปริมาณที่มากเกินไป จากความบกพร่องของระบบฉีดไส้ขนมพายชั้น ซึ่งจากการตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรใส่ไส้ พบว่ายังคงมีประสิทธิภาพในการฉีดไส้ขนมพายชั้นในปริมาณตามมาตรฐาน ประเด็นนี้จึงไม่ใช่สาเหตุของปัญหา
- สาเหตุจากวิธีการ (Method) เกิดจากการใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป เนื่องจากพนักงานปรับตำแหน่งทอไส้ไส้ขนมพายชั้นตามประสบการณ์ของตนเอง และไม่มีกำหนดตำแหน่งใส่ไส้ขนมพายชั้นที่แน่ชัด ดังแสดงในภาพที่ 7 ทำให้เมื่อประกอบข้างแผ่นแป้งโดว์และกดขอบด้านข้างให้แผ่นแป้งโดว์ติดกัน และนำเข้ากระบวนการอบ ส่งผลให้ไส้ขนมพายชั้นทะลักออกมาด้านข้าง



ภาพที่ 7 ตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

จากการวิเคราะห์ด้วยผังก้างปลา พบว่าสาเหตุหลักเกิดจากการใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป จึงนำปัญหามาวิเคราะห์ต่อด้วยเทคนิคทำไม – ทำไม (Why-Why Analysis) เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 2

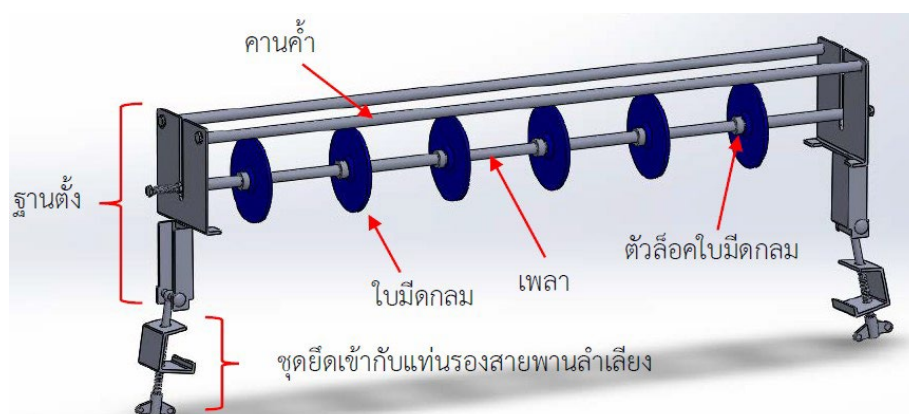
ตารางที่ 2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิคทำไม – ทำไม (Why-Why Analysis)

ปัญหา	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	แนวทางการแก้ไข
การใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป	ตำแหน่งของท่อใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป	การปรับตำแหน่งท่อใส่ไส้ขนมพายชั้นของพนักงาน	พนักงานใหม่ขาดประสบการณ์ในการปรับตำแหน่งท่อใส่ไส้ขนมพายชั้น	ไม่มีการกำหนดตำแหน่งใส่ไส้ขนมพายชั้นที่แน่ชัด	1. กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น โดยจัดทำอุปกรณ์เพื่อกำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น 2. จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน และจัดอบรมวิธีปฏิบัติงานให้กับพนักงานและหัวหน้างาน

4. ออกแบบอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น โดยอุปกรณ์นี้จะสร้างรอยไว้บนแผ่นแป้งโดว์เพื่อใช้เป็นมาตรฐานการทำงานในการใส่ไส้ขนมพายชั้น ซึ่งจะช่วยให้พนักงานมองเห็นตำแหน่งใส่ไส้ขนมพายชั้นที่ชัดเจน โดยค่ามาตรฐานของระยะห่างระหว่างไส้ขนมพายชั้นกับขอบแผ่นโดว์กำหนดระยะไว้ที่ 40 มิลลิเมตร ระยะห่างนี้จะทำให้ไม่เกิดปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง ซึ่งได้จากการทดลองของหน่วยงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานการศึกษา

สำหรับอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น แสดงในรูปที่ 8 จะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนได้ขึ้นตามความเร็วรอบของสายพานลำเลียง มีต้นทุนค่าจัดทำ 22,500 บาท จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ย่อย 6 อย่าง คือ ใบมีดกลมเพลลา ฐานตั้ง คานค้ำ ชุดยึดเข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง และตัวล็อกใบมีดกลม โดยมีรายละเอียดแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ออกแบบอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

4.1) ใบมีดกลม แสดงในภาพที่ 9 ก. สามารถเคลื่อนที่หรือหมุนตามความเร็วรอบสายพานลำเลียง และสามารถสร้างเส้นบ่งบอกตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้นได้ ทำจากวัสดุซูเปอร์ลีน (Superlene nylon) ซึ่งใช้ได้ในอุตสาหกรรมประเภทอาหาร มีน้ำหนักเบา ไม่เสียรูปทรงง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อนและการเสียดสีสูง

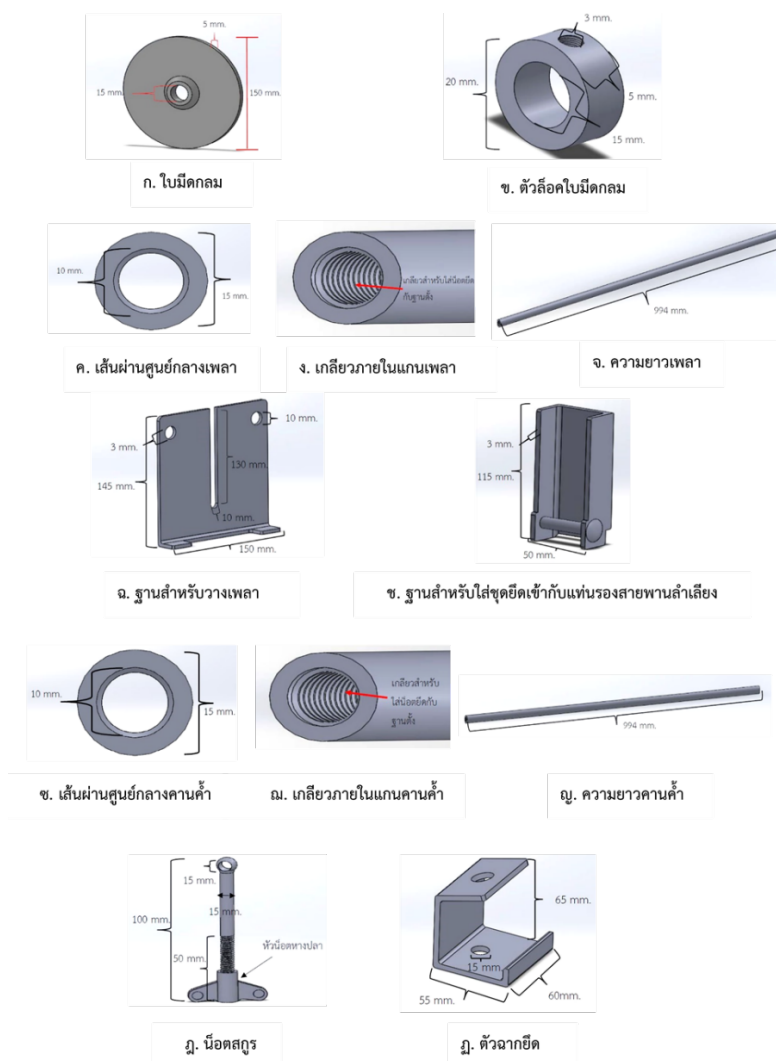
4.2) เพล่า แสดงในภาพที่ 9 ค. - จ. มีหน้าที่รับน้ำหนักใบมีดกลม และล๊อคตำแหน่งใบมีดกลมให้อยู่กับที่ขณะทำการขึ้นรูปขนมพายชั้น วัสดุที่ใช้ทำคือแตนเลส ทำขึ้นรูปเกลียวตรงเส้นผ่านศูนย์กลางตรงกลางแกนเพล่า สำหรับใส่น็อตยึดติดกับฐานตั้ง

4.3) ฐานตั้ง แสดงในภาพที่ 9 ฉ. และ ช. มีหน้าที่รับน้ำหนักเพล่าและยึดเข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง วัสดุที่ใช้ทำคือสแตนเลส โดยประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ฐานสำหรับวางเพล่า เจาะรูสำหรับใส่แกนค้ำทั้ง 2 ฝั่ง และฐานสำหรับใส่ชุดยึดเข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง

4.4) คานค้ำ แสดงในภาพที่ 9 ซ. - ญ. มีหน้าที่ยึดชุดฐานตั้งทั้ง 2 ฝั่ง ให้อยู่ในตำแหน่งตรงกัน วัสดุที่ใช้ทำคือสแตนเลสสตีล (Stainless steel) ทำขึ้นรูปเกลียวตรงกลางคานค้ำสำหรับใส่น็อตยึดติดกับฐานตั้ง

