



วารสารวิชาการ เทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

ปีที่ 8 ฉบับที่ 2 : กรกฎาคม – ธันวาคม 2564 / Vol. 8, No.2, July - December 2021

บทความ

หน้า

- 1 การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ
นุชรรัตน์ นุชประยูร ไพฑูรย์ จันทรเรือง และ มงคล ณ ลำพูน 1
- 2 การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนด้วยโอโซน
ธิดาพร ศรีไทย ปาริชาติ จันเสน สร้อยทอง พาลพล ปวีณา ลิ้มปีที่ปรากฏ และวิภาดา เตชะปัญญา 12
- 3 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สังหารระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอตฮอคที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ชัยพร อัดโตดดร และ นิตติคม อริยพิมพ์ 23
- 4 การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสี่ยงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกของโรงงานแห่งหนึ่ง จังหวัดราชบุรี
ณัฐพล พิมพ์พรมมา 36
- 5 ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย
เชษฐภักดิ์ ปัญญะวงษ์ ณัฐนันท์ พิมพ์ รวมพล จันทศาสตร์ ชุติมาพร หมอนใหญ่ นพดล คุรุวัชรพงศ์
นิตกรกรณ์ วงศ์สอนธรรม และ เรกซ์ เซตวิก รุ่งเรือง 45
- 6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขนส่ง
ในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19
ณรงค์ฤทธิ์ ยัมเจริญพรสกุล รวมพล จันทศาสตร์ ณวิวรรณ ปุรานธิ์ และ ลาวลย์ ต้นสกุลรุ่งเรือง 58
- 7 การคัดเลือกผังโรงงานด้วยวิธีการกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ กรณีศึกษา กระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า
ณัฐพล บุญรักษ์ ยศวัฒน์ ชีววรรณตรี และ วิโรจน์ ต้นดักทโร 68
- 8 การศึกษาจุดคุ้มทุนระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงาน
สุทัศน์ ศิลาเกษ ดุสิต งามรุ่งโรจน์ กิตติ เกื้อสกุล โกวิท กัลยาทอง จงจิตร หิรัญลาภ
สุเมธ สถิตบุญอนันต์ โจเซฟ เคดาร์ นุภาพ แยมไทรพัฒน์ โยธิน อึ้งกุล สิทธิพร ใหญ่ธนายศ
และปรีดา จันทวงษ์ 79

สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม



วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

Journal of Energy and Environment Technology of Graduate School Siam Technology College

ISSN 2392-5701

วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม จัดทำโดย บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม เพื่อเป็นสื่อในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ความรู้และวิทยาการ ทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม เป็นต้น วารสารเปิดรับบทความจาก ภายในและภายนอก รวมถึงต่างประเทศ แบบเต็มรูปแบบ (Full Paper) รวมถึงบทความวิชาการ (Review Articles) บทความที่เสนอมาอาจเขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษก็ได้ วารสารจัดพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม - มิถุนายน และ เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม สามารถส่งต้นฉบับ ได้โดยตรงที่บรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามที่อยู่ด้านล่าง โดยบทความดังกล่าวจะต้องไม่เคยเผยแพร่ในวารสารอื่นมาก่อน และเป็นข้อคิดเห็นของผู้ส่งบทความเท่านั้น

เจ้าของ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม	
ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรพิสุทธิ์ มงคลวนิช รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ ดวงเดือน	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
บรรณาธิการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุกฤต ปานชลธิ	วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
กองบรรณาธิการ	ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ รองศาสตราจารย์ ดร.ปริดา จันทวงษ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปราการเจริญ รองศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ ต่วงทองสุข รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายพิน ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุโกศล วโนทยาพิทักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิทธิพันธ์ ไชยนันท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จงสุพรรณพงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปัญญา สำราญพันธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน ดร.ดิณณภพ จุ่มอิน ดร. ชัยพร ทบแป ดร.ณัฐวุฒิ อินทบุตร ดร.วีระ ศรีอริยะกุล ดร.สุนทร แสงเพชร ดร.สุรชาติ จันทระชิต ดร.เชษฐภักดิ์ ปัญญาวิชรวงศ์ ดร.สุทธิลักษณ์ ชุนประวดี อาจารย์ธเนศ วิลาสมงคลชัย อาจารย์จิรวัฒน์ กรุณา อาจารย์สงกรานต์ ภารกุล อาจารย์อองอาจ วิเศษสุข อาจารย์วิชญ์ บุญมาก อาจารย์ประจักษ์ พรหมงาม นางสาววิภาภรณ์ บุญเลี้ยง	มหาวิทยาลัยปทุมธานี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Xian Jiaotong University วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม มหาวิทยาลัยธนบุรี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

วัตถุประสงค์

- เพื่อสนับสนุนและกระตุ้นให้มีการเขียนผลงานทางวิชาการ
- เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการของคณาจารย์ นักวิชาการ และนักศึกษา ทั้งภายในและภายนอก
- เพื่อเป็นสื่อกลางทางการศึกษา ค้นคว้า และเผยแพร่ความรู้ทางวิชาการ

การส่งบทความ

- ส่งไฟล์ทาง E-mail (MS Word และ PDF) ไปที่ jeet.stc@gmail.com และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>
- ทางเว็บไซต์ของวารสาร <http://jeet.siamtechu.net/> และ <https://www.tci-thaijo.org/index.php/JEET/>

กำหนดออกวารสาร

ปีละ 2 ฉบับ ในเดือน มกราคม และ มิถุนายน

พิมพ์ที่

บริษัท แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตปอเรชั่น จำกัด
99/164 ถนนแจ้งวัฒนะ แขวงทุ่งสองห้อง เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ 025751791 โทรสาร 025751793 เว็บไซต์ www.protexts.com

การเผยแพร่

จัดส่งให้กับห้องสมุด งานบริการวิชาการ หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
และเผยแพร่ทางเว็บไซต์ jeet.siamtechu.net

สำนักงาน

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
เลขที่ 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ 10 แขวงท่าพระ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600 โทรศัพท์ 02-878-5048 แฟกซ์: 02-878-5002

“บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น”

บทบรรณาธิการ

ในฐานะที่วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ได้จัดเผยแพร่วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม ฉบับนี้เป็นปีที่ 8 ฉบับที่ 2 (เดือน กรกฎาคม ถึง เดือนธันวาคม พ.ศ. 2564) โดยเผยแพร่ผลงานวิจัย และบทความวิชาการครอบคลุมด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้ว ปัจจุบันการดำเนินงานภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่าง ๆ มากมาย โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ การเปลี่ยนแปลงทางธรรมชาติ หรือแม้แต่กระทั่งการเกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ ภัยคุกคามของการกำเนิดของโรคอุบัติใหม่ ที่ส่งผลต่อการดำรงชีพในปัจจุบัน

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ได้ให้ความสำคัญ และตระหนักต่อการนำองค์ความรู้มาบูรณาการสร้างคุณประโยชน์สู่สังคม ซึ่งเป็นการนำเสนอความคิดเชิงสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาผ่านองค์ความรู้ในศาสตร์ต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ มุ่งเน้นในเชิง “คุณค่า” ร่วมกัน ที่มีความสอดคล้องกับบริบท และการส่งเสริม การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ซึ่งกันและกัน นำไปสู่ประโยชน์ต่อสังคม ประเทศชาติอย่างไม่มีที่สิ้นสุด แสดงให้เห็นถึงความก้าวหน้าทางงานวิจัยที่ครอบคลุมทางด้าน วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม เป็นอย่างดี

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ยินดีรับบทความที่มีความประสงค์จะเผยแพร่ / ตีพิมพ์ผลงานวิจัย และผลงานทางวิชาการ เพื่อเป็นศูนย์กลางในการเผยแพร่ให้เป็นที่รู้จักมากยิ่งขึ้น โดยขอความร่วมมือกับผู้ส่งบทความให้ตระหนัก และเห็นความสำคัญต่อคุณภาพของบทความอย่างเคร่งครัดเป็นไปตามรายละเอียด กฎเกณฑ์ ขั้นตอน การดำเนินงานของวารสาร

ท้ายสุดนี้ ขอขอบพระคุณ ผู้ทรงคุณวุฒิ คณะที่ปรึกษา ผู้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ตลอดจนผู้อ่าน ที่ให้ความสนใจในงานวิจัย และนำไปใช้ประโยชน์จากวารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งคณะผู้ดำเนินงานจะพัฒนาวารสารวิชาการให้ได้รับการรับรองมาตรฐานในระดับที่สูงขึ้นต่อไป



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รูกฤต ปานชลธิป

บรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงานและสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

บทความ	หน้า
1 การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ	1
นุชรัตน์ นุชประยูร ไพฑูรย์ จันทรเรือง และ มงคล ณ ลำพูน	
2 การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนด้วยโอโซน	12
ธิดาพร ศรีไทย ปาริชาติ จันเสน สร้อยทอง พาลพล ปวีณา ลิ้มปิทีปการ และ วิชาดา เตชะปัญญา	
3 การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สังหารระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอตฮอคที่ควบคุมด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์	23
ชัยพร อัดโตดตร และ นิตติคม อริยพิมพ์	
4 การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสี่ยงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกของโรงงานแห่งหนึ่ง จังหวัดราชบุรี	36
ณัฐพล พิมพ์พรมมา	
5 ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย	45
เชษฐภักดิ์ ปัญญะวัชรวงศ์ ณัฐนันท์ พิมล รวมพล จันทรศาสตร์ ชุตติมาพร หมอนใหญ่, นพดล คุรุวัชรพงศ์ ฉัตรปกรณ วังศ์สอนธรรม และ เรกซ์ เซตวิก รุ่งเรือง	
6 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขนส่ง ในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19	58
ณรงค์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล รวมพล จันทรศาสตร์ ณวิวรรณ ปุราณธิ และ ลาวัลย์ ต้นสกุลรุ่งเรือง	
7 การคัดเลือกผังโรงงานด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ กรณีศึกษา กระบวนการผลิต หม้อแปลงไฟฟ้า	68
ณัฐพล บุญรักษ์ ยศวัจน์ ชีววรรณทรี และ วิโรจน์ ตันติภักโร	

สารบัญ (ต่อ)

บทความ

หน้า

- 8 การศึกษาจุดคุ้มทุนระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงาน

สุทัศน์ ศิลาเกษ ดุสิต งามรุ่งโรจน์ กิตติ เกื้อสกุล โกวิทย์ กัลยาทอง จงจิตร หิรัญลาม
สุเมธ สถิตบุญอนันต์ โจเซฟ เคนดารี นุภาพ แยมไทรพัฒน์ โยธิน อึ้งกุล
สิทธิพร ไญ้ธนาศ และปรีดา จันทวงษ์

79

การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ

DEVELOPMENT OF INFORMATION BASED ON ANIMATED INFOGRAPHICS PRINCIPLE WITH THE COMMUNITY PARTICIPATION IN HEALTH PROMOTION OF AGING

Received: 22 March 2021

Revised: 18 November 2021

Accepted: 27 December 2021

นุชรรัตน์ นุชประยูร^{1*} ไพฑูรย์ จันทร์เรือง² มงคล ณ ลำพูน³

Nuchsharat Nuchprayoon^{1*} Paitoon Janreung² Mongkol N Lumpoon³

¹ อาจารย์สาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² หัวหน้าสาขาวิชาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

³ รองคณบดีคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

*Corresponding author, E-mail: Nuchsharat.n@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพของสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ 3) เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ประชาชนในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี จำนวน 40 คน ใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา ได้แก่ โปรแกรมอะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ อะโดบี แอนิเมชันและอะโดบี อาฟเตอร์เอฟเฟกต์ ใช้แบบประเมินสำหรับหาประสิทธิภาพสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวและประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีลักษณะเป็นสเกล 5 ระดับ ผู้เชี่ยวชาญในการประเมินประสิทธิภาพจำนวน 5 ท่าน สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย พบว่า ผู้วิจัยทำการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่พัฒนาขึ้นมีเนื้อหาส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุเรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม ผลการหาประสิทธิภาพที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ย 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 อยู่ในระดับดี ผลการหาความพึงพอใจที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุมีค่าเฉลี่ย 4.54 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 อยู่ในระดับดีมาก

คำสำคัญ: สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว, หลักการอินโฟกราฟิก, แบบมีส่วนร่วมกับชุมชน, ส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ

ABSTRACT

The research objective was 1) to develop animated information based on community participation infographic principles to promote healthy aging 2) to find the efficacy of animated information based on participatory infographic principles. 3) to study the satisfaction towards animated information based on the principles of community participation infographic for promoting elderly health. Sample group Is people in the area of Moo 6, Tambon Sai Ma, Amphur Muang Nonthaburi, Nonthaburi Province, totaling 40 people used a specific sampling.

Tools used in development are Adobe programs. Illustrator, Adobe Animate, and Adobe Aftereffect. An animated information performance appraisal and user satisfaction assessment with 5-Point Rating Scale, 5 experts in performance evaluation. The statistics used are mean, standard deviation.

The results of the research revealed that development of information based on animated Infographics Principle with the community participation in Health Promotion of Aging Topic is Osteoarthritis. Results of expert evaluated efficacy have a mean 4.35, standard deviation of 0.46 is good. User satisfaction results were a mean 4.54, standard deviation of 0.51 was very good.

Keywords: Information based on animated, Infographics, Community Participation, Health Promotion of Aging

1. บทนำ

สถานการณ์ประชากรโลกที่ได้รับความสนใจในปัจจุบันคือแนวโน้มประชากรโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องเข้าสู่ "สังคมผู้สูงอายุ" (Aging Society) ด้วยความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์และสาธารณสุขรวมถึงมีการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามาช่วยในการรักษาผู้ป่วย ส่งผลให้ประชากรมีอายุยืนยาวขึ้น ขณะที่อัตราการเกิดลดลง สัดส่วนของผู้สูงอายุจึงมีมากขึ้นเป็นลำดับ จากนิยามของสหประชาชาติ เมื่อประเทศใดมีประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มีสัดส่วนเกินร้อยละ 10 หรืออายุ 65 ปีขึ้นไปเกินร้อยละ 7 ถือว่าประเทศนั้นได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) และจะเป็นสังคมผู้สูงอายุโดยสมบูรณ์ (Aged Society) เมื่อสัดส่วนดังกล่าวเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ 24 ตามลำดับ (ชมพูนุท พรหมภักดี, 2556 : หน้า 1) จากการคาดการณ์ของสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติและหน่วยงานอื่น ๆ ทั้งภายในประเทศและองค์กรระหว่างประเทศพบว่า ในอีก 3 ปีข้างหน้า คือ ในปี 2563 ประเทศไทยจะมีประชากรสูงวัย จำนวน 12.6 ล้านคน จากจำนวนประชากรรวม 66.0 ล้านคน และคิดเป็น 19.1% ของประชากรทั้งหมด ในขณะที่เดียวกันจำนวนประชากรในวัยเริ่มเข้าทำงาน (15-19 ปี) และ 20-24 ปี จะมีจำนวนน้อยกว่าประชากรวัยที่จะออกจากวัยแรงงาน (รุ่น 50-54 ปี และ 55-59 ปี) ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศเพื่อนบ้านในอาเซียน (ชนภรณ์ จิตตินันทน์และณัฏฐกานต์ กุลนาถศิริ, 2560) ซึ่งจะมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศที่เด่นชัดคือ 1) การลดลงของจำนวนประชากรโดยรวม จากข้อมูลของสหประชาชาติได้ประมาณการณ์ว่าจำนวนประชากรของไทยจะลดลงไปเรื่อย ๆ จาก 67.2 ล้านคนในปี 2557 และจะลดลงถึง 61.7 ล้านคนในปี 2592 สัดส่วนของประชากรในวัยแรงงานที่เป็นกำลังสำคัญในการผลักดันการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจจะเริ่มลดลง จากการสำรวจประชากรโดยสำนักงานสถิติแห่งชาติ (ชมพูนุท พรหมภักดี, 2556 : 9) พบว่าผู้สูงอายุในประเทศไทยส่วนใหญ่มีปัญหาด้านสุขภาพ กลุ่มโรคที่ผู้สูงอายุป่วยมาก 3 อันดับแรก คือ กลุ่มโรคระบบกล้ามเนื้อเส้นเอ็น กระดูกและข้อ กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ และกลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือด ส่วนสาเหตุการตายของผู้สูงอายุที่สำคัญ คือ โรคเมเร็งทุกชนิด โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง หลอดลมอักเสบและปอดอักเสบ นอกจากนี้ผู้สูงอายุยังมีแนวโน้มพิการมากขึ้น จากร้อยละ 5.8 ในปี 2544 เป็นร้อยละ 15.3 ในปี 2550 โดยความพิการที่พบมาก คือ สายตาเลือนรางทั้งสองข้าง หูตึงสองข้างและอัมพฤกษ์ โรคดังกล่าวนี้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายในการรักษาค่อนข้างสูงและยากที่จะรักษาให้หายขาด โดยเฉพาะผู้สูงอายุที่มีฐานะทางการเงินที่ไม่ดีเยี่ยมไม่สามารถเข้ารับบริการทางการแพทย์ที่ดีได้ จึงเป็นภาระแก่บุตรหลานและส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตทั้งผู้สูงอายุเองและบุคคลในครอบครัว