4.5) ชุดยึดเข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง แสดงในภาพที่ 9 ฎ. และ ฏ. มีหน้าที่ยึดฐานตั้งเข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง วัสดุที่ใช้ทำคือแตนเลส โดยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ น็อตสกรู เจาะรูด้านบนสำหรับติดตั้งเข้ากับฐานยึด ขึ้นรูปเกลียวสำหรับใส่หัวน็อตทางปลา และตัวฉากยึด เจาะรูด้านบนและล่าง สำหรับติดตั้งเข้ากับน็อตสกรู

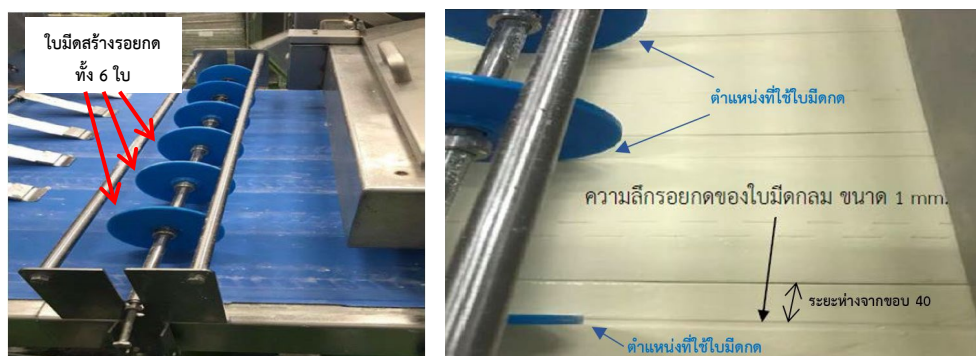
4.6) ตัวล๊อคใบมีดกลม แสดงในภาพที่ 9 ข. มีหน้าที่ล๊อคตำแหน่งของใบมีดกลมให้อยู่กับที่ขณะทำการขึ้นรูปขนมพายชั้น วัสดุที่ใช้ทำคือสแตนเลส เจาะรูขึ้นรูปเกลียวสำหรับใส่น็อตสกรูยึดเข้ากับเพล่า



ภาพที่ 9 รายละเอียดอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

5. ติดตั้งอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

ดำเนินการติดตั้งชุดอุปกรณ์เข้ากับแท่นรองสายพานลำเลียง ในตำแหน่งก่อนเข้าเครื่องใส่ไส้ขนมพายชั้น และทำการทดลองใช้อุปกรณ์ในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น เพื่อสร้างรอยกุดกำหนดตำแหน่งที่จะใส่ไส้ขนมพายชั้นไว้บนแผ่นแป้งโดว์ ให้มีความลึกของรอยกุด 1 มิลลิเมตร ซึ่งที่ความลึกรอยกุดนี้จะไม่ทำให้แผ่นแป้งโดว์เกิดการฉีกขาดหรือเสียรูปลักษณะของขนมพายชั้น จากนั้นทำการปรับระยะเพลาเพื่อให้ใบมีดกลมทั้ง 6 ใบให้ห่างจากขอบแผ่นแป้งโดว์ที่ระยะ 40 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การใช้อุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น

ผลการวิจัย

ดำเนินการทดลองขึ้นรูปขนมพายชั้นจำนวนทั้งหมด 120,000 ชิ้น เพื่อเก็บข้อมูลของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง นำมาเปรียบเทียบจำนวนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้างลงได้ 80.6% ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ของเสียที่เกิดจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง ก่อนและหลังการปรับปรุง

รายการ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ยอดผลิตทั้งหมด (ชิ้น)	15,275,198	120,000
ของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง (ชิ้น)	52,923	80
สัดส่วนของเสีย	0.346%	0.067%
มูลค่าของเสีย คิดเป็นบาทต่อปี	1,994,138	383,733
ของเสียที่ลดลงได้	-	80.6%

คำนวณระยะเวลาคืนทุน

- ต้นทุนจัดทำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้นราคา 22,500 บาท
- มูลค่าของเสียจากปัญหาไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้างที่ลดลงได้ 1,610,405 บาทต่อปี

$$\begin{aligned}\text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \text{มูลค่าในการลงทุน/ผลตอบแทนสุทธิรายปี} \\ &= 22,500 \text{ บาท} / 1,610,405 \text{ บาทต่อปี} = 5 \text{ วัน}\end{aligned}$$

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการลดของเสียในกระบวนการขึ้นรูปขนมพายชั้น โดยคัดเลือกปัญหาที่เกิดสูงเป็นอันดับหนึ่งมาทำการแก้ไข คือไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง จากการวิเคราะห์ห้ผังก้างปลา และ เทคนิคทำไม – ทำไม พบว่าสาเหตุหลักมาจากการใส่ไส้ขนมพายชั้นชิดกับขอบของแผ่นแป้งโดว์มากเกินไป โดยพนักงานปรับตำแหน่งท่อใส่ไส้ขนมพายชั้นตามประสบการณ์ของตนเอง เนื่องจากไม่มีการกำหนดตำแหน่งใส่ไส้ขนมพายชั้นที่แน่ชัด จึงได้ออกแบบและจัดทำอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น จัดทำคู่มือปฏิบัติงาน และจัดอบรมวิธีปฏิบัติงานให้กับพนักงานและหัวหน้างาน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ก่อนการปรับปรุงมีของเสียที่เกิดจากไส้ขนมพายชั้นทะลักด้านข้าง 0.346% คิดเป็นมูลค่าของเสีย 1,994,138 บาทต่อปี หลังการปรับปรุงของเสียลดลงเป็น 0.067% คิดเป็นมูลค่าของเสีย 383,733 บาทต่อปี สามารถลดของเสียลงได้ 80.6% หรือลดมูลค่าของเสียลงได้ 1,610,405 บาทต่อปี คิดเป็นระยะเวลาคืนทุนเพียง 5 วัน

ข้อเสนอแนะ

1. ทุกครั้งหลังการใช้งานอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้น ควรมีการทำความสะอาดชุดอุปกรณ์เพื่อป้องกันละอองแป้งและเศษแป้งโดว์ติดใบมีดกลมและเพลลา
2. ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาของแผ่นแป้งโดว์ หรือมีการเปลี่ยนตำแหน่งการใส่ไส้ขนมพายชั้น ควรมีการปรับตั้งระยะของเพลลาและใบมีดกลม ของอุปกรณ์กำหนดตำแหน่งในการใส่ไส้ขนมพายชั้นใหม่ทุกครั้ง

เอกสารอ้างอิง

- ธนัชชา ตามประทีป และ กิตติชัย อธิกุลรัตน์. (2560) การลดของเสียในสายการผลิตที่ดูดนํ้ามูก. *การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 661-665.
- ธนิตศักดิ์ พุฒิพัฒน์โมษิต, อัสริยาภรสง่าอารีย์กุล, อภิชาติ เสมศรี, และ ปิยฉัตร นุตลักษณ์. (2562). การลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์โครงเหล็กค้ำกันความปลอดภัยของรถยนต์. *วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย (สสอท.)*, 9(2), 45-54.
- รวมใจ อึ้งไพเราะ และ นันทิ สุทธิการณนัย. (2564). การลดของเสียและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา โรงงานถลุงพลาสติก. *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 16*, มหาวิทยาลัยรังสิต, 609-621.
- วิรัชพัชร พรหมจรรย์, ยุติ ฉัตรวรานนท์, นฐิตา หวังโษ๊ะ, และภุชงค์ จันทร์จิระ. (2562). การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางคุณภาพสำหรับกระบวนการผลิตอิฐ. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 13(1), 81-92.
- ศิลปชัย วัฒนเสย, พรศพงษ์ แก่นณรงค์, และ สายสุนีย์ พงษ์พัฒนศึกษา. (2562). การเพิ่มผลผลิตโดยการลดของเสียในอุตสาหกรรมการผลิตพาเลทไม้ ใน งานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยรังสิต, มหาวิทยาลัยรังสิต, 278-285.
- สมรรถธณ เจริญนามวงศ์ และ ศักดิ์ชาย รักการ. (2565). การลดของเสียในกระบวนการผลิตกรอบกระจกอลูมิเนียม. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช*, 2(2), 1-11.

Translated Thai References

- Tamprathip, T. , & Athikulrat, K. (2017) Reducing waste in the nasal aspirator production line. *14th National Academic Conference*, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, 661-665.
- Pudtipatkosit, T. , Sangaareegul, A. , Semsri, A , Nutalak, P. (2019). Reducing Waste in Car Roll Bar

- Manufacturing Process. *APHEIT Journal*. 9(2), 45-54.
- Ung Phaeo, R. & Suthikannarunai, N. (2021). Waste Reduction and Efficiency Enhancement in the Production Process: Case Study of Plastic Bag Factory. 16th *National Graduate Research Presentation Conference, Rangsit University*, 609-621.
- Prommachan, W. , Chatwaranon, Y. , Wangsoh, N. , Chanjira, P. (2019). An Application of Quality Control tool for Brick Production Process. *Journal of Industrial Education, Srinakharinwirot University*. 13(1), 81-92.
- Watthanasoei, S. , Kaennarong, P. & Pongpatanasuegsa, S. (2019). The Productivity Improvement by Defective Reduction of Wood Pallet Manufacturing. *National Academic Conference Rangsit University, Rangsit University*, 278-285.
- Rangnamvong, S. & Rakkran, S. (2022). Reducing waste in the production of aluminum glass frames. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat*, 2(2), 1-11.

Received: Jan 28, 2024

Revised: Jun 27, 2024

Accepted: Jun 29, 2024

การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า

STUDY OF THE MIXING RATIO OF EXPANDER MATERIALS ON CAPACITY OF NEGATIVE PLATE IN TRACTION BATTERY

สมศักดิ์ มีนกร, สมจินต์ อักษรธรรม, วรเทพ ตรีวิจิตร*, เถลิง พลเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี

Somsak Meenakorn, Somjin Aksorntham, Worathep Treewichit,

Thaloeng Poljaroen

Faculty of Engineering, Thonburi University

E-mail : somsak_me@hotmail.com, somjin072@gmail.com

*worathep@thonburi-u.ac.th thaloeng@thonburi-u.ac.th

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ไฟฟ้า โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าจากการศึกษาพบว่า การผสมคาร์บอนแบล็คด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาแตกต่างกันส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกระตุ้น XE500-02 และ N220500-10 จะให้ค่าความจุสูงกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้น HE115 โดยให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป

คำสำคัญ: วัสดุกระตุ้น, ค่าความจุ, แผ่นธาตุลบ

Abstract

The purpose of this research article is to study the mixing ratio of expander materials on capacity of negative plate in traction battery. Using the Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) as a tester for electrochemical properties. From the study, it was found that mixing carbon black with different rotational speeds and durations have different effects on the capacitance value of the stimulating material. In particular, the XE500-02 and N220500-10 actuators have higher capacitance values compared to the HE115 actuator, with higher capacitances in cycles of 300 and above.

Keywords: expander materials, capacity, negative plate

บทนำ

การที่ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตและศูนย์กลางการส่งออกรถยนต์ของเอเชีย ซึ่งผลดีที่ตามมาก็คือการเกิดอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์และอุตสาหกรรมเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้อง เช่น แบตเตอรียานยนต์เป็นสิ่งที่อยู่คู่กับอุตสาหกรรมยานยนต์ ประเทศไทยจำเป็นต้องนำเข้าแบตเตอรี่ยานยนต์จำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตแบตเตอรี่รถไฟฟ้าในประเทศไทยมีการ ผลิตน้อยมากส่วนใหญ่เป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อนำมาใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งแบตเตอรี่ไฟฟ้ามีข้อดีที่ต้องทำ การแก้ไขในเรื่องความจุของพลังงานต่อปริมาตรค่อนข้างน้อยและเวลาในการประจุแบตเตอรี่แต่ละครั้งใช้เวลามาก จึงทำให้ แบตเตอรี่รถไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการในการใช้งาน การพัฒนาแบตเตอรี่ไฟฟ้าให้มีสมบัติอายุการใช้งานที่ดีขึ้นนั้น จากการศึกษาพบว่าอายุการใช้งานของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ ได้แก่ การดูแลรักษา สภาพแวดล้อม โครงรองรับ และอุณหภูมิขณะใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูแลรักษา สภาพแวดล้อม และโครงรองรับนั้นสามารถดำเนินการควบคุมได้ ส่วนอุณหภูมิขณะใช้งานของแบตเตอรี่รถไฟฟ้าไม่สามารถดำเนินการควบคุมได้ เนื่องจากขึ้นอยู่กับความถี่ต่อการใช้งานของ แบตเตอรี่รถไฟฟ้าแต่ละครั้งจะส่งผลต่อค่าความจุพลังงานต่อหน่วย

สำหรับการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องตามลำดับดังนี้

Francia C. และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของวัสดุกระตุ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า พบว่า ลักษณะเฉพาะของวัสดุกระตุ้นจากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพของวัสดุ กระตุ้นแตกต่างกัน ผลมาจากการผสมวัสดุลิโนซัลโฟเนต (Lignosulfonate) ซึ่งวัสดุลิโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติในการเพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุลบ และเพิ่มอายุของแผ่นธาตุลบ โดยจะทำหน้าที่ในการจับ Pb เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของ $PbSO_4$ เคลือบบน Pb จะเห็นได้ว่าวัสดุกระตุ้นในแผ่นธาตุลบเป็นองค์ประกอบที่มีความซับซ้อนในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและเคมีไฟฟ้า จึงมีความสำคัญและความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงทำให้ดีขึ้น เพื่อส่งผลทำให้วัสดุกระตุ้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (Francia C. และคณะ, 2001)

Saez F. และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุกระตุ้นที่แตกต่างกันในแผ่นธาตุลบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเซลล์เดียว พบว่า จากตัวอย่าง 7 ตัวอย่างเลือกมา 3 ตัวอย่างมีความเข้มข้นของวัสดุผสม 0.2 % ของวัสดุ กระตุ้น ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอนแบล็ค (Barium sulfate) และแบเรียมซัลเฟตจากการทดสอบ ซึ่งผลแตกต่างที่ได้จากการคายประจุของแบตเตอรี่ที่ 10 – 13 % พบว่า ค่าความจุของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกัน ผลของจำนวนรอบจากการใช้งานขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอนแบล็คและแบเรียมซัลเฟตในวัสดุกระตุ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณของคาร์บอนแบล็คผลที่ตามมาจะส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพต่อค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Saez F. และคณะ, 2001)

Boden D.P. ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุกระตุ้นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะทำการปรับปรุงช่วงระยะเวลาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าวัสดุกระตุ้นของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิโนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซึ่งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริก จะทำหน้าที่ในการจับตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เพื่อไม่ให้ตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เกิดเป็นฟิล์มบนตะกั่ว (Pb) ลิโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติจะประสานเนื้อวัสดุ เพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุและเพิ่มอายุของแผ่นธาตุลบ จะทำหน้าที่ในการจับ

ตะกั่ว (Pb) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) เคลือบบนตะกั่ว (Pb) โดยเฉพาะอย่างยิ่งลิโนลีนโซลโฟเนตจะเพิ่มพื้นที่ผิวและปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบส่งผลทำให้สามารถจัดเก็บค่าความจุได้มากยิ่งขึ้น ส่วนคาร์บอนแบล็คมีคุณสมบัติช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ (Boden D.P., 2008)

Atanassova P. และคณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในขั้วไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าการผสมวัสดุกระตุ้นกับตะกั่วออกไซด์และกรดซัลฟูริกในวัสดุผสมจะช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบ ซึ่งวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟตที่มีคุณสมบัติในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้า คาร์บอนแบล็คจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟของวัสดุผสมในการคายประจุ ส่วนลิโนลีนโซลโฟเนตจะเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุผสมและปรับปรุงประสิทธิภาพในแผ่นธาตุลบทำให้สามารถจัดเก็บค่าความจุได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนแบล็คจะปรับปรุงการประจุไฟฟ้าการคายประจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปคาร์บอนแบล็คจะสร้างโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิวเพื่อชะลอการเกิดตะกั่วซัลเฟต ($PbSO_4$) บนพื้นที่ผิวของตะกั่ว ซึ่งการเพิ่มคาร์บอนแบล็คจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของโครงข่ายการนำไฟฟ้าบนพื้นที่ผิวของตะกั่ว (Atanassova P. และคณะ, 2013)

จากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้จากการศึกษานี้จะเป็นแนวทางการพัฒนาค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุส่งผลมาจากวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยาย (Expander) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญมีหน้าที่ในการเพิ่มค่าความจุ ด้านทานความร้อนและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งกระบวนการผลิตวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยาย โดยทำการผสมวัสดุกระตุ้นของวัสดุขยายให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini high speed mixers) ผู้วิจัยจึงสนใจทำการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า เพื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นชนิด HE115 (Commercial grade) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถไฟฟ้าทั่วไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าขอบเขตของการวิจัยจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. ขอบเขตของเนื้อหาเป็นการศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ซึ่งค่าความจุพลังงานต่อหน่วยส่งผลมาจากวัสดุกระตุ้นวัสดุขยาย เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญในการผลิตแผ่นธาตุลบมีสมบัติในการเพิ่มค่าความจุ ด้านทานความร้อนและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งกระบวนการผลิตวัสดุขยาย โดยใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง (Bench top mini high speed mixers)

2. ขอบเขตของตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาจะประกอบด้วยตัวแปรต้นและตัวแปรตาม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 2.1 ตัวแปรต้น ได้แก่ วัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ซึ่งจะใช้ความเร็วรอบการผสม 500, 1,000 และ 1,500 รอบ/นาที และระยะเวลาการผสม 2 และ 10 นาที ตามลำดับ โดยใช้เครื่องผสมความเร็วรอบสูง

- 2.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. การกำหนดประชากร ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้น

วัสดุกระตุ้น วัตถุดิบ	N220	XE2B	HE115 (Commercial grade)
Barium Sulfate	87	87	< 90 %
Sodium lignosulfonate	9	9	< 10 %
Carbon black	4	4	< 5 %