จากการที่ผู้วิจัยได้มีโอกาสลงพื้นที่เพื่อเก็บข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้ได้พูดคุยกับผู้นำชุมชนถึงเรื่องราวทั่วไปในชุมชนรวมถึงปัญหาของชุมชน พบว่าปัญหาสุขภาพของผู้สูงวัยเป็นปัญหาหนึ่งที่ผู้นำชุมชนเห็นว่ากำลังเข้าสู่ภาวะที่น่าเป็นห่วง เนื่องจากปัจจุบันที่จำนวนผู้สูงวัยในชุมชนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอมะนัง จังหวัดน่าน ประกอบด้วย 2 ชุมชน คือ ชุมชนบางอ้อและชุมชนบางประดู่ มีประชากรอาศัยอยู่จริงประมาณพันกว่าคน ประชาชนส่วนใหญ่ที่อาศัยอยู่เป็นคนในพื้นที่แต่เดิมที่อยู่อาศัยอยู่มาตั้งแต่รุ่นปู่ย่าตายาย ปัจจุบันชุมชนมีประชากรที่อายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวนร้อยละ 30-40 ของจำนวนประชากรที่อยู่อาศัยจริงทั้งหมด โดยประชากรที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไปถือว่า

เป็นผู้สืบทอดตามคำจัดความของสหประชาชาติ แม้ในพื้นที่จะมีเจ้าหน้าที่สาธารณสุขคอยดูแลให้คำแนะนำในเรื่องสุขภาพอนามัย รวมถึงแจกเอกสารแพร่ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพแต่เอกสารความรู้เหล่านั้นยังไม่ตอบสนองความต้องการเท่าที่ควร ประชากรในพื้นที่ยังต้องการความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับการวิธีการป้องกัน การดูแลตัวเองเพื่อลดปัญหาที่จะเกิดขึ้นเกี่ยวกับสุขภาพ รวมถึงดูแลรักษาสุขภาพของผู้สูงอายุในครอบครัว เนื่องจากมีชาวบ้านบางคนอ่านหนังสือไม่ออก บางคนสายตาไม่คมมองตัวอักษรในเอกสารไม่ชัดทำให้อ่านไม่ได้ บางคนอ่านแล้วไม่เข้าใจ เอกสารเผยแพร่มีจำนวนจำกัด ชาวบ้านได้รับเอกสารเผยแพร่ไม่ทั่วถึง เอกสารเผยแพร่หากเก็บเอาไว้เป็นเวลานานก็เกิดการสูญหาย ขาดหรือชำรุด ทำให้เวลาที่ต้องการใช้งานไม่สามารถนำเอกสารเผยแพร่ดังกล่าวมาใช้งานได้

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการดูแลสุขภาพของผู้สูงอายุมาพัฒนาเป็นสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ ซึ่งสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกพัฒนาขึ้นจะเกิดประโยชน์ต่อประชาชนในชุมชนต่าง ๆ ตลอดจนผู้ที่สนใจ อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้เจ้าหน้าที่สาธารณสุขนำมาใช้ประกอบการอธิบายให้ความรู้เกี่ยวกับการดูแลสุขภาพผู้สูงอายุ เนื่องจากสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกเป็นการบอกเล่าเนื้อหาความรู้ที่เป็นภาพเคลื่อนไหวมีเสียงประกอบที่กระชับ เข้าใจง่าย น่าสนใจ สะดวกในการเข้าถึงข้อมูล สามารถดูได้ทุกที่ทุกเวลา นอกจากนี้การที่ชุมชนมีส่วนร่วมในกระบวนการพัฒนาส่งผลให้สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกที่พัฒนาขึ้นตอบสนองความต้องการของชุมชนอย่างแท้จริง

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพของสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ
- 2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

- 3.1 กลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
 - 3.1.1 กลุ่มประชากร
ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอมะนัง จังหวัดน่าน
 - 3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง
ผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) กลุ่มผู้ดูแลผู้สูงอายุ ผู้สูงอายุและประชาชนทั่วไปที่พักอาศัยในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอมะนัง จังหวัดน่าน จำนวน 40 คน ใช้การเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
 - 3.2.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาสื่อ ประกอบด้วย
 - 1) อะโดบี อิลลัสเตรเตอร์ (Adobe Illustrator) เป็นซอฟต์แวร์สำหรับสร้างภาพกราฟิกในรูปแบบ Vector โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ คุณภาพของผลงานที่สร้างขึ้นนั้น จะไม่มีปัญหาเรื่องความละเอียดในการแสดงภาพตามสื่อต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นไปขยาย หรือลดแค้ไหนก็ตาม ภาพจะไม่เสียความละเอียดหรือความคมชัด
 - 2) อะโดบี แอนิเมชัน (Adobe Animate CC) โปรแกรมสำหรับสร้างแอนิเมชันบนเว็บไซต์ที่สามารถนำไปดูบนสมาร์ทโฟน แท็บเล็ต และรองรับการใช้งานกับ EPUB หรือ Apple iBook ได้ ใช้พัฒนาไฟล์ภาพเคลื่อนไหว หรือ

อนิเมชันบนเว็บไซต์ ที่เรียกกันว่า "Web Animation" และสามารถสร้าง Interactive หรือการโต้ตอบกับผู้เข้าเยี่ยมชมเว็บไซต์ได้ด้วย ซึ่งก็ได้พัฒนาต่อยอดมาจาก Adobe Flash Professional

3) อะโดบี เอฟเตอร์เอฟเฟกต์ (Adobe After Effects) เป็นโปรแกรมประยุกต์เกี่ยวกับการสร้างกราฟิกเคลื่อนไหว, ภาพเอฟเฟกต์ และคอมโพสิตในระบบดิจิทัล ผลิตโดยบริษัทอะโดบีซิสเต็มส์ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเบื้องหลังของการสร้างภาพยนตร์ และรายการโทรทัศน์ การใช้งานหลักคือการก่อกำเนิดแอนิเมชันแบบ 2 มิติ และ 2.5 มิติ, องค์ประกอบภาพเอฟเฟกต์ และการตกแต่ง

3.2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพของสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่พัฒนาขึ้น โดยมีลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ โดยนำแบบประเมินคุณูปการที่สร้างขึ้นไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาว่าข้อคำถามนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการหาค่าความสอดคล้อง (Index of Item – Objective Congruence: IOC)

3.2.3 แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุสำหรับผู้ใช้ในการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวที่พัฒนาขึ้น ลักษณะเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ แล้วนำแบบประเมินที่สร้างขึ้นให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ตรวจสอบว่าข้อคำถามมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยการหาค่าความสอดคล้อง (IOC)

3.3 วิธีการพัฒนาและเก็บรวบรวมข้อมูล ขั้นตอนการพัฒนาและเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้

3.3.1 ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ มีขั้นตอนการพัฒนาตามหลักการวิเคราะห์และออกแบบ (System Development Life Cycle) คือ การวิเคราะห์ (Analysis) การออกแบบ (Design) การพัฒนา (Development) การทดสอบ (Testing) และการประเมินผล (Evaluation)

3.3.2 นำสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่พัฒนาเรียบร้อยแล้วไปให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินหาประสิทธิภาพเพื่อให้ได้สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสม

3.3.3 ผู้วิจัยนำสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุที่ผ่านการประเมินประสิทธิภาพไปปรับปรุงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ จากนั้นจึงนำไปให้ประชาชนที่อาศัยในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา ทดลองใช้เป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยผู้วิจัยได้อัปโหลดผ่านยูทูป และแชร์ลิงค์ผ่านทางไลน์เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึง

3.3.4 ดำเนินการลงพื้นที่เก็บข้อมูล โดยก่อนการเก็บข้อมูลได้ชี้แจงวัตถุประสงค์ในการวิจัยให้กลุ่มตัวอย่างให้ทราบ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้วิธีการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจงจากประชากรที่พักอาศัยในพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี จำนวน 40 คน อันประกอบด้วย ผู้นำชุมชน อาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน (อสม.) กลุ่มผู้ดูแลผู้สูงอายุและผู้สูงอายุ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ตามวิธีการทางสถิติ และสรุปผลการวิจัยต่อไป

3.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล สถิติที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

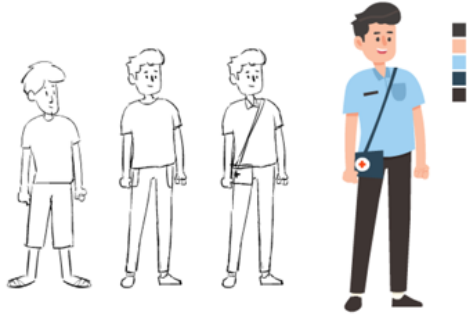
4. ผลการวิจัย

จากการศึกษารวบรวมความต้องการและการให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุของผู้อาศัยในชุมชนพื้นที่หมู่ 6 ตำบลไทรมา ถึงหัวข้อที่ชุมชนมีความต้องการ ทำให้ทราบถึงว่าชุมชนต้องการความรู้ ความเข้าใจและข้อมูลเกี่ยวข้องกับโรคข้อเข่าเสื่อม เนื่องจากโรคข้อเข่าเสื่อมเป็นโรคที่พบมากในกลุ่มผู้สูงอายุ ซึ่งปัจจุบันจำนวนประชากรในชุมชนมีผู้สูงอายุและกำลังจะเข้าสู่ภาวะผู้สูงอายุจำนวน

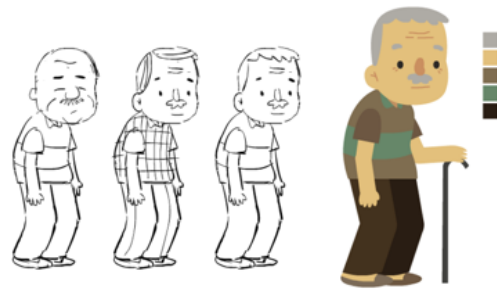
มาก ทำให้การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเลือกเรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม มาทำการพัฒนาเป็นสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว โดยมีผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลการพัฒนาการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกแบบมีส่วนร่วมกับชุมชนเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม ผู้วิจัยดำเนินการดังนี้

4.1.1 ออกแบบตัวละคร ดังแสดงในรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 การออกแบบตัวละครเจ้าหน้าที่สาธารณสุข



รูปที่ 2 การออกแบบตัวละครผู้สูงอายุ

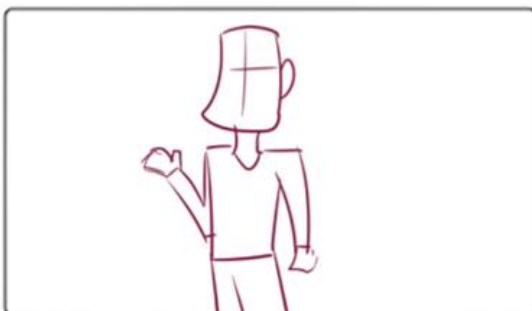
4.1.2 ออกแบบเค้าโครงเรื่องด้วยการเขียนแผนผังเรื่อง (Story Board) ดังแสดงในรูปที่ 3 – รูปที่ 8



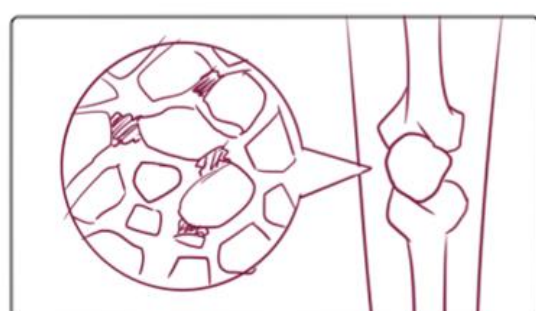
รูปที่ 3 แสดงชื่อเรื่องงานวิจัย



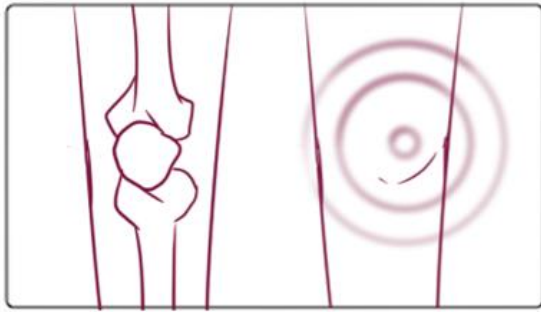
รูปที่ 4 ตัวละครผู้สูงอายุ



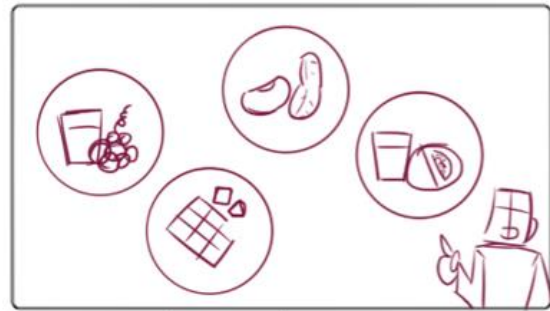
รูปที่ 5 ผู้บรรยายอธิบายเนื้อหา



รูปที่ 6 สาเหตุการเกิดข้อเข่าเสื่อม

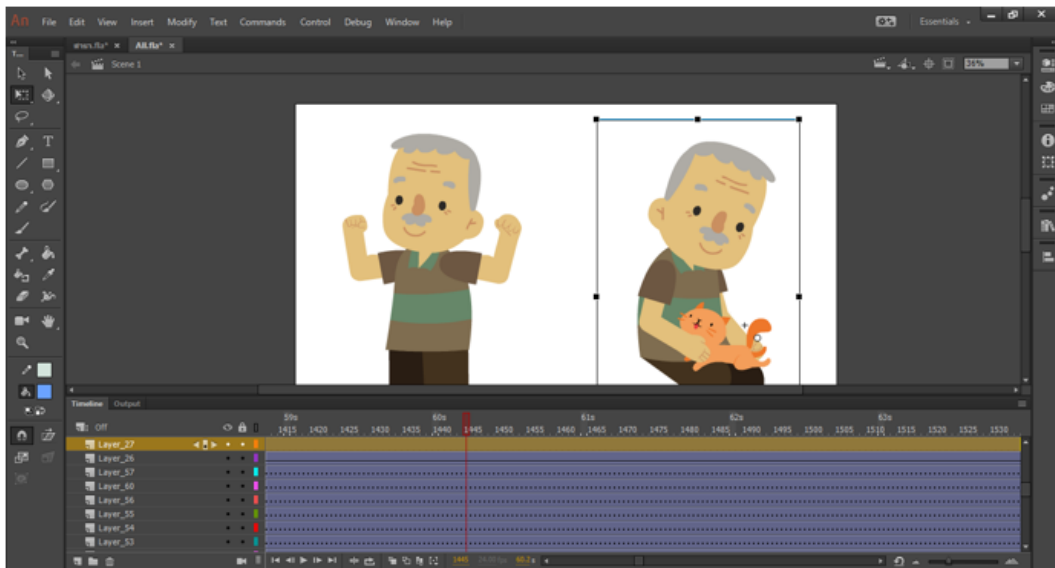


รูปที่ 7 อาการของโรคข้อเข่าเสื่อม

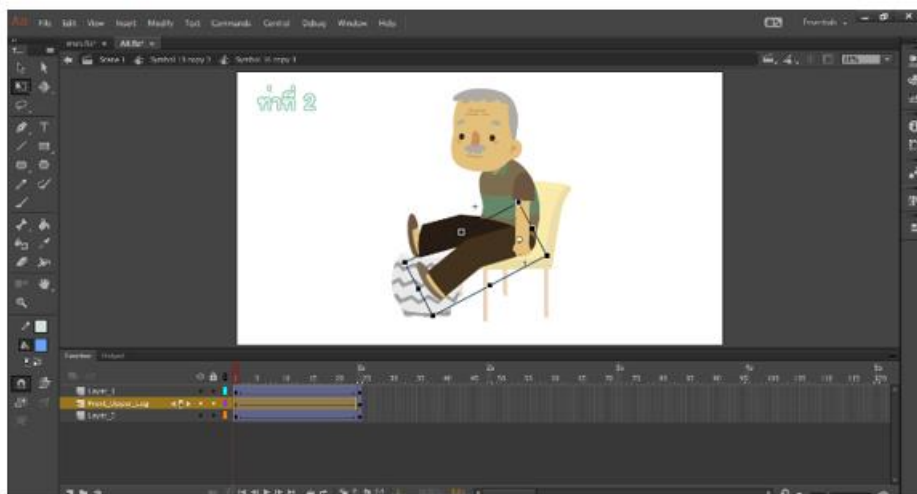


รูปที่ 8 อาหารที่ควรรับประทาน

4.1.3 การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงอายุ เรื่องโรคข้อเข่าเสื่อม ดังแสดงในรูปที่ 9 - รูปที่ 12