วัสดุกระตุ้นเป็นส่วนผสมหลักของแผ่นธาตุลบมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความจุและจำนวนรอบอัตราการคายประจุต่อการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งวัสดุกระตุ้นจะประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ซึ่งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติในการเพิ่มค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อน โซเดียมลิกโนซัลโฟเนตมีคุณสมบัติในการเพิ่มพื้นที่ผิวและลดอุณหภูมิจากการใช้งาน ส่วนคาร์บอนแบล็คจะทำหน้าที่ปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้า ซึ่งส่วนประกอบของวัสดุกระตุ้นมีรายละเอียดดังนี้

1. แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ซึ่งคุณสมบัติของแบเรียมซัลเฟตในการทำปฏิกิริยาเป็นตัวนำซัลเฟตในช่วงแบตเตอรี่ไม่ได้ชาร์จไฟฟ้าสามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกจะทำหน้าที่ในการจับ $PbSO_4$ เพื่อไม่ให้ $PbSO_4$ เกิดเป็นฟิล์มบน Pb (Boden D.P, 2008)

2. โซเดียมลิกโนซัลโฟเนต (Sodium lignosulfonate) ซึ่งคุณสมบัติของโซเดียมลิกโนซัลโฟเนตจะประสานเนื้อวัสดุ เพิ่มความต้านทานด้านความร้อนของแผ่นธาตุและเพิ่มอายุของแผ่นธาตุ จะทำหน้าที่ในการจับ Pb เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟิล์มของ $PbSO_4$ เคลือบบน Pb (Boden D.P, 2008)

3. คาร์บอนแบล็ค (Carbon black) ซึ่งคุณสมบัติของคาร์บอนแบล็คเป็นตัวทำปฏิกิริยาช่วยในการชาร์จไฟฟ้าและดิสชาร์จของแบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสะพานไฟ (Boden D.P, 2008)

2. การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 โดยใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาในการผสมของวัสดุกระตุ้นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วรอบและระยะเวลาในการผสมวัสดุกระตุ้น

Expander	Speed (RPM)	Time (minute)
N220	500	2
	500	10
	1,000	10
	1,500	10
XE2B	500	2
	500	10
	1,000	10
	1,500	10
HE115	N/A	N/A

3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยการศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้าจะประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

1. เครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้น ได้แก่ แบเรียมซัลเฟต (Barium sulfate) ลิเทียมซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ในอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นตามตารางที่ 1 ด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาการผสมวัสดุกระตุ้น ตามตารางที่ 2

2. เครื่อง Auto lab PGSTAT30 (Cyclic Voltammetry) เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ในการทดสอบจะต้องจัดเตรียมตะกั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร การตั้งเครื่องจะต้องตั้งค่าให้อยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm⁻³ โดยการเตรียมวัสดุกระตุ้นให้มีความเข้มข้น 20 ppm

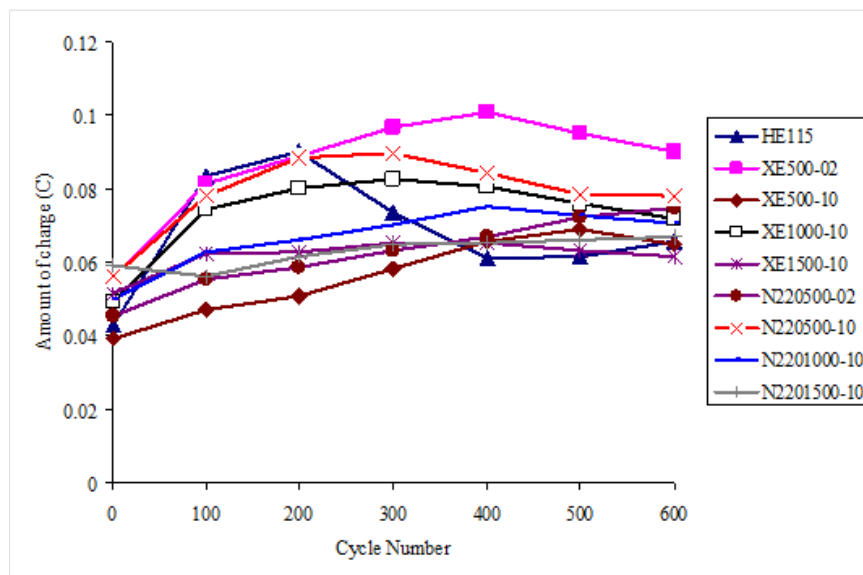
4. การวิเคราะห์ข้อมูลการวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้น โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าด้านค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ โดยทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 ด้วยการทดสอบโวลแทมเมตรี (CV) โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30

ผลการดำเนินการ

จากผลการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammogram) ของวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการผสมวัสดุกระตุ้นด้วยเครื่องผสมความเร็วรอบสูง ประกอบด้วย แบเรียมซัลเฟต ลิเทียมซัลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค ในอัตราส่วนผสมความเร็วรอบ และระยะเวลาการผสมวัสดุกระตุ้นตามที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้เครื่อง Auto lab PGSTAT30 เป็นเครื่องทดสอบคุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้าของวัสดุกระตุ้นชนิด N220, XE2B และ HE115 (Commercial grade) เพื่อทำการเปรียบเทียบ ซึ่งการทดสอบจะต้องจัดเตรียมตะกั่วให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ตารางเซนติเมตร การตั้งเครื่องจะต้องตั้งค่าให้อยู่ในช่วง -0.30 ถึง -0.90V อัตราการสแกนอยู่ที่ 20 mV/s ใช้กรดซัลฟูริก 1.25 g-cm⁻³ โดยการเตรียมวัสดุกระตุ้นให้มีความเข้มข้น 20 ppm ผลจากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรีได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรีของวัสดุกระตุ้น

ผลิตภัณฑ์ จำนวนรอบ	HE115	XE500- 02	XE500- 10	XE1000- 10	XE1500- 10	N220500- 02	N220500- 10	N2201000- 10	N2201500- 10
1	4.30E-02	5.60E-02	3.94E-02	4.91E-02	5.18E-02	4.55E-02	5.62E-02	5.00E-02	5.93E-02
100	8.34E-02	8.14E-02	4.71E-02	7.43E-02	6.25E-02	5.56E-02	7.84E-02	6.30E-02	5.63E-02
200	9.03E-02	8.91E-02	5.11E-02	8.04E-02	6.27E-02	5.86E-02	8.85E-02	6.61E-02	6.18E-02
300	7.35E-02	9.67E-02	5.85E-02	8.28E-02	6.54E-02	6.34E-02	8.97E-02	7.02E-02	6.48E-02
400	6.11E-02	1.01E-01	6.57E-02	8.06E-02	6.53E-02	6.71E-02	8.44E-02	7.52E-02	6.53E-02
500	6.18E-02	9.53E-02	6.92E-02	7.61E-02	6.35E-02	7.23E-02	7.85E-02	7.28E-02	6.62E-02
600	6.58E-02	9.03E-02	6.49E-02	7.19E-02	6.16E-02	7.49E-02	7.83E-02	7.06E-02	6.69E-02



ภาพที่ 1 ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ HE115, XE500-02, XE500-10, XE1000-10, XE1500-10, N220500-02, N220500-10, N2201000-10 และ N2201500-10

จากรูปที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm พบว่า วัสดุกระตุ้นของ Expander materials แต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ HE115 จากการทดสอบ Cyclic Voltammogram พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 200 ซึ่งมีค่าความจุที่ $9.034\text{E-}02$ แล้วจะลดต่ำลงอยู่ในรอบที่ 300 และ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่ $7.354\text{E-}02$ และ $6.113\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดเอียงขึ้นในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.182\text{E-}02$ และ $6.582\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE500-02 จากการทดสอบ Cyclic Voltammogram พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่ $1.012\text{E-}01$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $9.533\text{E-}02$ และ $9.034\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 500 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.924\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.493\text{E-}02$

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด $1.25 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE1000-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดใน

รอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่ $8.284\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $8.061\text{E-}02$, $7.612\text{E-}02$ และ $7.191\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ XE1500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.542\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.533\text{E-}02$, $6.351\text{E-}02$ และ $6.162\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N220500-02 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $7.491\text{E-}02$

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N220500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 300 ซึ่งมีค่าความจุที่ $8.972\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 400, 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $8.442\text{E-}02$, $7.854\text{E-}02$ และ $7.833\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N2201000-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 400 ซึ่งมีค่าความจุที่ $7.521\text{E-}02$ แล้วจะค่อย ๆ ลดต่ำลงมาอยู่ในรอบที่ 500 และ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $7.283\text{E-}02$ และ $7.064\text{E-}02$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของ N2201500-10 จากการทดสอบไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่าการทดสอบทางไฟฟ้าเคมีให้ค่าความจุสูงสุดในรอบที่ 600 ซึ่งมีค่าความจุที่ $6.693\text{E-}02$

สรุปผลจากการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm ของวัสดุขยาย แต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง พบว่าวัสดุขยายกับ XE500-02 และ N220500-10 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 (Commercial grade) ให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป