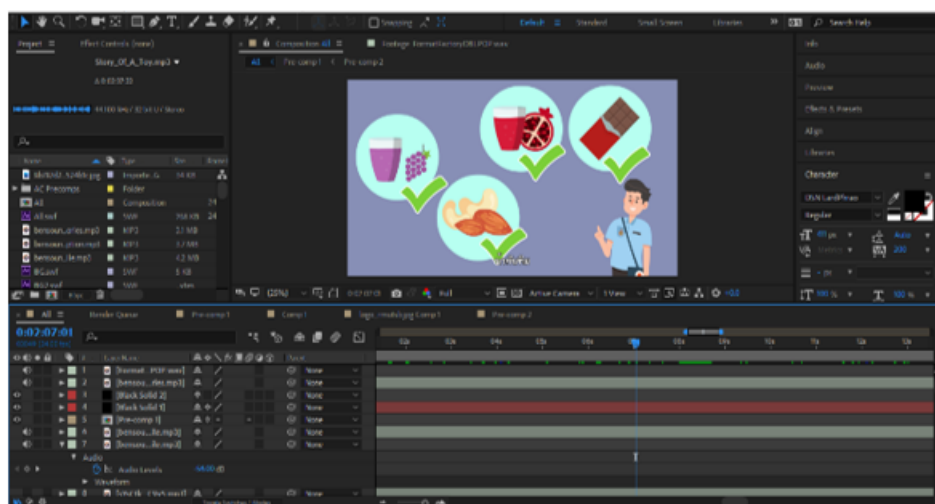
รูปที่ 9 การทำให้ร่างกายของตัวละครขยับ



รูปที่ 10 การทำให้ขาของตัวละครขยับ



รูปที่ 11 ขั้นตอนการลำดับภาพและเสียง (จากเกริ่นนำเข้าสู่เนื้อหา)



รูปที่ 12 ขั้นตอนการลำดับภาพและเสียง (จากอาหารที่ควรรับประทาน)

4.2 ผลการหาประสิทธิภาพของการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกฯ เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยผู้วิจัยดำเนินการหาประสิทธิภาพของสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว โดยนำการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกฯ เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่องโรคข้อเข่าเสื่อม โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน ทำการประเมินประสิทธิภาพ ผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่า รายการประเมินที่มีระดับคุณภาพดีมากสูงสุดเท่ากัน คือ เนื้อหา มีความสอดคล้องกับชื่อเรื่องที่น่าสนใจ และระยะเวลาในการดำเนินเรื่องเหมาะสม มีค่าเฉลี่ย 4.80 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.44 ลำดับรองลงมา คือ เนื้อหาครบถ้วนสามารถนำไปใช้เรียนรู้ได้ด้วยตนเองและช่วยส่งเสริมความรู้และสามารถนำไปปฏิบัติตามได้จริง มีค่าเฉลี่ย 4.60 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.54 ในภาพรวมสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกฯ ที่พัฒนาขึ้นมีคุณภาพในระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม

รายการการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1. เนื้อหามีความสอดคล้องกับข้อเรื่องที่นำเสนอ	4.80	0.44	ดีมาก
2. เนื้อหาครบถ้วนสามารถนำไปใช้เรียนรู้ได้ด้วยตนเอง	4.60	0.54	ดีมาก
3. ช่วยส่งเสริมความรู้และสามารถนำไปปฏิบัติตามได้จริง	4.60	0.54	ดีมาก
4. เนื้อหามีความทันสมัยเหมาะสมกับปัจจุบัน	4.20	0.44	ดี
5. เนื้อหามีความถูกต้อง สอดคล้องกับหลักวิชาการ	4.20	0.83	ดี
6. การเขียนบทเพื่อใช้ในการดำเนินเรื่องเหมาะสม	4.40	0.54	ดี
7. การออกแบบตัวละครและฉากทันสมัย สวยงาม	4.20	0.83	ดี
8. การเลือกใช้โทนสีในเนื้อเรื่องมีความเหมาะสม	4.20	0.44	ดี
9. การสะกดคำ ขนาดตัวอักษรมีความถูกต้อง เหมาะสม	4.00	0.00	ดี
10. การลำดับภาพแต่ละฉากมีความต่อเนื่อง	4.20	0.44	ดี
11. ภาพกับเสียงบรรยายประกอบสอดคล้องกัน	4.40	0.54	ดี
12. การพากย์เสียงบรรยายชัดเจนและใช้คำได้เหมาะสม	4.00	0.00	ดี
13. เสียงดนตรีประกอบที่ใช้เหมาะสม ชัดเจน	4.40	0.54	ดี
14. ระยะเวลารวมในการดำเนินเรื่องเหมาะสม	4.80	0.44	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	4.35	0.46	ดี

4.3 ผลการหาความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่องโรคข้อเข่าเสื่อม

ผลการประเมินระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่องโรคข้อเข่าเสื่อมที่พัฒนาขึ้น ทำการประเมินโดยผู้ใช้ จำนวน 40 คน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิก เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่องโรคข้อเข่าเสื่อม

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
1. เนื้อหากับหัวข้อเรื่องที่นำเสนอมีความสอดคล้องกันระดับใด	4.65	0.57	มากที่สุด
2. ข้อมูลในเนื้อหามีการอ้างอิงตามหลักวิชาการอย่างถูกต้องระดับใด	4.55	0.50	มากที่สุด
3. เนื้อหาเข้าใจง่าย รายละเอียดที่ชัดเจนตรงประเด็นและความน่าสนใจระดับใด	4.42	0.50	มาก
4. ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้และการจดจำในระดับใด	4.67	0.47	มากที่สุด
5. การลำดับเรื่อง ปริมาณเนื้อหาเหมาะสมในระดับใด	4.40	0.49	มาก

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความหมาย
6. การตัวละครและฉากต่าง ๆ สามารถการออกแบบได้อย่างสวยงามและทันสมัยระดับใด	4.55	0.50	มากที่สุด
7. การพากย์เสียงตัวละคร การใช้เสียงบรรยายมีความชัดเจนภาษาที่ใช้ถูกต้อง เข้าใจง่ายในระดับใด	4.50	0.55	มากที่สุด
8. เสียงดนตรีประกอบมีความชัดเจนและเหมาะสมในระดับใด	4.47	0.55	มาก
9. ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายได้ดีสอดคล้องกับเนื้อหาในระดับใด	4.67	0.52	มากที่สุด
10. ระยะเวลานำเสนอมีความเหมาะสมในระดับใด	4.52	0.55	มากที่สุด
11. ท่านคิดว่าสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้ให้ความรู้สนุกสนานและเพลิดเพลินในระดับใด	4.70	0.51	มากที่สุด
12. ท่านสามารถเข้าถึงและเปิดรับชมสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้ได้สะดวกมากน้อยเพียงใด	4.45	0.55	มาก
13. ท่านได้รับความรู้และความเข้าใจจากเนื้อหาที่น่าสนใจในสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้ ในระดับใด	4.42	0.54	มาก
14. ท่านสามารถนำความรู้ที่ได้ไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันด้วยตนเองได้มากน้อยเพียงใด	4.52	0.55	มากที่สุด
15. ท่านคิดว่าสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้ มีความเหมาะสมเพียงใดที่จะนำมาใช้ช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย	4.70	0.46	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยโดยรวม	4.54	0.51	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่าผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม รายการประเมินผู้ที่มีความพึงพอใจมากที่สุดลำดับแรก คือ สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้มีความเหมาะสมเพียงใดที่จะนำมาใช้ช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยมีค่าเฉลี่ย 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 และสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้ให้ความรู้สนุกสนาน เพลิดเพลินและสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยมีค่าเฉลี่ย 4.70 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51 ลำดับรองลงมา คือ ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้และการจดจำมีค่าเฉลี่ย 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.47 และภาพประกอบสามารถสื่อความหมายได้ดีสอดคล้องกับเนื้อหา มีค่าเฉลี่ย 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.52 ในภาพรวมสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกที่พัฒนาขึ้นมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ย 4.54 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.51

5. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยสรุปผลที่ได้จากการดำเนินการวิจัย เรื่อง การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย ดังนี้

5.1 การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม ที่พัฒนาขึ้นมีผลการประเมินประสิทธิภาพในภาพรวมอยู่ในระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.35 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.46 การพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการพัฒนาตัวละคร ภาพเคลื่อนไหวตามขั้นตอนเพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพ โดยนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบและให้ข้อเสนอแนะที่มี

ประโยชน์ในการนำไปแก้ไขปรับปรุง เพื่อให้ผลงานที่มีคุณภาพและเหมาะสมกับการนำมาใช้ส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม สอดคล้องกับผลงานวิจัยของดาวธนา วีระพันธ์และณัฐรดี อนุพงศ์ (2560) การพัฒนาสื่อการเรียนรู้การดูแลสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการวิจัย พบว่า ผลการประเมินคุณภาพสื่อการเรียนรู้การดูแลสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ มีค่าเฉลี่ยรวม 4.31 ซึ่งระดับคุณภาพอยู่ในระดับดี

5.2 การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิก เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัย เรื่อง โรคข้อเข่าเสื่อม พบว่า สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวตามหลักการอินโฟกราฟิกทำให้ผู้ใช้สารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวให้ความรู้สึกสนุกสนาน เพลิดเพลินและสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวที่พัฒนาขึ้นมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยและผู้ที่มีความเห็นว่าสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวนี้มีความเหมาะสมที่จะนำมาช่วยส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ย 4.70 ทั้งนี้เนื่องจากสื่อนำเสนอเนื้อหาที่เข้าใจง่าย การลำดับเรื่องมีความน่าสนใจ สนุกสนาน เพลิดเพลิน ช่วยกระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้และการจดจำ ภาพประกอบสามารถสื่อความหมายได้ดีสอดคล้องกับเนื้อหา นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและเปิดรับชมได้สะดวกตลอดเวลาที่ต้องการ จึงส่งผลให้ผู้ใช้เกิดความพึงพอใจ สอดคล้องกับงานวิจัยของปฎมา วรณกุล (2550) การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้ เรื่องเศรษฐกิจพอเพียงให้แก่นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนหน้าพระลาน (พิบูล สงเคราะห์) จังหวัดสระบุรีผลการศึกษา พบว่า นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องเศรษฐกิจพอเพียง ตามแนวพระราชดำริ อยู่ในระดับผลการเรียนดีเยี่ยม ผู้ใช้มีความพึงพอใจในการเรียนรู้ผ่านสื่อมัลติมีเดียระดับมาก จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าผู้ใช้มีความสนใจสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหวที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากมีความสนุกสนาน ผู้ใช้ไม่เกิดความเบื่อหน่าย เนื่องจากมีระยะเวลาการนำเสนอมีความเหมาะสมทั้งยังถ่ายทอดเนื้อหาความรู้ให้เข้าใจง่าย สามารถนำความรู้ไปปรับใช้ในชีวิตประจำวันด้วยตนเองได้

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรมีการพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกเพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยในลักษณะเดียวกันในหัวข้อเรื่องอื่นเพิ่มเติม เนื่องจากในแต่ละชุมชนอาจมีความต้องการความรู้ที่แตกต่างกัน

6.2 ควรนำเทคนิคหรือวิธีการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความต้องการความรู้จากชุมชนในลักษณะอื่น ๆ มาใช้ในการศึกษารวบรวมความต้องการจากชุมชนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากและเหมาะสมกับบริบทของชุมชนนั้น ซึ่งจะนำมาสู่การพัฒนาหัวข้อเรื่องที่ตรงกับความต้องการของชุมชนนั้น ๆ มากที่สุด

6.3 ควรพัฒนาสารสนเทศเชิงภาพเคลื่อนไหว ตามหลักการอินโฟกราฟิกที่มีส่วนหนึ่งส่วนใดให้สามารถทำการปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ได้ เพื่อเป็นการกระตุ้นความสนใจเพิ่มมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากงบประมาณกองทุนส่งเสริมงานวิจัย ปี 2564 จากสำนักวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีจากความรู้ความกรุณาอย่างยิ่งของผู้บริหารคณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกษม กมลชัยพิสิฐ ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย รวมถึงผู้ร่วมวิจัยทั้งสองท่านที่เป็นแรงผลักดันในระหว่างทำวิจัยและคอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมา ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ใหญ่บ้านหมู่ 6 ตำบลไทรมา อำเภอมะนังนทบุรี จังหวัดนนทบุรี และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ทุกท่านที่เป็นส่วนสำคัญให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลงานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้สนใจและเกิดประโยชน์ในการนำไปใช้เพื่อส่งเสริมสุขภาพผู้สูงวัยในวงกว้างต่อไป

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตานันท์ มลิทอง. (2548). เทคโนโลยีและการสื่อสารเพื่อการศึกษา. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์อรุณการพิมพ์.
- [2] ชุมพล จันทรฉลองและอมิณา ฉายสุวรรณ. (2558). การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชัน เรื่อง เทพ 3 ถูกับการลบล้างโลก ร้อน. วารสารวิจัยและพัฒนาโลยลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์. 11(2), 111-119.
- [3] คารวรา วีระพันธ์และณัฐรดี อนุพงศ์. (2560). การพัฒนาสื่อการเรียนรู้การ์ตูนมัลติมีเดีย 2 มิติ เรื่อง อยู่อย่างพอเพียง ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต. วารสารวไลยลงกรณ์ปริทัศน์ (มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์). 7(3), 61-72.
- [4] ถนอมพร เลหาจรัสแสง. (2550). นิยามเลิร์นนิ่ง อ็อบเจกต์ เพื่อการออกแบบพัฒนาสื่ออิเล็กทรอนิกส์. วารสารเทคโนโลยีและสื่อสารการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. ปี ที่ 4 ฉบับที่ 4. หน้า 50-59.
- [5] นรินทรีย์ อาจเอื้อ. (2558). การพัฒนาเลิร์นนิ่งอ็อบเจกต์ โดยใช้กรณีศึกษาเพื่อส่งเสริมความสามารถในการคิดวิเคราะห์ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2. ศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ศึกษา. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [6] บุญชม ศรีสะอาด. (2553). การวิจัยเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 8 ฉบับปรับปรุงใหม่. กรุงเทพฯ : สุวีริยาสาส์น.
- [7] ปถมา วรรณกุล. (2550). การพัฒนาสื่อมัลติมีเดียเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้เรื่องเศรษฐกิจพอเพียงให้แก่ นักเรียนระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนหน้าพระลาน (พิบูลสงคราม) จังหวัดสระบุรี. การค้นคว้าแบบอิสระ หลักสูตรศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสื่อสารศิลปะและการออกแบบสื่อ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [8] ปิยะพงษ์ ราศี. (2559). การพัฒนาสื่ออินโฟกราฟิกวิชาเครือข่ายคอมพิวเตอร์เบื้องต้น สำหรับนักศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นปีที่ 3. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและสื่อสารทางการศึกษา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [9] พิมพ์พรณ หิรัญเอกภาพ. (2553). การพัฒนาการ์ตูนแอนิเมชันเสริมสร้างคุณลักษณะอันพึงประสงค์ 8 ประการสำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 1. การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [10] สุวิทย์ ไวยกุล. (2559). การพัฒนารูปแบบการออกแบบเลิร์นนิ่งอ็อบเจกต์บนแท็บเล็ตโดยใช้เกมเป็นฐานที่มี การช่วยเสริมศักยภาพเพื่อส่งเสริมทัศนคติทางคณิตศาสตร์ของนักเรียนที่มีความบกพร่องทางการเรียนคณิตศาสตร์. ดุษฎีนิพนธ์ปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต การศึกษาและการสอน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

การบำบัดก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ในห้องเรียนกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน

FORMALDEHYDE TREATMENT WITH OZONE IN ANATOMY CLASSROOM

ธิดาพร ศรีไทย¹ ปาริชาติ จันเสน¹ สร้อยทอง พาลพล¹ ปวีณา ลิ้มปิที่ปรากฏ^{2*} และวิภาดา เดชะปัญญา³
Thidaporn Srithai¹, Parichat Jansen¹, Soitong Panpon¹, Pawena Limpiteeprakan^{2*} and Wipada Dechpanya³

¹ นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต อนามัยสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

³ รองศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

*Corresponding author, Email: pawena.l@ubu.ac.th

Received: 19 June 2021

Revised: 18 November 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

การเรียนการสอนของอาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานที่ตึกกายวิภาคศาสตร์ มักจะได้รับผลกระทบจากการได้รับสัมผัสก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเปิดผ่าร่างอาจารย์ใหญ่ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ในระหว่างเรียน ส่งผลให้ก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ระเหยและแพร่กระจายไปสู่ห้องอื่น ๆ ที่อยู่ในตึกกายวิภาคศาสตร์ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำโอโซนมาทดลองใช้ในการบำบัดก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ในห้องเรียน โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม และศึกษาประสิทธิภาพของการใช้โอโซนในการบำบัดก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง เครื่องมือที่ใช้ประกอบด้วย ชุดเครื่องฟอกอากาศ เครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์แบบพกพา Formaldehyde Monitor รุ่น HFX 205 และเครื่องวัดความเร็วลม Hotwire Anemometer ทำการตรวจวัดแบบพื้นที่ (Area Sampling) เป็นค่าพื้นฐานก่อนทำการบำบัด โดยใช้ออกซิเจนในการผลิตโอโซนจากถังออกซิเจนบริสุทธิ์ ทำการตรวจวัดและบำบัดในวันที่มีการเปิดร่างอาจารย์ใหญ่ ตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ ปริมาตรห้อง และอัตราการฟุ้งโอโซนที่แตกต่างกัน ผลการศึกษา พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์ในห้องเรียนด้วยโอโซน คือ อัตราการฟุ้งโอโซนที่ 1,100 mg/hr ความเร็วพัดลม 2.11 m/s ที่รัศมีการดูดอากาศ 7 เมตร ใช้เวลาในการบำบัดอย่างน้อย 25 min ถึงจะทำให้ความเข้มข้นอยู่ในระดับต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ 89.8%

คำสำคัญ: ก๊าซฟอर्मัลดีไฮด์, การบำบัดด้วยโอโซน, ประสิทธิภาพการบำบัด, ตึกกายวิภาคศาสตร์

ABSTRACT

The teaching and learning of professors, students, and staff working in anatomy buildings are often affected by formaldehyde exposure. The dissection of the cadaver in the anatomy laboratory during the study was the main source of formaldehyde emission resulting in the evaporation and dispersion of formaldehyde to other rooms in the building. For this reason, ozone was used for treatment of gaseous formaldehyde in the classrooms. This study aims to investigate the appropriate conditions and the effectiveness of ozone for treatment of gaseous formaldehyde

in classrooms located in the anatomy building of one university. The instruments included the air cleaner, portable formaldehyde monitor, HFX 205 model, and Hotwire Anemometer. Area sampling was performed as a baseline before treatment. Pure oxygen was utilized to produce ozone. Measurements and treatment were performed on the day of the corpse's body opening. The variables that were modified were room volume and the ozone dosage rate. The results showed that the optimum conditions for the treatment of gaseous formaldehyde in the classrooms using ozonation were the ozone dosing rate of 1,100 mg/hr at a fan speed of 1.80 m/s with a suction radius of 7 m. It takes at least 25 minutes to bring the concentration below the standard, with the highest treatment efficiency of 89.8%.