สรุปผลและการอภิปราย

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับวัสดุขยายแต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาอัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า จากผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับวัสดุขยายแต่ละชนิดให้ค่าความจุแตกต่างกัน เมื่อเทียบกับจำนวนรอบการทดสอบแต่ละครั้ง พบว่าการผสมคาร์บอนแบล็คด้วยความเร็วรอบและระยะเวลาแตกต่างกันส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Saez F. และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของวัสดุกระตุ้นที่แตกต่างกันในแผ่นธาตุลบต่อประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด พบว่าการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญของปริมาณและชนิดคาร์บอนแบล็คผลที่ตามมาจะส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพต่อ

ค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุกระตุ้นชนิด XE500-02 และ N220500-10 จะให้ค่าความจุสูงกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นชนิด HE115 (Commercial grade) โดยให้ค่าความจุที่สูงกว่าในรอบที่ 300 ขึ้นไป ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

ผลการปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ XE500-02 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกลินโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) จากการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) ซึ่งโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ค (High structure carbon black) จะมีลักษณะรูปแบบการเกาะกลุ่มของจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวเข้าด้วยกันขนาดใหญ่ส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ยาว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Papazov G. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิต่อความมีเสถียรภาพของวัสดุกระตุ้นต่อจำนวนรอบจากการใช้งานของแผ่นธาตุลบ พบว่าวัสดุกระตุ้นมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพต่อค่าความจุและจำนวนรอบจากการใช้งานของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงสร้างของวัสดุผสมในแผ่นธาตุลบจะประกอบด้วยโครงสร้างของกิ่งก้านที่ประสานเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายมีลักษณะคล้ายผลึกตะกั่ว และผลึกของตะกั่วจะแพร่ขยายเพิ่มพื้นที่ผิวส่งผลทำให้สามารถจัดเก็บความจุได้มากขึ้น การจับตัวของโครงข่ายดังกล่าว จึงส่งผลต่อ ค่าความจุของวัสดุกระตุ้นวัสดุขยายกับ XE500-02 ซึ่งยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกลินโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอันได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Glasstetter F.E. และคณะ (1982) และ Glasstetter F.E. และคณะ (1983) และ Shiomi M. และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ พบว่า คาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเป็นส่วนประกอบที่ส่งผลต่อค่าความจุ ปรับปรุงคุณลักษณะเฉพาะของการคายประจุและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ส่วนผลของอัตราส่วนผสม เมื่อความเร็วยรอบเพิ่มจะส่งผลต่อค่าความจุที่ลดต่ำลง เนื่องจากความเร็วยรอบจะส่งผลต่อแรงบิดที่ทำให้ไปขัดเนื่องการจับกลุ่มของ Barium sulfate ซึ่งการจับกลุ่มของ Barium sulfate จะเคลือบอยู่บนคาร์บอนแบล็ค ส่งผลทำให้โครงสร้างของคาร์บอนแบล็คถูกตัดเฉือนไปด้วยเมื่อมีความเร็วยรอบสูงและใช้ระยะเวลาในการผสมที่ยาวนาน

ผลการวิเคราะห์ ปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^{-3} ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ N220500-10 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกลินโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) จากการเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ HE115 เนื่องจากส่วนผสมของคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) ซึ่งโครงสร้างของคาร์บอนแบล็ค (Medium structure carbon black) จะมีลักษณะรูปแบบการเกาะกลุ่มของจำนวนอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวเข้าด้วยกันค่อนข้างใหญ่ส่งผลทำให้มีรูปแบบเป็นกิ่งก้านและสายโซ่ ซึ่งการจับตัวของโครงข่ายดังกล่าว จึงส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุกระตุ้นวัสดุขยายกับ N220500-10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซัลเฟต ลิกลินโซลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอันได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Glasstetter F.E.

และคณะ (1982) และ Glasstetter F.E. และคณะ (1983) และ Shiomi M. และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่ พบว่า คาร์บอนแบล็คที่ใช้ในแบตเตอรี่จะก่อกรดเป็นส่วนประกอบที่ส่งผลต่อค่าความจุ ปรับปรุงคุณลักษณะเฉพาะของการคายประจุและคุณสมบัติอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่จะก่อกรด ส่วนผลของอัตราส่วนผสมเมื่อความเร็วรอบ 500 รอบ/นาทีและใช้ระยะเวลาในการผสม 10 นาที โครงสร้างคาร์บอนแบล็ค อาจไม่สามารถกระจายตัวจากการจับกลุ่มการใช้ระยะเวลาการผสมที่น้อยกว่าทำให้ส่งผลต่อค่าความจุที่ต่ำลง ในทางตรงกันข้ามหากเพิ่มความเร็วยิ่งขึ้นจะส่งผลต่อแรงบิดทำให้ไปขัดขวางการจับกลุ่มของแบเรียมซิลเฟต ซึ่งการจับกลุ่มของแบเรียมซิลเฟต จะเคลือบอยู่บนคาร์บอนแบล็ค ส่งผลทำให้โครงสร้างของคาร์บอนแบล็คถูกตัดเฉือนไปด้วยจะส่งผลต่อค่าความจุที่ลดลงเช่นกัน

ผลการปริมาณการประจุและจำนวนรอบจากชุดตะกั่วบริสุทธิ์ขนาด 1.25 g-cm^3 ในกรดซัลฟิวริกที่มีความหนาแน่น 20 ppm สำหรับ HE115 ซึ่งมีส่วนผสมประกอบด้วยแบเรียมซิลเฟต ลิเทียมซิลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค เช่นกัน จากการทดสอบทางไฟฟ้าเคมี พบว่าให้ค่าความจุต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุขยายกับ XE500-02 และ N220500-10 ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ McNally T.J. และคณะ (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบวัสดุกระตุ้นสำหรับแบตเตอรี่จะก่อกรด พบว่าสารประกอบที่เป็นองค์ประกอบของวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงจำนวนรอบจากการใช้งานและมีคุณสมบัติที่ดีกว่าจากการเปรียบเทียบกับวัสดุกระตุ้นตามมาตรฐานในท้องตลาด เนื่องจากส่วนผสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งคาร์บอนแบล็คน่าจะเป็นชนิด คาร์บอนแบล็คโครงสร้างต่ำซึ่งมีโครงสร้างรูปแบบจำนวนของอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ในการรวมตัวการจับกลุ่ม จึงจับกลุ่มกันแน่นและแออัดทำให้เกิดระยะช่องว่างของทางเดินอิเล็กตรอน (Electron Path) กว้างทำให้การส่งถ่ายอิเล็กตรอน (Electron) ช้ากว่าปกติ ซึ่งส่งผลต่อค่าความจุของวัสดุขยายกับ HE115 และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Foster J.K. (1991) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของคาร์บอนแบล็คต่อคุณสมบัติการนำไฟฟ้า พบว่า ส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นจะต้องประกอบด้วยแบเรียมซิลเฟต ลิเทียมซิลโฟเนต และคาร์บอนแบล็ค หน้าที่ของคาร์บอนแบล็คในวัสดุกระตุ้นจะปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าของวัสดุผสมในระหว่างการคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งคาร์บอนแบล็คสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทอัน ได้แก่ โครงสร้างต่ำ โครงสร้างปานกลาง และโครงสร้างสูง

ข้อเสนอแนะ

การศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ซึ่งทางผู้วิจัยได้เสนอแนะเพื่องานวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

1. ผลของคาร์บอนและการผสมในการเตรียมวัสดุกระตุ้นที่ส่งผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบ
2. ผลของคาร์บอนและลิเทียมในการเตรียมวัสดุกระตุ้นที่ส่งผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบ

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยการศึกษ้อัตราส่วนผสมของวัสดุกระตุ้นที่มีผลต่อค่าความจุของแผ่นธาตุลบในแบตเตอรี่รถไฟฟ้า ขอกราบขอบพระคุณผู้บริหารของทางมหาวิทยาลัยธนบุรีที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

Atanassova, P. , Blizanac, B. , Koehlert, K.C. , Moeser, G.D. , Oljaca, M. , Sun, Y. , Pierre, D. , Sawrey, J.S. (2013). Carbon Blacks and Use in Electrodes for Lead Acid Batteries. *International Application Published Under The Patent Cooperation Treaty*, Publication No. WO 2013/096784 A1, 1-22.

- Boden, D.P. (2008). Lead-acid Battery Expanders with Improved Life at High Temperatures. *United States Patent Application Publication*, Publication No. US 2008/0305396 A1, 1-4.
- Foster, J.K. (1991). Effects of Carbon Black Properties on Conductive Coatings. *Presented in the 2nd international exhibition of paint industry suppliers*, 1-6.
- Francia, C., Maja, M., Spinelli, P. (2001). Electrochemical Characterization of Expander Materials. *J Power S 2001*, 95, 119-124.
- Glasstetter, F.E., Pa, Y., Eckert, F.J., La, M. (1982). Battery carbon black. United States Patent. *Publication No. 1982/4351815*, 1-4.
- Glasstetter, F.E. , Pa, Y., Eckert, F.J., La, M. (1983). Process for the manufacture of battery carbon black. *United States Patent. Publication No. 1983/4367208*, 1-4.
- McNally, T., Klang, J., (2003). Benefit of Increasing the Organic Expander Dosage on the High Temperature Performance of the Negative Electrode of Lead-acid. *J Power S 2003*, 116, 47-52.
- Shiomi, M., Funato, T., Nakamura, K., Takahashi, K. & Tsubota, M. (1997). Effects of Carbon in Negative Plates on Cycle-life Performance of Valve- Regulated Lead-acid Batteries. *J Power S 1997*, 64, 147-152.
- Saez, F., Martinez, B., Marin, D., Spinelli, P., Trinidad, F. (2001). The Influence of Different Negative Expanders on the Performance of VRLA Single Cells. *J Power S 2001*, 95, 174-190.
- Papazov, G., Pavlov, D., Monahov, B. (2003). Influence of Temperature on Expander Stability and on the Cycle Life of Negative Plates. *J Power S 2003*, 113, 335-344.