Keywords: Formaldehyde, Ozonation, Treatment efficiency, Anatomy building

1. บทนำ

ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารประกอบอินทรีย์ กลุ่มอัลดีไฮด์ มีสูตรเคมี คือ CH_2O หรือ HCHO ฟอร์มาลดีไฮด์ที่ความดันปกติจะมีสถานะเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ติดไฟได้ ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เมื่อรวมตัวกับอากาศ และออกซิเจนสามารถเกิดการระเบิดได้ มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อ ในทางการค้านิยมใช้อยู่ในรูปของสารละลายฟอร์มาลิน (Formalin) ซึ่งก็คือสารละลายที่ประกอบด้วยก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ประมาณ 37- 40 % ในน้ำ และมีการเติมสารละลายเมทานอลประมาณ 10-15 % เพื่อป้องกันการเกิดโพลิเมอร์พาราฟอร์มาลดีไฮด์ซึ่งมีความเป็นพิษสูงกว่า [1] ในปัจจุบันฟอร์มาลินถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรม รวมถึงด้านการแพทย์ที่ใช้สำหรับรักษาหรือชะลอการเสื่อมสภาพของเซลล์เนื้อเยื่อต่าง ๆ ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ ในมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง พบว่าปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ที่เกิดจากการระเหยจากร่างอาจารย์ใหญ่มีค่าสูงเกินค่ามาตรฐานขีดจำกัดปริมาณการรับสัมผัสตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน 8 ชั่วโมง (Time weight average in 8 hr work; TWA) ของหน่วยงาน The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.75 ppm [2] จึงเป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นกับผู้รับสัมผัสโดยตรงกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เพราะเมื่อร่างกายรับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในรูปก๊าซหรือไอ จะทำให้เกิดการระคายเคืองของเนื้อเยื่อทางเดินหายใจ หากสัมผัสโดนผิวหนังเฉพาะที่จะทำให้การระคายเคืองหรืออักเสบ หากรับประทานในรูปของเหลวจะทำให้มีอาการปวดท้องอย่างรุนแรง บั๊สสาวะเป็นเลือด บั๊สสาวะน้อย เกิดภาวะเลือดเป็นกรด (Metabolic acidosis) อีกทั้งยังจัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ [3] จากการสอบถามนักศึกษาแพทย์และอาจารย์ผู้สอนระหว่างการเรียนปฏิบัติการคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง อาการที่พบมากที่สุดคือ เมื่อเฝ้า คัดเป็น 82.7-87.8% รองลงมาคือ แสบตา คัดเป็น 66.2-85.0% และแพ้ไหม้จมูก คัดเป็น 62.5-81.1% [4]

ในมหาวิทยาลัยหลาย ๆ แห่งที่มีการเรียนการสอนด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพ เช่น แพทย์ เภสัช และพยาบาล จะมีห้องเรียนกายวิภาคศาสตร์ที่ใช้ในการเรียนการสอนสำหรับอาจารย์ นักศึกษาและเจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงาน ซึ่งบุคคลกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่อาจจะได้รับผลกระทบจากการได้รับสัมผัสก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ที่มาจากการผ่าร่างอาจารย์ใหญ่ในระหว่างเรียน ซึ่งเกิดจากส่วนผสมฟอร์มาลินที่ใช้ในการรักษาสภาพโดยทำการชโลมผิวให้ทั่วร่างกายของร่างอาจารย์ใหญ่ สงกรานต์ ปันตะภา ได้ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการมหากายวิภาคศาสตร์ ตึกกายวิภาคศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่งขณะที่มีการเรียนการสอน จำนวน 10 จุด พบว่า ในห้องเรียนขณะที่มีการเรียนการสอนนั้น มีค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อยู่ในช่วง 0.09 - 3.19 ppm โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 ppm [5] ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์ทุกจุดตามมาตรฐาน Time weight average in 8 hr. Work (TWA) ของหน่วยงาน National Institute for Occupational Safety and Health ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.016 ppm [6] หากความเข้มข้นของสารฟอร์มาลดีไฮด์เท่ากับ 0.155 ppm จะพบความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งตลอดช่วงอายุ (78ปี) เท่ากับ 2.16×10^{-7} [7]

ที่ผ่านมาเทคโนโลยีการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อยู่หลายวิธี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) การดักด้วยละอองสารเคมี (Chemical Scrubbing) เทอร์มอลออกซิเดชัน (Thermal Oxidation) และไบโอฟิลเตอร์ (Bio filter) บางเทคโนโลยีมีราคาสูงและบางเทคโนโลยีมีข้อจำกัดที่ต้องนำสารมาฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ก่อนการบำบัดครั้งต่อไป แต่สำหรับการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยวิธีโอโซนเนชั่น (Ozonation) เป็นวิธีการที่ใช้โอโซนในการทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อย่างรวดเร็ว และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ตัวสุดท้าย คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ เพราะโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายกลืน สี ทำให้สามารถบำบัดกลิ่นให้กับน้ำและอากาศที่มีสิ่งเจือปนได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่น ๆ เพราะมีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชัน (Oxidation potential) สูงกว่าสารเคมีชนิดอื่น ๆ โดยคุณสมบัติเฉพาะตัวแล้ว โอโซนเป็นก๊าซพิษ มีค่าศักย์ไฟฟ้าออกซิเดชันสูงถึง 2.07 V มีการทำปฏิกิริยาที่รุนแรงกว่าสารชนิดอื่น ๆ มีผลกระทบต่อเกิดการเกิดกรดแอมโมเนีย ความเป็นพิษต่อผิวหนัง ตา จมูก และจะทำลายเนื้อเยื่อปอด เกิดความระคายเคืองเมื่อหายใจเข้าไป ถ้าได้รับในปริมาณมากจะทำให้เสียชีวิตได้ [8] แต่โอโซนมีช่วงเวลาสิ้นสุดการทำปฏิกิริยาก่อนข้างเร็ว เนื่องจากโอโซนสามารถสลายตัวได้ง่าย มีครึ่งชีวิตเพียง 12 hr. ในบรรยากาศ [9] จึงเป็นข้อได้เปรียบในด้านของการไม่มีสารตกค้าง และเมื่อสลายตัวจะกลายเป็นก๊าซออกซิเจน ที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม และยังมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้ทั่วไป

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาวิธีการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน โดยใช้ชุดเครื่องฟอกอากาศที่นำมาจากการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยของ วิภาดา เตชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนท์ตุลา [2] เนื่องจากวิธีการบำบัดแบบโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์อย่างรวดเร็ว เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ที่ได้รับสัมผัสและผู้ที่อยู่บริเวณใกล้เคียง ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นรูปแบบการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนก่อนการจัดการเรียนการสอนได้ ทั้งนี้ก็เพื่อความปลอดภัยของทั้งผู้สอนและผู้เรียน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับชุดเครื่องฟอกอากาศ ในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ด้วยโอโซน

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) เพื่อบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ด้วยโอโซนจากชุดเครื่องฟอกอากาศ ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัดในห้องเรียน ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เพื่อให้ได้สภาวะการบำบัดที่เหมาะสม

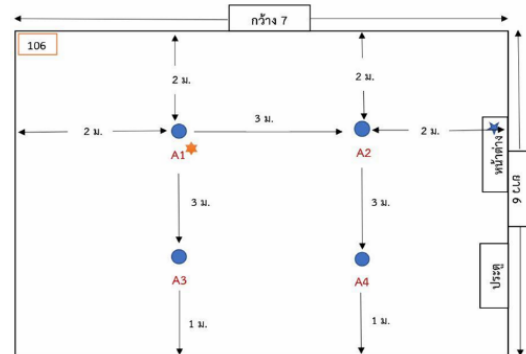
พื้นที่วิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีอยู่จริงในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์จำนวน 3 ห้อง ซึ่งมีขนาดแตกต่างกัน ดังรูปที่ 1

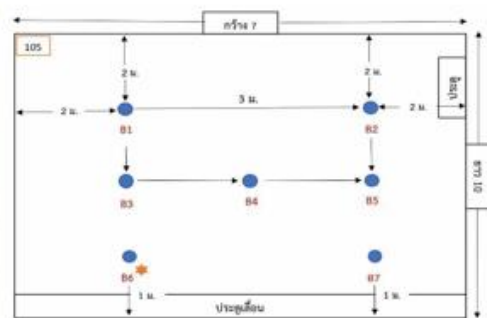
1) ห้องที่ 1 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึกกายวิภาคศาสตร์ซึ่งอยู่ติดกับห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีลักษณะเป็นห้องทึบ ไม่มีการระบายอากาศ ไม่มีหน้าต่าง ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 7 m ความยาว 6 m และมีความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 126 m³ (รูปที่ 1a)

2) ห้องที่ 2 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึกกายวิภาคศาสตร์ฝั่งทางทิศตะวันออกติดกับห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีลักษณะเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทตลอดเวลา มีแสงอาทิตย์เข้ามาภายในห้อง เนื่องจากบริเวณด้านหลังของห้องมีประตูกระจกใสบานเลื่อนยาวถึงพื้น และสามารถที่จะเปิดปิดได้ตลอดเวลา ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 7 m ความยาว 10 m และมีความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 210 m³ (รูปที่ 1b)

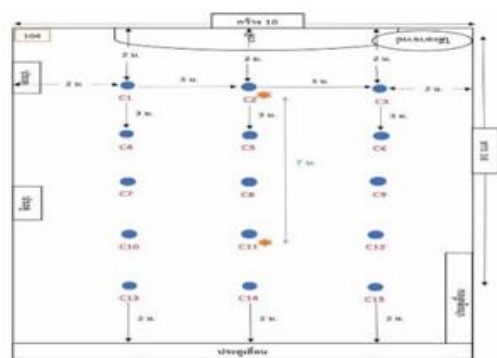
3) ห้องที่ 3 อยู่บริเวณชั้น 1 ของตึก มีลักษณะเป็นห้องที่มีอากาศถ่ายเทตลอดเวลา มีแสงอาทิตย์เข้ามาภายในห้อง เนื่องจากบริเวณด้านข้างและด้านหลังของห้อง มีประตูกระจกใสบานเลื่อนยาวถึงพื้น และสามารถที่จะเปิดปิดได้ตลอดเวลา ภายในห้องมีขนาดความกว้าง 10 m ความยาว 16 m และความสูงจากพื้นถึงเพดานห้อง 3 m รวมมีปริมาตรทั้งหมด 480 m^3 (รูปที่ 1c)



รูปที่ 1a แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 1



รูปที่ 1b แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 2



รูปที่ 1c แสดงภาพและผังของห้องเรียนที่ 3

หมายเหตุ : ● จุดตรวจวัดความเข้มข้น ★ จุดที่เลือกสำหรับการบำบัด

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. ชุดเครื่องฟอกอากาศ เป็นเครื่องมือที่ต่อยอดมาจากการงานวิจัย วิภาดา เตชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนท์ตุลา [2] ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 เครื่องกำเนิดโอโซน เป็นเครื่องที่ใช้ในการผลิตโอโซน สามารถปรับอัตราการฟุ้งโอโซนได้ 3 ค่า ซึ่งมีอัตราการฟุ้งเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 700, 1,100 และ 1,500 mg/hr โดยผลิตโอโซนจากก๊าซออกซิเจน

บริษัท ส่วนที่ 2 ถึงอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในรูปเครื่องฟอกอากาศ ภายในติดตั้งแผ่นกันเพื่อให้การไหลของอากาศเป็นแบบ plug flow ช่วยให้มีระยะเวลาสัมผัสและทำปฏิกิริยากับไอโซนนานขึ้น โดยความยาวของโซนในการทำปฏิกิริยามีระยะทางประมาณ 4.7 m และในเครื่องฟอกอากาศได้ติดตั้งพัดลมดูดอากาศไว้ที่ด้านล่างของตัวเครื่อง ซึ่งสามารถปรับความเร็วพัดลมดูดอากาศเข้าสู่ชุดเครื่องฟอกอากาศได้หลายระดับ (รูปที่ 2a)

2. เครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แบบพกพา Formaldehyde Meter/Monitor ยี่ห้อ Hal Technology รุ่น HFX 205 (รูปที่ 2b)

3. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer Air Velocity Meter) รุ่น VT-100S (รูปที่ 2c)



a. ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัด



b. เครื่องวัดปริมาณก๊าซ
รูปที่ 2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



c. เครื่องวัดความเร็วลม

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของตึกกายวิภาคศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง
2. จัดทำหนังสือเพื่อขออนุมัติและทำการติดต่อประสานงานกับเจ้าหน้าที่ ณ ตึกกายวิภาคศาสตร์ เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ในการเก็บข้อมูล และอำนวยความสะดวกในการเก็บรวบรวมข้อมูล
3. เตรียมการเก็บข้อมูลและออกแบบการทดลอง ดังนี้
 - ศึกษาลักษณะภายในห้องเรียนแต่ละห้อง ได้แก่ ขนาดของห้อง ลักษณะทิศทางการไหลของอากาศในห้อง ช่องระบายอากาศ และการดูดอากาศ เพื่อกำหนดจุดที่จะตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ
 - ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ได้แก่ ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดและระยะเวลาที่เหมาะสมในการบำบัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ระยะเวลาการดูดอากาศของเครื่องฟอกอากาศ ความเร็วพัดลมในการดูดอากาศ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการบำบัด โดยได้มีการจุ่มรูปเพื่อสังเกตทิศทางการเคลื่อนที่ของควันรูป และวัดระยะรัศมีในการดูดอากาศเข้าไปในชุดเครื่องฟอกอากาศ
 - กำหนดระยะเวลาตรวจวัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เพื่อจัดทำข้อมูลปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์พื้นฐานของแต่ละห้อง เพื่อจะได้เลือกตำแหน่งที่จะทำการตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ โดยเลือกจุดที่มีปริมาณการตรวจวัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด โดยตำแหน่งในการตรวจวัดมีระดับความสูงจากพื้น 75 cm เพราะเป็นตำแหน่งที่อยู่ในระดับเดียวกันกับการนั่งในชั้นเรียนของนักศึกษา และอยู่ในระดับการหายใจ (Breathing zone) ของผู้เรียน
 - ทำการติดตั้งชุดอุปกรณ์แบบพื้นที่ (Area sampling) เพื่อเตรียมการบำบัด หลักการทำงานของชุดเครื่องฟอกอากาศมีดังนี้ เครื่องจะผลิตไอโซนจากหลอดผลิตไอโซนโดยให้ออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อทำให้ออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว จากนั้นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวจะจับตัวกับก๊าซออกซิเจนอีกครั้งทำให้ได้ก๊าซไอโซนออกมา ในการบำบัดไอโซนจะถูกบดเข้าไปในเครื่องฟอกอากาศ ซึ่งเมื่อทำการเปิดพัดลมดูดอากาศ อากาศใน

ห้องเรียนที่มีก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ปนเปื้อนอยู่จะถูกดูดเข้าไปในเครื่องฟอกอากาศ จากนั้นจะเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidize) สารดังกล่าวด้วยโอโซน ทั้งนี้โอโซนเองเป็นสารออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong Oxidizing Agent) เมื่อทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วอากาศที่ผ่านการบำบัดและโอโซนที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาจะถูกปล่อยออกมาที่ด้านบนของเครื่องฟอกอากาศ

4. เริ่มการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนตึกกายวิภาคศาสตร์ ดังนี้

- ทำการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ แบบพื้นที่ (Area Sampling) โดยเครื่องวัดปริมาณก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์แบบพกพา เป็นระยะเวลา 8 hr ของทั้ง 3 ห้องเรียน จำนวน 2 ซ้ำ และนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นค่าพื้นฐานก่อนการบำบัด เน้นการตรวจวัดในวันที่มีการฝึกปฏิบัติการและมีการเปิดร่างอาจารย์ใหญ่เพื่อทำการศึกษา

- ทดสอบอัตราการฟอนโอโซน (Ozone dosage rate) จำนวน 3 ระดับ ได้แก่ 700, 1,100 และ 1,500 mg/hr เพื่อหาอัตราการฟอนโอโซนที่สามารถบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้ดีที่สุดในระยะเวลาที่เท่ากัน โดยจะทำบำบัด 60 min และตรวจวัดทุก ๆ 5 min โดยเลือกใช้ห้องเรียนที่ 3 เป็นตัวแทนซึ่งเป็นห้องที่มีขนาดเล็ก

- ทำการติดตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ โดยวางเครื่องในจุดที่พบปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุด และทำการกำหนดจุดตรวจวัดของห้องเรียนดังแสดงในตารางที่ 1 จุดตรวจวัดนี้กำหนดโดยให้เป็นจุดที่ตรงกับช่องปล่อยลมเย็นของเครื่องปรับอากาศที่มีลักษณะเป็นแบบฝังเพดาน มีระยะห่างจากกำแพง 2 m ระยะห่างระหว่างการวัดแต่ละจุดเท่ากับ 3 m หลังการตรวจวัดผู้วิจัยจะทำการเลือกจุดที่มีค่าผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงที่สุดของแต่ละพื้นที่ เพื่อเป็นจุดตัวแทนในการติดตั้งชุดเครื่องฟอกอากาศ ดังแสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าจุดตรวจวัดและจุดที่เป็นตัวแทนในการบำบัดของห้องเรียน

ห้องเรียน	วันที่ตรวจวัด	เวลาที่ตรวจวัด	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ตำแหน่งที่เลือกสำหรับบำบัด
1	13/8/2563	09.00-12.00 น.	4	A ₁
2	15/8/2563	09.00-10.00 น.	7	B ₆
3	16/8/2563	09.00-10.00 น.	15	C ₂ , C ₁₁

- รวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัด ทั้งนี้ผั่งขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน จะนำไปเทียบกับค่ามาตรฐาน โดยใช้ค่ามาตรฐานที่กำหนดตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง ขีดจำกัดของความเข้มข้นของสารเคมีอันตราย พ.ศ. 2560 ได้กำหนดปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานปกติ 8 hr (TWA; Time Weighted Average) ไว้เท่ากับ 0.75 ppm และค่าปริมาณความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลาจำกัด (STEL; Short Term Exposure Limit) 15 min เท่ากับ 2 ppm

ข้อมูลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ก่อนและหลังการบำบัดที่ใช้ในการศึกษา คำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ หน่วยเป็นร้อยละ ดังสูตร

$$RE (\%) = [(A-B) \times 100]/A$$

เมื่อ RE = ประสิทธิภาพของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

A = ค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนการบำบัด

B = ค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลังการบำบัด

หมายเหตุ : โดยประสิทธิภาพการบำบัดที่ดี ควรมีค่าสูงกว่าร้อยละ 80

4. ผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดโอโซนด้วยชุดเครื่องฟอกอากาศ

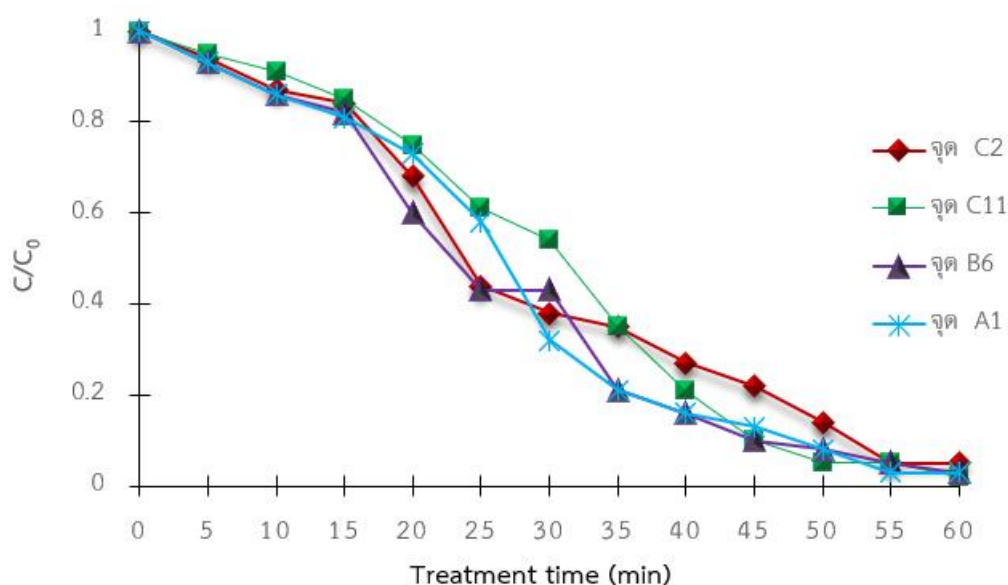
จากการคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัด พบว่า อัตราการฟนโอโซนที่ 1,500 mg/hr และ 1,100 mg/hr สามารถบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ได้มากกว่า 80% เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่อัตราการฟนโอโซน 1,100 mg/hr สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกอัตราการฟนโอโซนที่ 1,100 mg/hr ในการทดลองบำบัดในชั้นตอนถัดไป ผลการทดสอบประสิทธิภาพการดูดอากาศของชุดเครื่องฟอกอากาศ พบว่า ชุดเครื่องฟอกอากาศสามารถดูดอากาศภายในห้องเรียนได้ระยะรัศมีสูงสุดถึง 7 m ซึ่งสามารถดูดอากาศได้ทั้งหมด 3 ทิศทาง ได้แก่ ฝั่งด้านหน้า ฝั่งด้านข้างขวา และฝั่งด้านข้างซ้าย โดยใช้ความเร็วพัดลมดูดอากาศ ที่ 2.11 m/s

ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน

ตารางที่ 2 แสดงผลการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนแต่ละห้อง

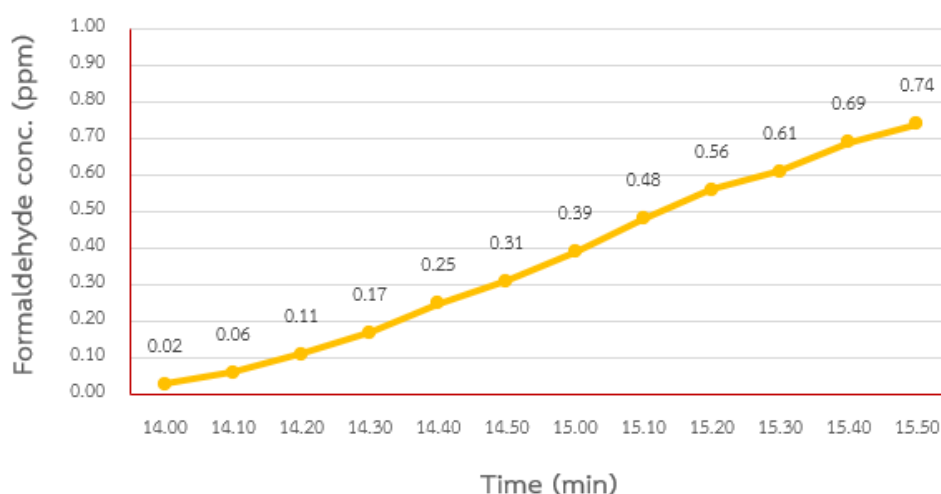
ห้องเรียน	ค่าความเข้มข้นของ FA (ppm)		เวลาที่บำบัด	วันที่ทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
	ก่อน	หลัง			
ห้องที่ 1 (จุด A ₁)	0.92±0.00	0.03±0.00	13.00-14.00 น.	15/9/63	88.7±0.00
ห้องที่ 2 (จุด B ₆)	0.92±0.00	0.02±0.00	13.00-14.00 น.	16/9/63	89.8±0.00
ห้องที่ 3 (จุด C ₂)	0.90±0.00	0.05±0.01	12.00-13.00 น.	17/9/63	84.4±0.54
ห้องที่ 3 (จุด C ₁₁)	0.91±0.01	0.02±0.00	13.00-14.00 น.	17/9/63	88.8±0.01

จากตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ก่อนและหลังการบำบัดทั้ง 3 ห้อง ใช้เวลาในการบำบัด จุดละ 60 min และช่วงเวลาที่ใช้ในการบำบัดอยู่ระหว่างช่วงเวลา 11.00 – 14.00 น. ผลการทดลองพบว่า หลังทำการบำบัดด้วยโอโซน ทั้ง 3 ห้อง มีค่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนดทุกห้อง และเมื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการบำบัดพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 84.4 - 89.8% รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ณ เวลาใด ๆ ต่อ ความเข้มข้น ณ เวลาเริ่มต้น (C/C₀) ของทั้ง 3 ห้องเรียน 4 จุดตรวจวัด



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ ณ เวลาใด ๆ ต่อความเข้มข้นเริ่มต้นในแต่ละจุดตรวจวัด

ในห้องเรียนที่ 3 จุด C₁₁ ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ หลังหยุดการบำบัด เพื่อตรวจสอบว่าปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องหลังการบำบัดจะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างไร โดยเริ่มวัดค่าความเข้มข้นต่อตั้งแต่เวลา 14.00-16.00 น. ผลการตรวจวัด พบว่า ปริมาณความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เริ่มมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหลังจากที่หยุดการบำบัดไปแล้วเป็นเวลา 2 hr โดยมีค่าเท่ากับ 0.74 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4 สำหรับในห้องเรียนที่ 1 และห้องเรียนที่ 2 ทางผู้วิจัยไม่ได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เพิ่มขึ้นหลังจากที่หยุดการบำบัด เนื่องจากห้องเรียนทั้งสองห้องเป็นห้องเรียนขนาดเล็ก จุดคนได้จำนวนไม่มากจึงยังไม่ได้มีการใช้ในการเรียนการสอนเป็นหลัก อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนที่ 1 และ 2 น่าจะมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับห้องเรียนที่ 3 เนื่องจากทั้งสามห้องเรียน มีแหล่งกำเนิดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากที่เดียวกันและมีระบบปรับอากาศและระบายอากาศที่เหมือนกัน



รูปที่ 4 กราฟแสดงความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์หลังหยุดการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนที่ 3

ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัด

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียนทั้งสามห้อง พบว่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการบำบัดและเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุลที่เวลาการบำบัด 55 min ทั้ง 4 จุดตรวจวัด และปฏิกิริยาการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ทุกจุดตรวจวัด โดยมีค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (k) ใกล้เคียงกัน และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์

จุดตรวจวัด	อันดับปฏิกิริยา	ค่า k (ppm/min)	ค่า R^2
จุด C2	0	0.0157	0.9645
จุด C11	0	0.0174	0.9681
จุด B6	0	0.0168	0.950
จุด A1	0	0.0172	0.946

5. อภิปรายผลการศึกษา

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยชุดเครื่องฟอกอากาศในห้องเรียนทั้ง 3 ห้อง คืออัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr ทำให้ความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในแต่ละห้องมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากการฟอกโอโซนที่อัตรานี้ทำให้มีปริมาณโอโซนเพียงพอต่อการเข้าทำปฏิกิริยากับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้ได้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงกว่า 80% ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่แสดงในตารางที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 0.01% แสดงให้เห็นว่าผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือในทางสถิติ (Repeatability) โดยผลวิจัยจากงานนี้สอดคล้องกับการศึกษาของวิภาดา เดชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนทบุรี [2] ซึ่งพบว่าอัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr จะให้ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงสุดที่ 100% แสดงให้เห็นว่าการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์โดยชุดเครื่องฟอกอากาศด้วยอัตราการฟอกโอโซนขั้นต่ำที่เหมาะสม จะให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ใกล้เคียงกัน (Reproducibility) นอกจากนี้จากงานวิจัยนี้พบว่าที่อัตราการฟอกโอโซนที่ 1,100 mg/hr สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดฟอร์มาลดีไฮด์ได้ประสิทธิภาพสูง สำหรับห้องที่มีปริมาตรไม่เกิน 500 m³ และความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ในอากาศไม่เกิน 1 ppm

ผลจากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการบำบัดพบว่าค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยามีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 4 จุดตรวจวัด แสดงให้เห็นว่าอัตราเร็วของการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์มีค่าใกล้เคียงกันและมีอันดับของปฏิกิริยาเป็นอันดับศูนย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารตั้งต้น โดยจะพบในกรณีที่สารตั้งต้นมีปริมาณที่มากเกินไปในการเข้าทำปฏิกิริยา ทั้งนี้ผลวิจัยที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของวิภาดา เดชะปัญญา และ สรรพาวุธ นนทบุรี [2]

ความเร็วพัดลมที่ระดับ 2.11 m/s เป็นความเร็วที่เหมาะสมกับความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มีค่าน้อยกว่า 1 ppm เนื่องจากหากทำการปรับความเร็วลมมากขึ้น จะทำให้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์กับโอโซนเพื่อที่จะให้เกิดความสมดุลของปฏิกิริยามีเวลาน้อยลง ในส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดควรใช้ระยะเวลาอย่างน้อย 25 min ในการบำบัด เพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นของฟอร์มาลดีไฮด์ที่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด และเป็นการประหยัดก๊าซออกซิเจนที่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตโอโซนด้วย ช่วงเวลาที่มีค่าความเข้มข้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์สูงจะอยู่ในช่วงเวลาดังกล่าวตั้งแต่ 11.00 – 15.00 น. เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกอาคารสูง ความกดอากาศต่ำ มีโอกาสที่ก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะระเหยและแพร่กระจายไปยังห้องอื่น ๆ ในอาคาร ทำให้มีค่าความเข้มข้นที่สูงในช่วงเวลาดังกล่าวเมื่อเทียบกับช่วงเวลาอื่น ๆ อย่างไรก็ตามการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ควรเริ่มทำการบำบัดในช่วงก่อนที่จะทำการ

เรียนการสอน หรือสลับบำบัดในช่วงพักเบรก เนื่องจากเวลาเรียนจะเริ่มประมาณ 9.00 น. หรือ 13.00 น. เพื่อที่จะไม่ให้มีกลิ่นรบกวนจากโอโซนที่ตกค้างระหว่างการบำบัด โดยก่อนบำบัดควรมีการระบายอากาศภายในห้องเรียนควบคู่ไปด้วยเพื่อลดความเข้มข้นเริ่มต้นของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ เช่น การเปิดประตูเลื่อน ใช้พัดลมเป่าอากาศออกนอกพื้นที่ห้องเรียน ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายก่อนมีการเรียนการสอน เพราะช่วยลดปริมาณความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของกลุ่มอาจารย์และนักศึกษาได้ เพราะการรับสัมผัสก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิสิตแพทย์ระหว่างเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาคอาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงต่อระบบทางเดินหายใจได้ [10]