Received: Apr 18, 2024

Revised: Jun 28, 2024

Accepted: Jun 29, 2024

DEVELOPMENT OF MANAGEMENT MODEL FOR INNOVATION PLATFORM IN MEDICAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDUSTRY IN CHINA

¹Tang Yuying, ^{*2}Nutdanai Singkhleewon, ³Sirikarn Pokheow, ⁴Sombat Teekasap

^{1,2,3}Bansomdejchaopraya Rajabhat University

⁴Faculty of Science and Technology, Thonburi University

E-mail: ¹cathytang@insigma.com.cn, ^{*2}mar6666@hotmail.com,

³Luknam756@gmail.com, ⁴Sombat.teekasap@gmail.com

Abstract

This study aims to develop an innovation platform management model to address issues in medical AI Industry in China and promote its future development. The first step is to analyze the existing problems, opportunities and innovative solutions in the medical AI industry in China by literature analysis and in-depth interview with five experts. The second step is to evaluate the consistency of innovation platform management elements for the medical AI industry in China by expert confirmation process with 17 experts. The final step is to create the innovation platform management model and confirm by 5 experts. The findings of this study are as follows: (1) It identified 5 aspects, 11 themes and 35 elements for innovation platform management in medical AI industry in China. Experts agree on the necessity of a multi-faceted approach to foster innovation, emphasizing the importance of data privacy, domain knowledge base development, interdisciplinary talent cultivation, clinical-AI integration, organizational management. (2) The proposed management model presents a comprehensive framework encompassing five aspects: infrastructure management, technology innovation management, application scenarios management, policy and regulation management, and platform organization management. This study emphasizes the importance of stakeholder collaboration and the utilization of the innovation platform to facilitate the industry development.

Keywords: Management Model, Innovation Platform, Medical Artificial Intelligence, Platform Empowerment

Introduction

Artificial Intelligence (AI) has revolutionized healthcare with its advanced data processing capabilities and optimization abilities, impacting various medical applications (Sun, Gao & Wu, 2021). However, integrating AI and the medical industry remains challenging, such as inexplicable diagnosis results, unguaranteed medical safety and unformed service loop. Despite these hurdles, the medical AI field garners significant attention for

its potential growth. To foster industry development, China government has introduced policies promoting innovation platforms that carry out technology innovation and provide open sharing services. These platforms, led by tech giants or governments, facilitate interdisciplinary collaboration to tackle complex tasks and provide various support to the innovation activities (Hao, 2021).

Deepening integration of AI to medical industry increases complexity of management demands towards innovation platforms. Science and technology innovation platform needs to explore management models and integrate new resources to provide better innovative solutions. Developing a management model suitable for the future development demands of the medical AI industry has become an urgent task, addressing the lack of research on platform empowerment at multiple levels and its impact on the symbiotic relationship among various industrial stakeholders.

This study tries to fill this gap by using an in-depth interview and expert confirmation process based on literature analysis. It aims to identify problems and opportunities facing the medical AI industry, analyze the management elements of innovation platform, and develop a management model. The main research objective is to develop the platform management model for the industry's future development, exploring key factors driving successful emerging industry and determining optimal management practices and organizational collaborations to support this process with the following objectives:

1. To analyze the existing problems, opportunities, and innovative solutions in the medical AI industry in China.
2. To evaluate the consistency of innovation platform management elements for the medical AI industry in China.
3. To create and evaluate the innovation platform management model for the future development of the medical AI industry in China.

Literature Review

Medical AI in China confronts hurdles in medical data, algorithm, talents, clinical application, ethics and law. (Tomičić & Lazić Mosler, 2022) (Zhu & Lv, 2022). Regulatory gaps impede high-quality data collection, data sharing and patient privacy protection, alongside the absence of medical data standardization, limiting AI's practical use to experimental stages (Shi & Liu, 2021). Algorithm challenges provoke skepticism regarding AI's interpretability and potential bias due to the 'black box' opacity of AI diagnostics (El Kafhali et al., 2023). Clinical application barriers are multifaceted, encompassing costliness and technical uncertainty that restrict AI products to solving clinical issues, failing to streamline services or alleviate physician burdens (Ji, et al., 2022). Interdisciplinary talent is scarce, particularly. Those adept in both AI and clinical medicine, with the current

educational system in China favoring specialized applications over integrated innovation (Wang et al., 2020). Commercialization is at a low rate and monetization models are undefined (Luo, 2021). Ethical and legal dilemmas, particularly regarding data security, risk liability and supervision, are gaining prominence (Shen et al., 2023).

The medical AI industry's future development hinges several aspects such as infrastructure, technology innovation, application scenario, policies, and regulations. The infrastructure includes factors such as high-performance computing, advanced algorithms, and big data (Liu et al., 2023). Experts recommend China prioritize building data standardization and norms, drawing from international best practice for medical data management (Liao et al., 2021). AI algorithms are pivotal in healthcare but require increased interpretability, accountability, and transparency (Reddy et al., 2020). For the technology innovation aspects, key to medical AI's growth are breakthroughs in core technologies (Qiu et al., 2023) and cultivation of innovative talents. China is urged to bolster AI research to compete internationally, focusing on new AI chip and large AI models. Cultivating AI talent through research and startups, as well as interdisciplinary education, is essential for technology advancement (Zhao & Zhuang, 2023).

Integrating AI into medical scenarios is essential to advancing the medical AI industry, driving technology upgrades, and forming a data-driven business loop. To penetrate deeply, AI must integrate into the entire clinical process, while broadly it should enhance primary care and tiered medical services, with future healthcare aiming for increasing efficiency and tailored treatments (Yuan et al., 2020). Market growth is promising, yet still nascent, requiring policy support and strategic planning. Countries are launching AI strategies, with China emphasizing applications like medical imaging, while others focus on basic research (Luo, 2021). Ethics and law emphasize the need for a comprehensive governance system and a balance of innovation with ethical risk control (Braun & Harasimiuk, 2023).

Innovation platforms play a crucial role in medical AI technology and industry development, as they provide innovative solutions by integrating resources, supporting innovation activities and enabling medical AI application (Lu, 2020). Innovation platforms create value through capability aggregation, adapting to external environments, and resource restructuring. Recommendations for industry future development include building structure system and collaborative mechanisms, improving top-level design and building open ecosystems (Chen, 2022).

Based on the literature review, this study will identify the problems and opportunities in the development of the medical AI industry and the innovative solutions of the innovation platform. An in-depth interview will be used to explore and supplement the platform management elements and an expert confirmation process will be adopted to evaluate the management elements and the model. Eventually the optimal management model for the innovation platform will be developed for the future development of the medical AI industry.

Methodology

This study adopts an in-depth interview to obtain the insights of the experts based on the results of literature review, which is often used by sociologists to explore a multitude of substantive and theoretical topics (Davis Hicks, 2004), because it allows them to probe in detail people's subjective experiences, meaning-making, and unspoken assumptions about the social world in general (Orrange, 2003). Five experts from the stakeholders in the medical AI industry, including university and research institute, medical AI enterprise, hospital, and investor were used in semi-structured in-depth interviews with mostly open-ended questions, which allows the interviewees to express deep feelings and rich detail about specific experiences (Wu, 2019; Yang & Sun, 2005). The most important question in an in-depth interview is the "probe," a question asked to follow up and explore issues brought up by the interviewee (Lucas, 2014). The feedback content is encoded and analyzed to search for models or themes, and the data is categorized under each theme to form a series of indicators.

An expert confirmation process of 17 experts is used to evaluate management elements and another panel of 5 experts is used to further evaluate the model after the management model is established. Its core is to consult relevant experts' opinions anonymously, make statistics, analyze expert opinions, and finally obtain more extensive expert collective results after the survey. It is necessary to use the experience of numerous experts to quantify the indicators of the research object, and then provide an analytical basis for specific problem research.

The selection of an expert panel is essential to both in-depth interview and expert confirmation process to ensure the validity and reliability of results. The size, heterogeneity, and appropriate knowledge of the expert panel should be taken into consideration (Belton et al., 2019) (Goluchowicz & Blind, 2011). Criteria for selecting appropriate experts is pre-defined to ensure all relevant characteristics and qualifications are present (Goluchowicz & Blind, 2011) (Okoli & Pawlowski, 2004). The criteria for selecting experts in this study include the following: Experts from different stakeholders of the medical AI industry; minimum of 5 years' experience in medical AI or related field; and minimum of bachelor's degree in education.

A variety of stakeholders who are engaged in the medical AI industry is included in this study. The setting allows for drawing on first-hand experience and comprehensive thematic knowledge from diverse experts in the medical AI industry to create an overall future scenario in the innovation platform, leading to higher accuracy than individual evaluations (Gracht, 2012).