เมื่อพิจารณาถึงความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นต่อนักศึกษา เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการและผู้ที่มาใช้บริการ จะเห็นว่า ค่าพื้นฐานก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ของห้องเรียนทั้ง 3 ห้อง จาก 4 จุดตรวจวัด ในวันปกติมีค่าอยู่ในช่วง 0.91-0.96 ppm ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานกำหนด โดยแหล่งกำเนิดของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่มาจากห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 2.05 ppm เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดและค่าความเข้มข้นก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องเรียน พบว่า อากาศที่มีการปนเปื้อนก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จากแหล่งกำเนิดสามารถแพร่กระจายไปยังทั้ง 3 ห้องเรียน หากไม่มีการบำบัดก่อนเรียนอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ อาทิ เช่น การสูดดมไอของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์เข้าไปหรือสัมผัสทางผิวหนังและดวงตาทำให้แสดงอาการ แสบตา แสบคอ แสบจมูก ระคายเคืองในปอด แน่นหน้าอก ไอ ปวดศีรษะ และอาจเสียชีวิตได้หากสูดดมเข้าไปปริมาณมาก ในกรณีที่มีการสัมผัสกับก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะทำให้ผิวหนังอักเสบ พอง เป็นตุ่มคัน หรือเป็นแผลไหม้ [11] ดังนั้นเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและผู้ที่ได้รับผิดชอบภายในอาคาร รวมถึงบุคลากรที่ทำงานอยู่ภายในตึกกายวิภาคศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยแห่งนี้ ควรมีมาตรการควบคุมและป้องกันการได้รับสัมผัสของก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในระยะเวลาสั้น หรือ พิจารณาการใช้สารเคมีตัวอื่นที่มีอันตรายน้อยกว่ามาทดแทน รวมถึงการจัดให้มีการระบายอากาศสม่ำเสมอ หรือกำหนดชั่วโมงในการทำงานในห้องที่มีสารฟอร์มาลดีไฮด์สูง เพราะถึงแม้ว่าความเข้มข้นหลังจากการบำบัดมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานแต่เมื่อหยุดทำการบำบัด อากาศที่มีการปนเปื้อนก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์จะค่อย ๆ มีความเข้มข้นที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนเกินกว่าระดับมาตรฐานในระยะเวลาเพียงแค่ 2 hr ซึ่งหากต้องการทำการบำบัดซ้ำอีกครั้งในวันเวลาเดียวกันอาจสามารถบำบัดได้ในช่วงพักเบรกตอนเที่ยง ร่วมกับการเปิดประตูระบายอากาศ อย่างไรก็ตามชุดเครื่องฟอกอากาศนี้ยังมีข้อจำกัดในเรื่องเสียงการทำงานค่อนข้างดังและกลิ่นของโอโซนที่ตกค้างในช่วงที่ดำเนินการบำบัดซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อบุคคลที่มีการแพ้กลิ่นโอโซน อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง หายใจไม่ออก ฯลฯ ดังนั้นการใช้ชุดเครื่องฟอกอากาศนี้จึงไม่ควรใช้บำบัดในขณะที่มีการเรียนการสอนในห้องเรียน

6. สรุปผลการศึกษา

การนำชุดเครื่องฟอกอากาศนี้ไปใช้ประโยชน์ ควรกำหนดอัตราการปล่อยโอโซนที่ 1,100 mg/hr ความเร็วพัดลม 2.11 m/s ที่รัศมีการดูดอากาศ 7 m ใช้เวลาในการบำบัดอย่างน้อย 25 min ซึ่งพบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดเท่ากับ 89.8% โดยเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานหรือหน่วยงานที่สนใจสามารถนำสภาวะการบำบัดจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์หรือใช้เป็นแนวทางในการบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ที่เกิดจากการกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเรียนการสอน หรือกิจกรรมอื่น ๆ ในโรงงานหรือสถานประกอบการได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรินทร์ อยู่ยง. (2563, เมษายน 10). ฟอร์มาลีน-ฟอร์มาลดีไฮด์, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.pharmacy.mahidol.ac.th/th/knowledge/article/32>
- [2] วิภาดา เดชะปัญญา, และสรพาวุฑฒ์ นนทบุรี. "การบำบัดก๊าซฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องจำลองระบบปิดที่มีแหล่งกำเนิดอย่างต่อเนื่องด้วยโอโซน". *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย*, 31(1), 2560, หน้า 37-43.
- [3] บังอร ฉางทรัพย์. "ฟอร์มาลดีไฮด์ / ฟอร์มาลีน ภัยร้ายใกล้ตัว". *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ*, 1(1), 2558, หน้า 97-109.

- [4] ขจร ลักษณะชัยปกรณ, และเพ็ญศรี วัฒนละญาณ. “การได้รับฟอร์มาลดีไฮด์ของนักศึกษาแพทย์และอาจารย์และอาการทางคลินิกในห้องปฏิบัติการกายวิภาคมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์”. *วารสารสมาคมแพทย์แห่งประเทศไทย*, 93(7), 2553, หน้า 92-98.
- [5] สงกรานต์ ปัทมะกา, “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและความเสี่ยงทางด้านสุขภาพจากการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ของอาจารย์ นักศึกษาแพทยศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ในห้องปฏิบัติการมหากายวิภาคศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี”. *ปัญหาพิเศษทางสาธารณสุข*, 2561.
- [6] The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2021, April. 5). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards, [Online] Available: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>
- [7] ทัดดาว พาหาทรัพย์อนันต์, ชูชัยนี้ เจ๊ะสือแม, ชูราญา สามแม, ชัลวานา ยูโซ๊ะ, และอิลฮัม บินดาแม. “การประเมินความเสี่ยงจากการสัมผัสสารฟอร์มาลดีไฮด์ในห้องปฏิบัติการกายวิภาคศาสตร์ของมหาวิทยาลัยแห่งหนึ่ง”. *วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*, 7(1), 2563, หน้า 61-68.
- [8] M. Jerrett, R.T. Burnett, and C.D. Pope,. Long-term ozone exposure and mortality. *The New ENGLAND Journal of Medicine*, 360(11), 2009, pp. 1085-95.
- [9] M. Horvath, L. Bilitzky. and J. Huttner, *Ozone*, Elsevier, Budapest, 1985.
- [10] กมลวรรณ พรหมเทศ, อรวรรณ แก้วบุญชู, กิตติพงษ์ หาญเจริญ และฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล. “การประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งของการสัมผัสฟอร์มาลดีไฮด์ทางการหายใจในนิสิตแพทย์ระหว่างเรียนภาคปฏิบัติทางกายวิภาค”. *วารสารพิษวิทยาไทย*, 29(1-2), 2557, หน้า 8-22.
- [11] ศิริพร วันพั่น. (2563, เมษายน 30). รู้จักฟอร์มาลดีไฮด์ สารอันตรายใกล้ตัว, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.thailandindustry.com/indust_newweb/articles_preview.php?cid=19310

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สังหารระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค ที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF WIRELESS LAN SYSTEM MODEL ADHOC KILLER ROBOT CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

ชัยพร อัดโดดดร¹ และนิติคม อริยพิมพ์^{2*}

Chaiporn Addoddorn¹ and Nitikom Ariyapim^{2*}

Received: 19 June 2021

Revised: 18 November 2021

Accepted: 27 December 2021

¹อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

²อาจารย์ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ขอนแก่น

*Corresponding author, Email: nitikom.ari@neu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สังหารแบบไร้สายที่ควบคุมด้วยระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอคด้วยโปรโตคอล TCP/IP ให้สามารถเคลื่อนที่ สอดแนม เล็งและยิงเป้าหมาย ในสภาพแวดล้อมที่ต้องการและเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ โดยรับคำสั่งมาจากคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ซึ่งใช้ภาษา Visual C# .NET ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการสื่อสารระหว่างคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กในตัวหุ่นยนต์ แล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์แบบไร้สายผ่านพอร์ตอนุกรม RS232 เป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง ซึ่งใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบทั้งหมด ซึ่งจากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์นี้สามารถส่งคำสั่งจากคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ไปยังหุ่นยนต์ได้ประมาณ 30 เมตร และไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมาประมวลผลและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้ทุกฟังก์ชัน อาทิเช่น เดินหน้า ถอยหลัง หยุด เลี้ยวขวา เลี้ยวซ้าย สอดแนม เล็งและยิงเป้าหมาย ได้ตามที่ต้องการ หุ่นยนต์นี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 1.12 เมตรต่อวินาที และพบว่าความแม่นยำของการยิงในระยะ 13 เมตร โดรนเป้าติดออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 53.33 % จากผลลัพธ์ที่ได้ เราสามารถนำการออกแบบหุ่นยนต์นี้ไปเพิ่มศักยภาพเพื่อใช้เป็นหุ่นยนต์สอดแนมทางทหารและเป็นหุ่นยนต์สังหารข้าศึกในทางการทหารได้ โดยไม่ต้องเกิดการสูญเสียกำลังพลในการสู้รบ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์สังหาร, ระบบเครือข่ายไร้สาย, แอดฮอค, ทีซีพี/ไอพี, ไมโครคอนโทรลเลอร์.

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of wireless killer robot controlled by wireless LAN control model Adhoc with the use of protocol TCP/IP. The robot able to move, spy, point and shoot the target in the desired environments or in the environments that are dangerous to humans. It obtains a command from the computer keyboard and the control software is written with Visual C# .NET language for controlling the communication system as well as the microcontroller PIC16F877 through the serial port RS232. In the actual test, the robot could be wirelessly controlled by the computer keyboard from the maximum distance of 30 meters and the microcontroller is able to receive the instruction from the small computer for processing and controlling all robot functions, such as

forward, backward, stop, turn right, turn left, spy, point, and shoot the target as desired. This robot can move at the maximum speed of 1.12 m/s and the accuracy of shooting at 13 meters is 53.33%. From the experiment results, it can be seen that the design of this robot can be further enhanced for use as military spy robot and killer robot in the battle field without the loss of manpower.

Keywords: Killer Robot, Wireless LAN Control, Adhoc, TCP/IP, Microcontroller.

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีไร้สายได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นวิทยุ โทรศัพท์ โทรศัพท์มือถือ ดาวเทียม ยานอวกาศ ระบบสื่อสาร หรือแม้แต่คอมพิวเตอร์ ซึ่งล้วนแต่มีความจำเป็นต่อมนุษย์ทั้งสิ้นเพื่ออำนวยความสะดวกสบายในการดำรงชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์และให้ก้าวหน้าทันสมัยตลอดเวลา ซึ่งเหตุผลหลักที่ต้องใช้แบบไร้สายก็เพื่อความคล่องตัวในการใช้งาน นั่นเอง และเมื่อนำเทคโนโลยีไร้สายนี้มาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ เราก็จะได้หุ่นยนต์ควบคุมแบบไร้สาย และสิ่งที่เป็นตัวควบคุมหุ่นยนต์นี้ ก็คือ มนุษย์ ดังนั้นไม่ว่าเราจะอยู่ที่ไหนในโลกก็สามารถควบคุมหุ่นยนต์นี้ได้ โดยเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ทางทหารแทนมนุษย์ได้ อาทิเช่น หุ่นยนต์สังหาร หุ่นยนต์สอดแนม หุ่นยนต์กู้ภัย [1] เป็นต้น ซึ่งประโยชน์ของการใช้หุ่นยนต์ควบคุมแบบไร้สายแทนมนุษย์นี้ก็คือ ลดความเสี่ยงในบริเวณพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และแรงงานของมนุษย์ อีกทั้งยังลดความเสี่ยงจากอันตรายของสารพิษ สารเคมีต่างๆ และแสงแดดจัดในบริเวณดังกล่าวได้อีกด้วย ในขณะที่แนวเดียวกันก็สามารถนำพัฒนาการของหุ่นยนต์เหล่านี้มาเพิ่มศักยภาพให้มีการสอดแนมและเป็นหุ่นยนต์ในการโจมตีข้าศึกในทางการทหารได้ โดยไม่ต้องเกิดการสูญเสียกำลังพลในการสู้รบ และมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาและสร้างหุ่นยนต์สังหารต่อต้านผู้ก่อการร้ายให้สามารถเคลื่อนที่และใช้อาวุธปืนในการเล็งยิงเป้าหมาย และสามารถสอดแนมการเคลื่อนไหวต่างๆ ทางทหาร เพื่อให้สอดคล้องกับการทำหุ่นยนต์ทางการทหารหรือเป็นตัวแทนทหารที่สามารถสอดแนมและจัดการกับศัตรูได้ โดยใช้ระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค [2] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบสองทิศทางและเป็นเทคโนโลยีที่เชื่อมต่ออุปกรณ์ตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเข้าด้วยกันด้วยวิธีการกระจายสัญญาณแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับระบบเครือข่ายไร้สายแบบอื่น ผู้ควบคุมจะสามารถนำพาหรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปยังพื้นที่ใดก็ได้ที่มีสัญญาณ และใช้อาวุธที่ติดไปกับหุ่นยนต์ (ในที่นี้จะใช้ปืนบีบีกันเป็นอาวุธในการติดตั้ง) และใช้กล้องในการเล็งเป้าหมายและสำรวจพื้นที่ที่เป็นอันตรายด้วย หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ มีลักษณะเหมือนรถถัง ติดปืน [3] ซึ่งสามารถให้ลาดตระเวนในพื้นที่ที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ และสามารถยิงใส่อะไรก็ได้ที่พิจารณาแล้วว่าเป็นภัยคุกคาม การใช้อาวุธประเภทนี้ ส่งผลให้ลดการสูญเสียต่อชีวิตของพลเรือนได้มากกว่าการใช้ทหารที่เป็นมนุษย์ การส่งหุ่นยนต์ลงไปในสนามรบหมายถึงว่าคุณแค่เสี่ยงกับหุ่นยนต์เท่านั้น ไม่เป็นการเสี่ยงต่อมนุษย์แต่อย่างใด และหุ่นยนต์สามารถทำภารกิจที่ยาก ลำบากกว่ามนุษย์ได้ สามารถเข้าไปในเขตของศัตรูได้มากกว่า หรือเผด็จการติดตามรอเวลาจนกระทั่งเป็นที่มั่นใจแน่นอนแล้วว่าเป็นเป้าหมายที่ต้องการชัดเจน

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเชื่อมโยงระบบแบบ Adhoc

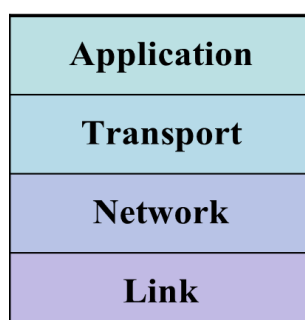
โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบ Adhoc หรือ Peer to Peer [4,5] เป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยที่ไม่มีศูนย์กลางควบคุมอุปกรณ์ทุกเครื่องสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันเอง ตัวส่งจะใช้วิธีการแพร่กระจายคลื่นออกไปในทุกทิศทางโดยไม่ทราบจุดหมายปลายทางของตัวรับว่าอยู่ที่ใด ซึ่งตัวรับจะต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการที่คลื่นสามารถเดินทางมาถึงแล้วคอยเช็คข้อมูลว่าใช่ของตนหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบค่า Mac address ผู้รับปลายทางในแฟรมข้อมูลที่แพร่กระจายออกมา ถ้าใช่ข้อมูลของตนก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นไปประมวลผล

ต่อไป การเชื่อมโยงเครือข่ายที่ใช้โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบ Adhoc ไม่สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่ระบบเครือข่ายอีเธอร์เน็ตได้ เนื่องจากบนระบบไม่มีการใช้สัญญาณเลย Adhoc เป็นการเชื่อมต่อที่ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป ติดตั้งการ์ดไวเลสแลน (หรือ Centrino Notebook) ทำการเชื่อมต่อสื่อสารกันโดยตรง ไม่ต้องผ่านอุปกรณ์กระจายสัญญาณ (Access Point) โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อวิธีนี้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้เช่น การแชร์ไฟล์ การแชร์เครื่องพิมพ์ หรืออุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ การสนทนาแบบวิดีโอคอนเฟอเรนซ์ (VDO Conference) และการเล่นเกมสลับวงแลนได้ ซึ่งช่วยให้เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยไม่ต้องมีสายสัญญาณ ขณะที่การเชื่อมต่อแบบ Adhoc จะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายมีสายสัญญาณได้ นอกจากจะทำการติดตั้งอุปกรณ์ Access Point เพื่อให้ Access Point ทำการเชื่อมต่อและส่งข้อมูลไปเครือข่ายมีสายอีกครั้งหนึ่ง สรุปก็คือ ประโยชน์ของ Adhoc network คือ การที่สามารถสร้างขึ้นได้อย่างรวดเร็ว สามารถสร้างขึ้นได้ทันที โดยไม่ต้องมีโครงสร้างของสถานีฐานและไม่ต้องมีผู้ดูแลระบบเครือข่าย ทำให้ช่วยประหยัดงบประมาณลงไปได้พอสมควรทีเดียว

2.2 โพรโตคอล TCP/IP

2.2.1 TCP (Transmission Control Protocol) เป็นหนึ่งในโพรโตคอลหลักในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หน้าที่หลักของทีซีพี คือ ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย เพื่อใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน เปรียบเสมือนเป็นท่อส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยตัวโพรโตคอลจะรับประกันความถูกต้อง และลำดับของข้อมูลที่ส่งผ่านระบบเครือข่าย นอกจากนั้นทีซีพียังช่วยจำแนกข้อมูลให้ส่งผ่านไปยังแอปพลิเคชันที่ทำงานอยู่ให้ถูกต้องด้วย TCP มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ Port และ Socket เป็นช่องทางสำหรับกำหนดทิศทางของการรับส่งข้อมูล โดยวิธีการกำหนดหมายเลข Port ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างกัน เช่น Port 80

2.2.2 IP (Internet Protocol) คือ หมายเลขประจำเครื่องคอมพิวเตอร์ในการรับส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์จะถูกกำหนดและอ้างอิงด้วยหมายเลขประจำเครื่องนั้น ในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จำเป็นจะต้องมีหมายเลข IP กำหนดไว้ให้กับคอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ ที่ต้องการ IP ทั้งนี้เวลาที่มีการโอนย้ายข้อมูล หรือส่งงานใดๆ จะสามารถทราบตำแหน่งของเครื่องที่เราต้องการส่งข้อมูลไป จะได้ไม่ผิดพลาดเวลาส่งข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 4 ชุด มีเครื่องหมายจุดขึ้นระหว่างชุด เช่น 192.168.100.1 หรือ 172.16.10.1 เป็นต้น TCP/IP แบ่งออกเป็น 4 เลเยอร์ ดังนี้



รูปที่ 1 การแบ่งชั้นของ TCP/IP

1. Link Layer ในเลเยอร์นี้จะเป็นดีไวซ์ใดเวอร์ที่ทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการแต่ละระบบทำหน้าที่รับผิดชอบในการรับส่งข้อมูลตั้งแต่ระดับกายภาพ สัญญาณไฟฟ้า จนถึงแปลงความจากระดับสัญญาณไฟฟ้าจนเป็นข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ โพรโตคอลระดับนี้ เช่น Ethernet และ SLIP (Serial Line Internet Protocol)

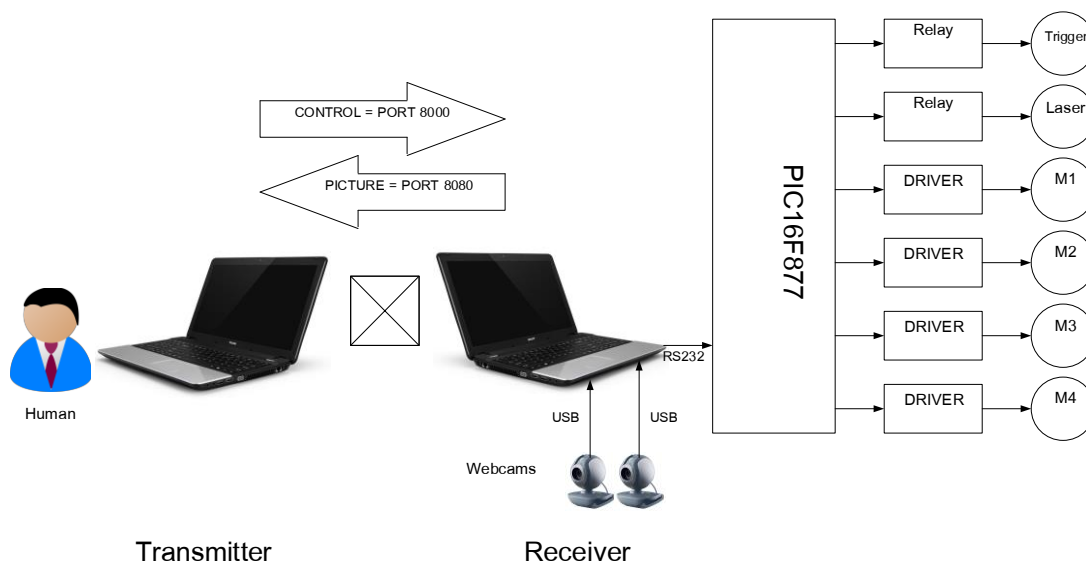
2. Network Layer รับผิดชอบในการรับ ส่ง ข้อมูลเน็ตเวิร์ค ส่งต่อข้อมูลไปจนถึงจุดหมายปลายทาง โพรโตคอลระดับนี้ ได้แก่ IP ICMP IGMP

3. Transport Layer รับผิดชอบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องหนึ่ง (Host) ไปยังอีกโฮสต์หนึ่ง และจะส่งข้อมูลขึ้นไปให้ Application Layer นำไปใช้งานต่อ มีโปรโตคอลที่จัดอยู่ในเลเยอร์นี้คือ TCP และ UDP ซึ่งมีลักษณะในการรับส่งข้อมูลที่แตกต่างกันออกไป

4. Application Layer เป็นเลเยอร์ที่เป็นแอปพลิเคชันเรียกใช้โปรโตคอลระดับล่าง ๆ ลงไป เพื่อวัตถุประสงค์แตกต่างกัน

3. การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สังหารระบบเครือข่ายไร้สาย

3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

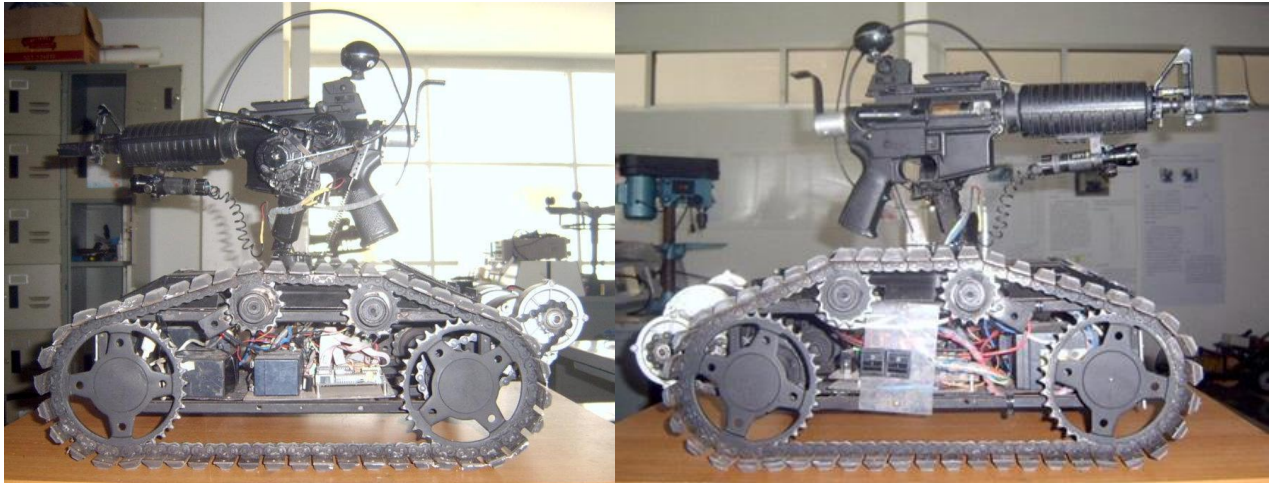


รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์

จากบล็อกไดอะแกรมคำสั่งควบคุมของมนุษย์จะถูกส่งมาจากคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ แล้วส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์แบบไร้สายด้วยรหัสสัญญาณคลื่นวิทยุผ่านพอร์ต 8000 แล้วส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 เพื่อรับคำสั่งมาประมวลผลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 และควบคุมการทำงานของมอเตอร์ M1, M2 ซึ่งใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์โดยผ่านวงจรขับมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ M3 ซึ่งใช้เป็นตัวหมุนปืน 360 องศา โดยผ่านวงจรขับมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ M4 ซึ่งใช้เป็นตัวยกปืนขึ้นลง 30 องศา โดยผ่านวงจรขับมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของกลไกปืน โดยผ่านวงจรรีเลย์ และควบคุมการทำงานของเลเซอร์ ซึ่งเป็นตัวชี้เป้าหมาย โดยผ่านวงจรรีเลย์ โดยคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กจะส่งสัญญาณภาพจากกล้องเว็บแคม 2 ตัว กลับมายังคอมพิวเตอร์มนุษย์ผ่านพอร์ต 8080 อีกทีหนึ่ง เพื่อให้มนุษย์ควบคุมหุ่นยนต์ได้ตามที่ต้องการ

3.2 โครงสร้างของหุ่นยนต์

โครงสร้างของหุ่นยนต์นี้จะมีขนาดยาว 75 cm. กว้าง 50 cm. และสูง 45 cm. น้ำหนัก 30 kg. ขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง 2 ล้อ โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.50 AH จำนวน 2 ก้อน เป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ อันได้แก่ DC Motor Gear 250 Watt จำนวน 2 ตัว สำหรับใช้เป็นตัวขับเคลื่อนหุ่นยนต์ มอเตอร์เกียร์กระจัดถยนต์ขนาด 12 V 150 RPM จำนวน 2 ตัว สำหรับใช้เป็นตัวยกและหมุนปืน ใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 V 7.5 AH จำนวน 1 ก้อน เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรควบคุม อันได้แก่ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้แบตเตอรี่ขนาด 12V 7.5 AH จำนวน 1 ก้อน เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับวงจรกำลัง ดังนี้

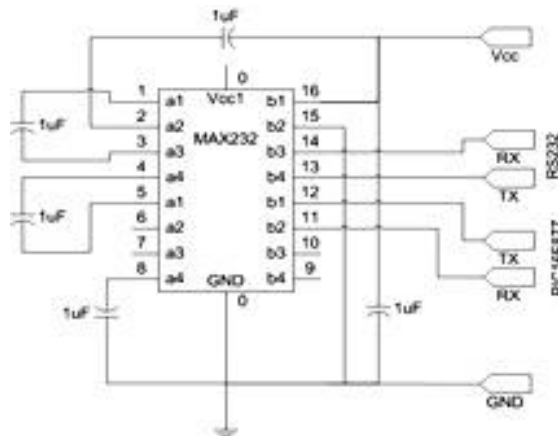


รูปที่ 3 โครงสร้างของหุ่นยนต์สังหารที่ถ่ายจากภาพจริง

ส่วนประกอบของหุ่นยนต์สังหาร จะประกอบด้วย เริ่มจากล่างสุดจะเป็นล้อที่ใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ จะเป็นล้อลักษณะแบบตีนตะขาบ ส่วนข้างหลังจะเป็นมอเตอร์ที่ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ จะเป็นแบบ DC Motor Gear 250 Watt จำนวน 2 ตัว ตรงกลางจะเป็นที่เก็บแผงวงจรควบคุมและแบตเตอรี่ ส่วนข้างบนจะเป็นอาวุธปืน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ปืนเล็กยาว เป็นปืนประเภทบีบีกัน รุ่น Golden Eagle 6671 Fighting MCR 12.5" ส่วนลำกล้องปืนจะติดเลเซอร์เอาไว้สำหรับการเล็งเป้าหมายในการยิง ส่วนบนศูนย์ของปืนจะติดกล้องเว็บแคม 1 ตัว ใช้สำหรับการมองหาเป้าหมาย และด้านหน้าหุ่นยนต์จะติดกล้องเว็บแคมอีก 1 ตัว ใช้ในการสำรวจพื้นที่ที่เป็นอันตราย

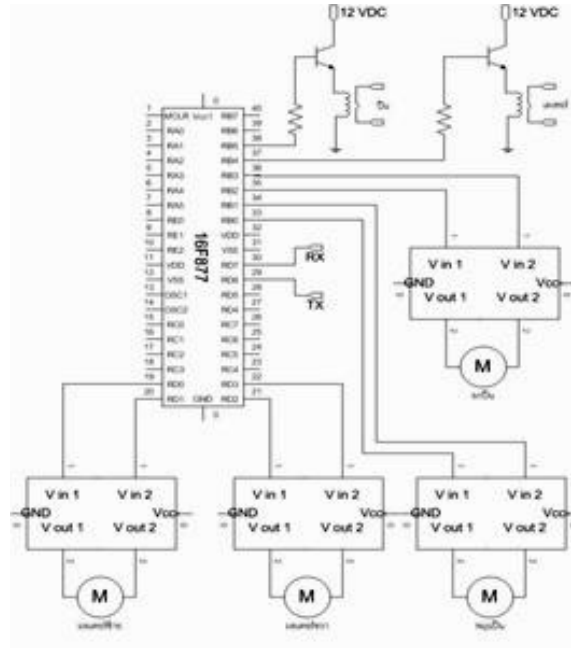
3.3 วงจรควบคุม

วงจรควบคุมในที่นี้จะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ วงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232 และวงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ซึ่งมีการทำงาน ดังนี้



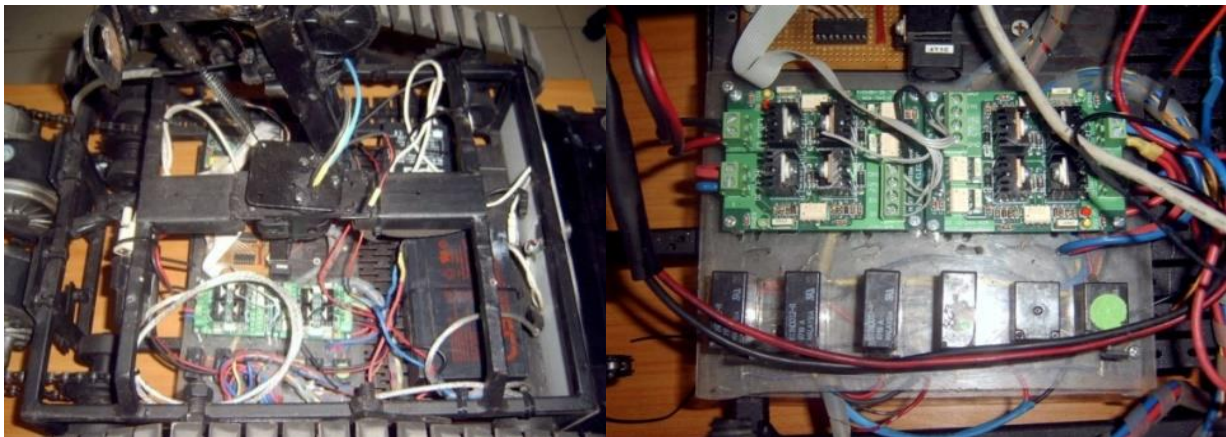
รูปที่ 4 วงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232

วงจรแปลงระดับสัญญาณ MAX232 เป็นวงจรที่ใช้ไอซีแปลงระดับสัญญาณของ RS-232 มาเป็นระดับ TTL และในทำนองเดียวกันก็แปลงระดับสัญญาณ TTL ไปเป็นระดับสัญญาณ RS-232 เพื่อแปลงระดับสัญญาณจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กก่อนเข้าสู่วงจรควบคุม



รูปที่ 5 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

ส่วนวงจรควบคุมจะรับคำสั่งจากเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กผ่านทางพอร์ตอนุกรม โดยรับสัญญาณที่แปลงแล้วจากวงจร MAX232 ทำการส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผล แล้วทำการส่งค่าไปควบคุมการทำงานของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์และรีเลย์เพื่อขับเคลื่อนหุ่นยนต์ต่อไป



รูปที่ 6 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ที่ถ่ายจากภาพจริง

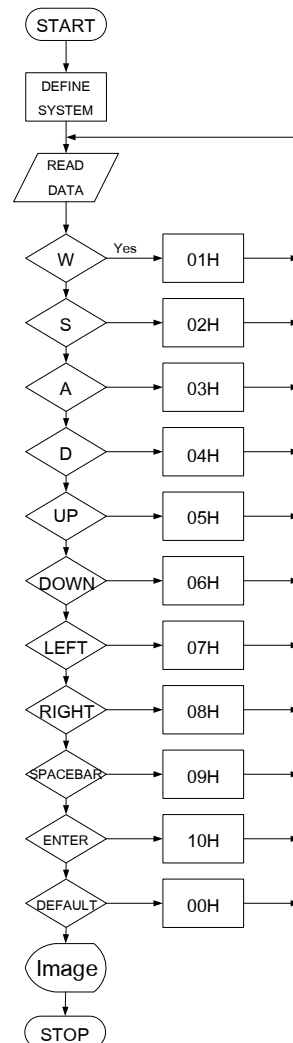
3.4 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมและรับคำสั่งควบคุมถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษา Visual C# .NET เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สะดวกในการพัฒนา โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นรีโมทคอนโทรล รับสัญญาณภาพจากหุ่นยนต์ ซึ่งติดกล้องและถ่ายทอดสัญญาณภาพผ่านทางโปรโตคอล HTTP ในรูปแบบภาพนิ่งต่อเนื่อง การส่งสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์จะใช้การส่งรหัสสัญญาณผ่านทางเครือข่ายไปยังคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนตัวหุ่นยนต์ แล้วคำสั่งการทำงานจะส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่อยู่ในตัวหุ่นยนต์โดยใช้ภาษา C เป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์สังหารจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) การรับคำสั่งจากคีย์บอร์ด จะรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดทั้งหมด 11 คำสั่ง คือ

- กดปุ่มตัวอักษร W กำหนดค่าให้เท่ากับ 01H
- กดปุ่มตัวอักษร S กำหนดค่าให้เท่ากับ 02H
- กดปุ่มตัวอักษร A กำหนดค่าให้เท่ากับ 03H
- กดปุ่มตัวอักษร D กำหนดค่าให้เท่ากับ 04H
- กดปุ่มลูกศร Up กำหนดค่าให้เท่ากับ 05H
- กดปุ่มลูกศร Down กำหนดค่าให้เท่ากับ 06H
- กดปุ่มลูกศร Left กำหนดค่าให้เท่ากับ 07H
- กดปุ่มลูกศร Right กำหนดค่าให้เท่ากับ 08H
- กดปุ่ม Spacebar กำหนดค่าให้เท่ากับ 09H
- กดปุ่ม Enter กำหนดค่าให้เท่ากับ 10H
- กดปุ่มอื่นนอกจากที่กล่าวมาหรือไม่กดปุ่มใดเลย จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 00H ดังแสดงในรูปที่