The experts of this study are selected with snowball sampling method whereby a process is started with a small group of initial contacts. These participants then introduce the researcher to additional potential

participants from the target population. This cycle of referrals continues, until the desire sample size is achieved (Wright & Stein, 2005).

Results and Discussion

1. This study identified 5 aspects, 11 themes and 35 elements for innovation platform management in medical AI industry in China. highlighting a multi-faceted approach to foster innovation, emphasizing the importance of data privacy, domain knowledge base development, interdisciplinary talent cultivation, clinical-AI integration, organizational management.

(1) Data analysis from in-depth interview.

By in-depth interview the elements of problems, opportunities and innovative solutions in the medical AI industry are obtained. There are three parts of data analysis, namely problems and challenges analysis, opportunities and trends analysis, innovative solutions of innovation platform analysis.

From problems and challenges analysis, six key themes emerged: medical data, algorithm, clinical application, talents, commercialization, ethnics and law. Among all the 19 elements that were proposed by experts, the most frequently identified challenges were the lack of data standards and sharing mechanisms and the scarcity of interdisciplinary talents. These issues were recognized by all experts, highlighting the critical need for standardization and talent development within the medical AI field. The second high frequency challenges were: Without their own core algorithms, most Chinese companies use fine-tuned model on foreign open-source algorithms; Lagging laws and regulations are unable to effectively support the legal and compliant application of innovative products. The third one was element: Unclear of business model and monetization model, which was mentioned by 3 experts.

On the ranking list of six themes of problems and challenges, talents challenge was most important and recognized by all experts, clinical application was the second important and recognized by 4 experts. Algorithm and core technologies challenges as well as commercialization problems were regarded as the third importance, which received 3 experts' comments respectively.

Opportunities and trends analysis revealed four main aspects: infrastructure, technology innovation, application scenario, policies and regulations, and eight themes, including medical data, algorithm, key core technology, innovative talents, clinical application, commercialization, industry polices, ethnics and law.

Among all the 25 elements of opportunities and trend that proposed by experts, promoting deep integration between clinical demands and AI technology and providing industrial policy support to connect the entire industry chain were seen as the most promising opportunities. There were four elements ranked in the second important place and mentioned by 3 experts respectively: Establish medical data standards and norms; Improve algorithm accuracy; Cultivate interdisciplinary talents in medicine and AI; Policies and regulations should be predictable and sustainable.

The elements in technology innovation aspect and the elements under commercialization theme were diversified with low frequency. It seemed that experts hoped to find more solutions but had not reached consensus yet.

The platform organization aspect includes two themes of role positioning and development trends. The survey reveals that clinical resources and scenarios, commercialization supports, underlying algorithms and large models for medical AI industries had the highest median value and were seen as crucial by experts, while connecting and sharing for role positioning is unanimously recognized by experts.

Based on the elements identified from both literature review and in-depth interview the researcher makes a summary and got 5 aspects, 10 themes and 41 elements for innovation platform management in medical AI industry.

(2) Data analysis from expert's survey.

There were 8 items with a median value of 3.0 and below or an inter-quartile range of 2 and above. It indicated these elements were general or less important, or the consistency of expert evaluations of the importance of them were general or low. These 8 items should be removed and there were 33 items left.

Among all the elements that evaluated by experts, ten items were considered highly compliant, including “protect medical data privacy”, “develop domain knowledge base”, “cultivate interdisciplinary talents”, “meet demands of segmented scenes”, “integration between clinical demands and AI technology”, “business loop and pilot projects”, “priority to products that have passed project review and approval for entering clinical application”, “develop its own underlying algorithms and large model for industry use”, “provide clinical resources and application scenario”, “commercialization and promotion supports”.

Experts' feedback also suggested augmenting the infrastructure aspect with computing power considerations, recommending the introduction of cloud service providers or public computing power supplies to reduce R&D costs and enhance the platform's innovation capabilities.

2. The proposed management model presents a comprehensive framework including five aspects: infrastructure management, technology innovation management, application scenarios management, policy and regulation management, and platform organization management. All the elements together constitute an efficient, flexible, and sustainable management framework, which helps to promote the rapid development and application of medical AI technology in China.

Results of creating and evaluating management model.

The management model of innovation platform in medical AI industry was created and presented a comprehensive framework encompassing five management aspects: infrastructure management, technology innovation management, application scenarios management, policy and regulation management, and platform organization management.

Infrastructure management forms the groundwork and commences with medical data, algorithms, and computing power. Technology and innovation management, driven by key core technologies and innovation talents, fuels the medical AI ecosystem. Application scenarios management focuses on the clinical application and commercialization of AI in healthcare. Policy and regulation management fosters an innovative yet ethically compliant environment. Finally, platform organization management acts as a central facilitator. It outlines the platform's strategy, promotes open innovation, and fosters collaboration among stakeholders to harness resources, share knowledge, and propel the medical AI industry towards growth and innovation. These components work together to foster a robust organic system for innovation and growth within the medical AI sector.

The management model has passed the evaluation of all experts. Based on the findings, a management model was created and evaluated, consisting of 5 management aspects, 11 management themes and 35 elements as shown in Figure 1.

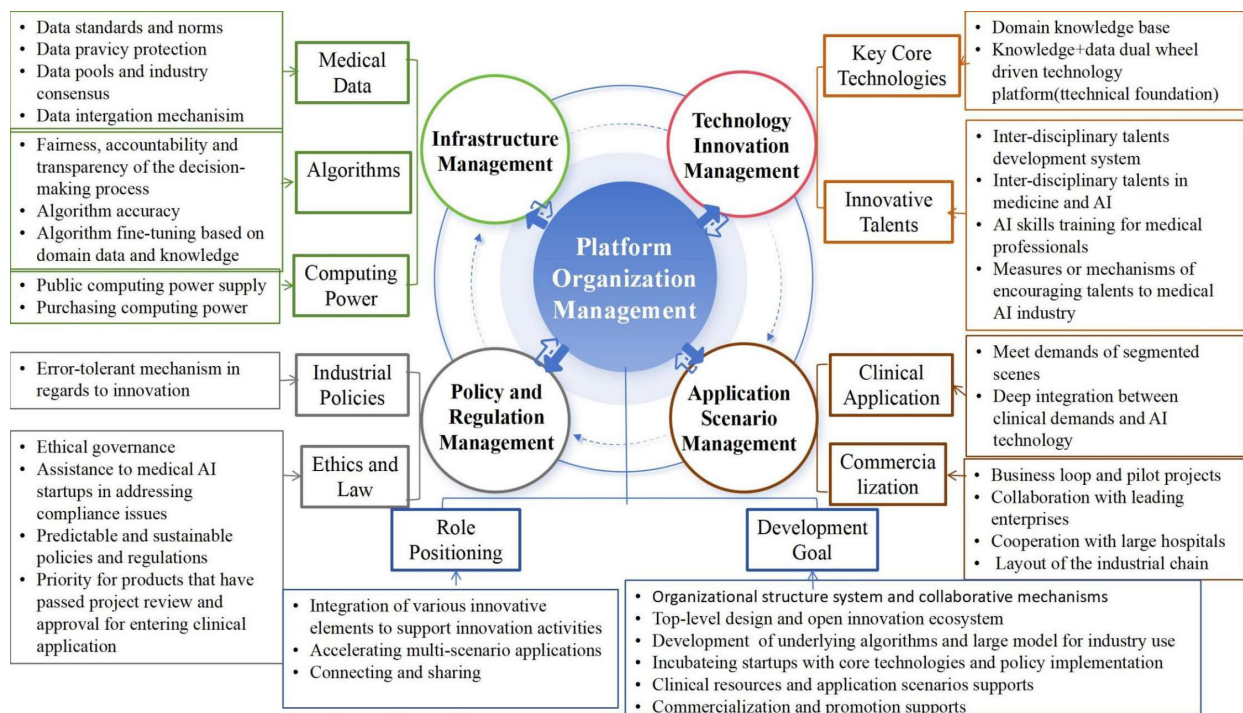


Figure 1 The management model

Discussion

1. A call for the collaboration of various stakeholders in medical AI industry development

The study findings reveal that there are many challenges that seriously constrain the application of medical AI technology and development of medical AI industry. Experts agree on the necessity of a multi-

faceted approach to foster innovation, emphasizing the importance of data privacy, domain knowledge base, interdisciplinary talent, integration between clinical needs and AI technology, the platform organization management. It indicates that the development of innovation industry is influenced by multiple factors which involve stakeholders across multiple sectors—university and research institutes, medical AI companies, healthcare professionals, policymakers, and investors. It highlights the importance of coordinated development among various stakeholders in industrial development (Bombaywala & Riandita, 2015) (Tripathi et al., 2024) (Li, et al., 2022). There is an urgent need for collaboration between stakeholders in order to integrate external knowledge sources in the innovation process (Bombaywala & Riandita, 2015), form multi-actor network and dynamic behavioral relationship (Tsujimotoi et al., 2018), with each actor playing a distinct role (Tripathi et al., 2024). Stakeholders collaboration could cultivate interdisciplinary talents both in quantity and quality, develop data standardization and security policies that well matched to the needs of the medical practice and aligned with products and technologies currently being developed in the market.

2. How the innovation platform has been utilized to facilitate the development of medical AI industry. The research results show the crucial role of the innovation platform in the medical AI ecology, serving as connector, enabler, and toolbox for collaboration, knowledge sharing, and resource access, organized as an innovative business ecosystem (Gawer, Cusumano. 2014) (Tsujimotoi, et al., 2018). The success of the platform hinges on defining their unique value propositions and clear road maps, focusing on core competencies like AI algorithm development, clinical scenarios and commercialization supports. Drawing from theories of platform empowerment, industrial symbiosis, and synergy, the study explores how open innovation systems function: facilitation of the innovation process for individual companies and creation of an innovation community (van der Borgh et al., 2012). Value co-creation is central to platform empowerment, which facilitates stakeholder collaboration through structure, organization, technology, and scenarios. Industrial symbiosis emphasizes mutual benefit, driving network evolution for optimal symbiotic energy. Synergy theory underscores efficient collaboration, where the platform ecosystem's overall value exceeds its parts. In order to making good use of innovation platforms to facilitate industry development, innovation platform should establish collaborative mechanisms and organizational structures to attract stakeholders and resources, promoting a synergistic environment for mutual growth.

Recommendations

Practical guidelines: develop practical and feasible guidelines based on the management model and select pilot implementation, making it a model for the innovation platform management in medical AI industry.

Performance Evaluation: develop a framework for evaluating the performance of innovation platform, which focus on developing metrics and indicators to assess the effectiveness, efficiency, and sustainability of innovation platform management in achieving development goals. There should be a regular reassessment on the management model to incorporate feedback, adapt to changing technologies, environment, and organization, and refine strategies for optimal performance.

References

- Čartolovni, A., Tomičić, A. & Mosler, E. L. (2022). Ethical, Legal, and Social Considerations of AI-based Medical Decision-support Tools: A Scoping Review. *International Journal of Medical Informatics*, 161, 104738, ISSN 1386-5056, <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2022.104738>.
- Chen, X. (2022). Research on the Development Status and Countermeasures of Scientific and Technological Innovation Platform -- Take Zhuzhou City, Hunan Province as an Example. *Technology and market* (11), 41-43.
- Bombaywala, M., Riandita, A. (2015). Stakeholders' Collaboration on Innovation in Food Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 169, 395-399, ISSN 1877-0428, <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.325>.
- Davis Hicks, W., Schmeidler, E. & Kirchner, C. (2004). Investigating Question Meaning and Context Through In-Depth Interviews. *Quality & Quantity* 38, 367–379, <https://doi.org/10.1023/B:QUQU.0000043133.61603.e9>
- Gawer, A., Cusumano, M. A. (2014). Industry Platforms and Ecosystem Innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31, 417-433, ISSN: 0737-6782, <https://doi.org/10.1111/jpim.12105>
- Goluchowicz, K., & Blind, K. (2011). Identification of Future Fields of Standardisation: An Explorative Application of the Delphi Methodology. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), ISSN 1526–1541. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.04.014>.
- Ji, P., Zhu, D., Xiao, P., Xu, W., & Guo, R. (2022). Risk Assessment and Response in Medical Artificial Intelligence Research. *Medicine and Philosophy* (08), 7-9+28.
- Qiu et al. (2023). Large AI Models in Health Informatics: Applications, Challenges, and the Future. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 27,(12), 6074-6087, doi: 10.1109/JBHI.2023.3316750.
- Liao, Z., Tian, X., & Liu, Y. (2021). The Enlightenment of Japan's Medical Big Data Law on the Development and Application of Health and Medical Big Data in China. *Digital Medicine* (07), 88-93.
- Li, C., Yang, K., Lei, Z., Lim, M. K., & Hou, Y. (2022). Exploring Stakeholder Collaboration Based on the Sustainability Factors Affecting the Sharing Economy. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 218-232, ISSN 2352-5509 ,<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.009>.
- Liu, H., Liu, M., Tang, S., Liu, J., Liao, Z., Xu, Y., & Zhou, Y. (2023). Research on the Application and Development of New Infrastructure for Medical Artificial Intelligence China. *Digital Medicine* (08), 1-7

- Lucas, S.R. (2014). Beyond the Existence Proof: Ontological Conditions, Epistemological Implications, and In-depth Interview Research. *Qual Quant* 48, 387–408, <https://doi.org/10.1007/s11135-012-9775-3>.
- Lu Juan (2020). *Opportunities and Challenges of Artificial Intelligence Under New Infrastructure Robotics Industry*. doi: 10.19609/j.cnki.cn10-1324/tp.2020.03.005
- Luo, F. (2021). The Commercialization Dilemma of Artificial Intelligence Healthcare. *Zhangjiang Technology Review*. (05), 40.
- MacDonald, B., I., A., Wright, G., & Hamlin, I. (2019). Improving the Practical Application of the Delphi Method in Group-based Judgment: A Six-step Prescription for a Well-founded and Defensible Process. *Technological Forecasting and Social Change*, 147, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.07.002>.
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi Method as a Research Tool: An Example, design Considerations and Applications. *Information & Management*, 42(1), 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- Orange, R.M. (2003) Individualism, Family Values, and the Professional Middle Class: In-Depth Interviews with Advanced Law and MBA Students. *The Sociological Quarterly*, 44(3), 451-480, DOI: 10.1111/j.1533-8525.2003.tb00541.x
- Reddy, S., Allan, S., Coghlan, S., Cooper, P. (2020). A Governance Model for the Application of AI in Health Care. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 27(3), 491–497, <https://doi.org/10.1093/jamia/ocz192>
- Kafhali, S.E., Alzubaidi, L., Al-Sabaawi, A., Bai, J., Dukhan, A., Alkenani, A.H., AlAsadi, A., Ouyang, J. H.A. & Gu, A. Y. (2023). Towards Risk-free Trustworthy Artificial Intelligence: Significance and Requirements. *International Journal Intelligence. System*, Article ID 4459198, 41 <https://doi.org/10.1155/2023/4459198>
- Shen, X., Li, M., Nan, J., Zhang, W., Sun, Y., Cha, M., & Gao, D. (2023). Analysis of the Development Trend and Problems of Medical Artificial Intelligence. *Science and Technology Management Research* (07), 193-198.
- Shi, Z., & Liu, Z. (2021). Pay Attention to the Standardization of Medical Image Artificial Intelligence Database. *Concord Medical Journal* (05), 599-601.
- Sun, Y., Gao, J., & Wu, J. (2021). Clinical Medical Artificial Intelligence: Typical Applications and Challenges. *Chinese Journal of Stroke*, 16(7).
- Braun, T. & Harasimiuk, D. E. (2023). AI Deployment in Medical Devices-Ethical and Regulatory Reflections, Beyond Data Protection and Bias – EU perspective. *2023 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)*, Eindhoven, Netherlands, 2023, 1-6, doi:10.1109/CIBCB56990.2023.10264892.

- Tripathi, N., Hietala, H., Xu, Y., & Liyanage, R. (2024). Stakeholders Collaborations, Challenges and Emerging Concepts in Digital Twin Ecosystems. *Information and Software Technology*, 169, 107424, ISSN 0950-5849, <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107424>.
- Tsujimoto, M., Kajikawa, Y., Tomita, J., & Matsumoto, Y. (2018). A Review of the Ecosystem Concept — Towards Coherent Ecosystem Design. *Technological Forecasting and Social Change*, 136, 49-58, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.032>.
- Van der Borgh, M., Cloudt, M. & Romme, A.G.L. (2012). Value Creation by Knowledge-based Ecosystems: Evidence from a Field Study. *R&D Manage*, 42, 150-169. ISSN: 0033-6807, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00673.x>
- Von der Gracht, H. A. (2012). Consensus Measurement in Delphi Studies: Review and Implications for Future Quality Assurance. *Technological Forecasting and Social Change*, 79, 1525-1536.
- Wang, H., Chen, Y., & Zhao, K. (2020). The Current Situation of the Development of China's Artificial Intelligence Medical Industry and International Experience. *Health Economics Research* (09), 9-11+15. doi: 10.14055/j.cnki.33-1056/f.2020.09.002.
- Wu Y. (2019). The Application and Reflection of Deep Interview Method in Field Investigation of White Deer. *Plain New West* (15), 31-34
- Yang, S., & Sun, F. (2005). In Depth Interviews as a Means of Exploration. *Sociological Research* (05), 53-68+244 Doi: 10.19934/j.cnki.shxyj.2005.05.003
- Yuan, J., Zhao, L., & Tian, D. (2020). The Application and Thinking of the new Generation of Artificial Intelligence in the Medical and Health Field. *China Journal of Health Information Management* (06), 780-785.
- Zhao, Z., & Zhuang, X. (2023). High Quality Development of Artificial Intelligence in China. *Current Situation, Problems and Strategies Reform* (09), 11-20
- Zhu, W., & Lv, W. (2022). Development Status and Prospect of Medical AI. *Radiological Practice* (01), 1-3. doi: 10.13609/j.cnki. 1000-0313.2022.01.001.



JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

THONBURI UNIVERSITY

Thonburi University

248 Phetkasem 110 Nongkhaengphlu,
Nongkhaem District, Bangkok - 10160