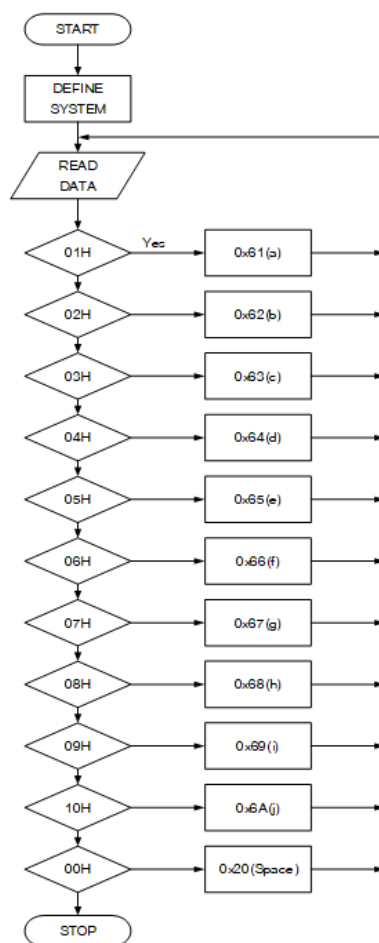
7 ดังนี้



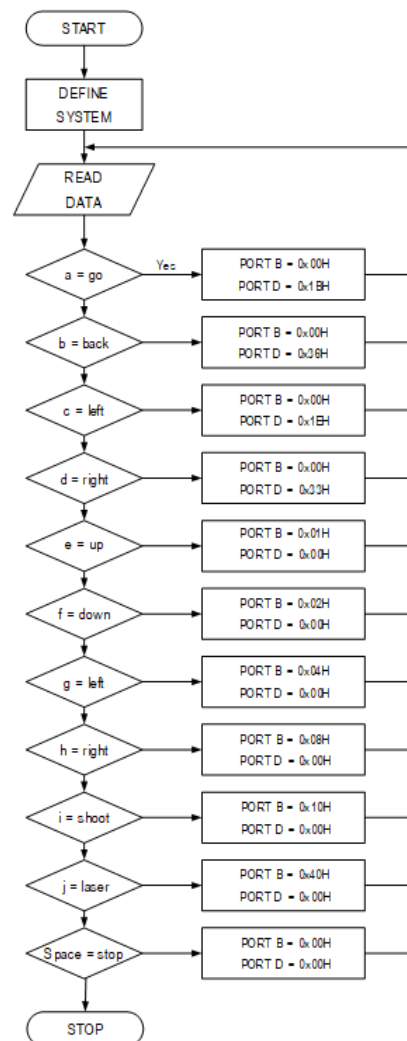
รูปที่ 7 การรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดที่ตัวส่ง

2) การรับ-ส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล TCP/IP ส่วนนี้จะทำการรับข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของแพ็กเก็ตผ่านทางโปรโตคอล TCP/IP และทำการแปลงข้อมูลที่รับมาจากคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบของรหัสแอสกี แล้วส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมผ่าน RS-232 เพื่อนำไปประมวลผลต่อไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในรูปที่ 8(a)

3) คำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ คำสั่งควบคุมหุ่นยนต์สังหารนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ (ล้อ) จะมีคำสั่งอยู่ 4 คำสั่ง ได้แก่ คำสั่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (go), คำสั่งเคลื่อนที่ไปข้างหลัง (back), คำสั่งเคลื่อนที่ไปทางซ้าย (move left) และคำสั่งเคลื่อนที่ไปทางขวา (move right) ส่วนของการควบคุมอาวุธปืนและเลเซอร์ จะมีคำสั่งอยู่ทั้งหมด 6 คำสั่ง ได้แก่ คำสั่งให้อาวุธปืนชี้ขึ้นข้างบน (up), คำสั่งให้อาวุธปืนชี้ลงข้างล่าง (down), คำสั่งให้อาวุธปืนหมุนไปทางซ้าย (left), คำสั่งให้อาวุธปืนหมุนไปทางขวา (right), คำสั่งยิงปืน และคำสั่งยิงแสงเลเซอร์ นอกจากนี้ที่กล่าวมายังมีอีกหนึ่งคำสั่ง คือ ช่องว่าง เป็นการกดปุ่มอื่นๆ หรือว่าไม่กดปุ่มใดๆ เลย จะเป็นการสั่งให้หุ่นยนต์หยุดอยู่กับที่ ดังแสดงในรูปที่ 8(b) ดังนี้



(a)



(b)

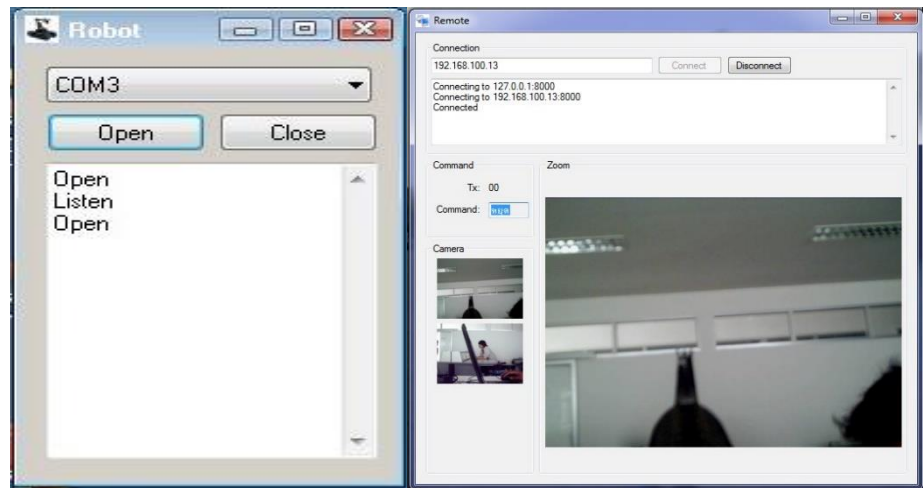
รูปที่ 8 การรับคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ที่ตัวรับ

(a) คำสั่งควบคุมการทำงานในคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก

(b) คำสั่งควบคุมการทำงานในไมโครคอนโทรลเลอร์

4. ผลการทดสอบ

ส่วนคอมพิวเตอร์ของหุ่นยนต์ให้เปิดโปรแกรม Robot ขึ้นมา จากนั้นทำการเลือก COM Port (หมายเลขพอร์ต USB ที่ใช้เสียบสาย USB to RS-232) แล้วทำการกดปุ่ม Open ดังแสดงในรูปที่ 9(a) ส่วนคอมพิวเตอร์ของผู้ควบคุมให้เปิดโปรแกรม Remote ขึ้นมา จากนั้นให้กรอกหมายเลข IP Address ของคอมพิวเตอร์หุ่นยนต์ (ได้จากการเชื่อมต่อกัน) ลงในช่อง Connection แล้วกดปุ่ม Connect ในส่วนของสัญญาณภาพจะแสดงขึ้นอัตโนมัติเมื่อมีการเชื่อมต่อกันเรียบร้อยแล้ว อันได้แก่ กล้อง 1 กล้อง 2 และกล้อง Zoom ก็สามารถที่จะควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 9(b) ดังนี้



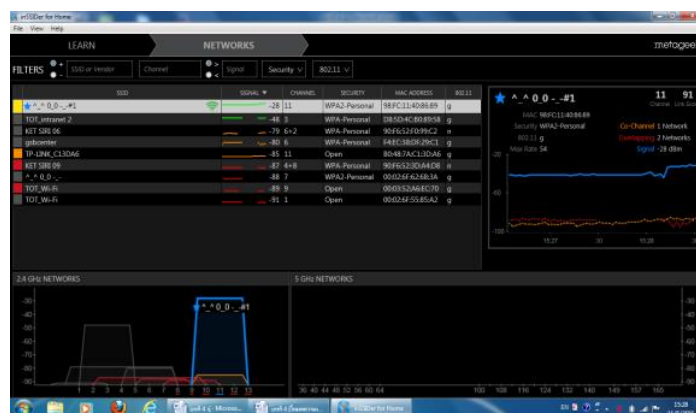
(a) ตัวหุ่นยนต์

(b) ผู้ใช้งาน

รูปที่ 9 หน้าจอควบคุม

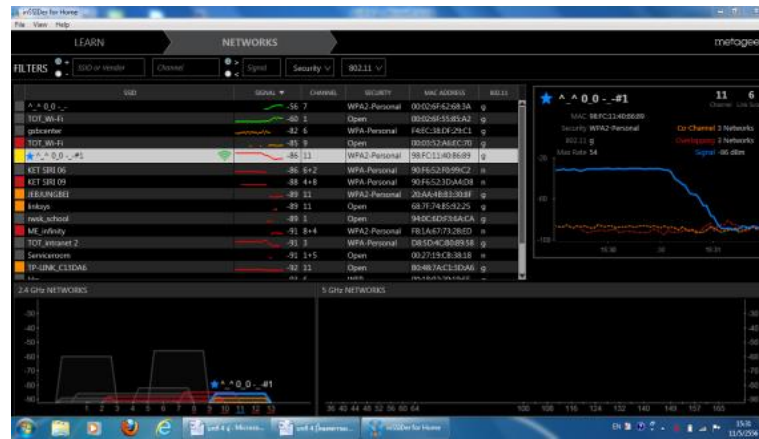
4.1 การทดสอบคลื่น Wireless (Adhoc)

4.1.1 การทดสอบคลื่นเครื่องควบคุม ทำการทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ (เครื่องควบคุม) โดยใช้โปรแกรม inSSIDer 3 ในระยะไม่เกิน 1 เมตร ค่าที่ได้ -28 dBm ค่าความถี่ 802.11 G อยู่ในย่านความถี่ 2.4 GHz จะเห็นได้ว่า กราฟที่แสดงสัญญาณ wireless มีเส้นตรงและค่อนข้างเรียบ แสดงว่าเป็นสัญญาณที่ดี



รูปที่ 10 สัญญาณ Wireless จากเครื่องควบคุม (Transmitter)

4.1.2 การทดสอบคลื่นเครื่องควบคุมบนตัวหุ่นยนต์ ทำการทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณการทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ (เครื่องควบคุมบนตัวหุ่นยนต์) โดยใช้โปรแกรม inSSIDer 3 ในระยะไม่เกิน 30 เมตร ค่าที่ได้ -86 dBm ค่าความถี่ 802.11 G อยู่ในย่านความถี่ 2.4 GHz จะเห็นว่า กราฟที่แสดงสัญญาณ wireless จะตกลง เมื่อออกห่างจากเครื่องส่ง และยังออกห่างมากขึ้น ยิ่งรับและส่งสัญญาณไม่ดี



รูปที่ 11 สัญญาณ Wireless จากเครื่องควบคุมบนตัวหุ่นยนต์ (Receiver)

4.2 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

4.2.1 สภาพพื้นที่คอนกรีต

ตารางที่ 1 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นที่คอนกรีตเป็นระยะทาง 15 เมตร

ระดับความเร็ว	ครั้งที่	เวลา (sec)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
1	1	14	1.15	1.12
	2	13	1.07	
	3	14	1.15	
	4	13	1.07	
	5	14	1.15	

4.2.2 สภาพพื้นที่ที่เป็นดิน

ตารางที่ 2 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นที่ดินเป็นระยะทาง 15 เมตร

ระดับความเร็ว	ครั้งที่	เวลา (sec)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
1	1	17	0.88	0.90
	2	17	0.88	
	3	17	0.88	
	4	16	0.93	
	5	16	0.93	

4.2.3 สภาพพื้นที่ที่เป็นหญ้า

ตารางที่ 3 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาพพื้นที่หญ้าเป็นระยะทาง 15 เมตร

ระดับความเร็ว	ครั้งที่	เวลา (sec)	ความเร็ว (m/s)	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
1	1	19	0.79	0.81
	2	18	0.83	
	3	18	0.83	
	4	19	0.79	
	5	19	0.79	

4.3 การทดสอบความแม่นยำของหุ่นยนต์

การทดสอบความแม่นยำของปืนระยะ 13 เมตร แบ่งออกเป็นการยิง 3 ชุด ชุดละ 5 นัด ขนาดของเป้าหมายเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 ซม. แบ่งการให้คะแนนความแม่นยำตามลำดับ ดังนี้

วงที่ 1 เท่ากับ 5 คะแนน

วงที่ 2 เท่ากับ 4 คะแนน

วงที่ 3 เท่ากับ 3 คะแนน

วงที่ 4 เท่ากับ 2 คะแนน

วงที่ 5 เท่ากับ 1 คะแนน



รูปที่ 12 วงรอบระดับคะแนน



รูปที่ 13 การยิงเป้าในระยะ 13 เมตร

4.3.1 ทดสอบความแม่นยำของปืนระยะ 13 เมตร

ตารางที่ 4 การทดสอบความแม่นยำของปืนระยะ 13 เมตร

ครั้งที่	สี	เข้าเป้า	คะแนน					รวม	คะแนนที่ได้ (%)
			1	2	3	4	5		
1	น้ำเงิน	4	-	-	3	1	-	13	52
2	ดำ	5	-	2	3	-	-	13	52
3	เหลือง	5	-	1	4	-	-	14	56
ค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้ (%)									53.33

ชุดที่ 1 สีน้ำเงิน คะแนนเต็ม 25 คะแนน ได้คะแนน 13 คะแนน คิดเป็นคะแนนที่ได้ 52%

ชุดที่ 2 สีดำ คะแนนเต็ม 25 คะแนน ได้คะแนน 13 คะแนน คิดเป็นคะแนนที่ได้ 52%

ชุดที่ 3 สีเหลือง คะแนนเต็ม 25 คะแนน ได้คะแนน 14 คะแนน คิดเป็นคะแนนที่ได้ 56%

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยคะแนนที่ได้ เท่ากับ $(52+52+56)/3 = 53.33\%$

5. บทสรุป

จากการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์สังหารที่ควบคุมด้วยระบบเครือข่ายไร้สายแบบแอตฮอค จะพบว่า การเชื่อมต่อแบบแอตฮอค หุ่นยนต์สามารถตอบสนองได้ภายในเวลา 1 วินาที แต่จะมีระยะห่างที่สามารถส่งคำสั่งจากคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์ไปยังหุ่นยนต์ได้ประมาณ 30 เมตรเท่านั้น และไม่รบกวนโทรลเลอร์สามารถรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมาประมวลผลและควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ได้ทุกฟังก์ชัน อาทิเช่น เดินหน้า ถอยหลัง หยุด เลี้ยวขวา เลี้ยวซ้าย สามารถสอดแนม เล็งและยิงเป้าหมายได้ตามที่ต้องการ โดยหุ่นยนต์ตัวนี้สามารถเคลื่อนที่ สอดแนม เล็งและยิงเป้าหมายได้ในบริเวณที่ต้องการ อาทิเช่น บริเวณพื้นคอนกรีต พื้นดิน พื้นหญ้า และพื้นที่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ อาทิเช่น บริเวณที่มีสารพิษ สารเคมีต่างๆ และแสงแดดจัด เป็นต้น ทำให้ปลอดภัยและประหยัดแรงงานของมนุษย์ได้เป็นอย่างมาก หุ่นยนต์นี้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด 1.12 เมตรต่อวินาที และพบว่าความแม่นยำของการยิงในระยะ 13 เมตร โดนเป้าคิดออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 53.33 % ในขณะที่แนวเดียวกันก็สามารถนำพัฒนาการของหุ่นยนต์นี้มาเพิ่มศักยภาพให้มีการสอดแนมและเป็นหุ่นยนต์ในการโจมตีข้าศึกในทางการทหารได้ โดยไม่ต้องเกิดการสูญเสียกำลังพลในการสู้รบ และมีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยพร อัดโตดดร ถวัลย์ คุณโทถม กิตติศักดิ์ ดียา และพิพัฒน์ ดุรงค์ดำรงชัย. (2561). การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์กู้ภัยแบบไร้สายที่ควบคุมด้วยระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Infrastructure เพื่อใช้ในการแข่งขัน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสถาปัตยกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9 วันที่ 7 กันยายน 2561 ณ อาคาร 50 ปี เทคนิคไทย-เยอรมัน ขอนแก่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, หน้า 290-296.
- [2] A.F.T. Winfield, O.E. Holland. (2000). The application of wireless local area network technology to the control of mobile robots, Microprocessors and Microsystems 23, pp. 597–607.
- [3] สิริรัตน์ ไตรวิรัตน์. (2557). หุ่นยนต์สังหาร และการยอมรับจากมวลมนุษยชาติ, วารสารวิชาการโรงเรียนนายเรือด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 สิงหาคม 2557, สมุทรปราการ.

- [4] Akash Gulati, Mohit Sharma, Nikhil Sharma, Dr. Shaveta Bhatia. (2017). Ad-Hoc Network and Their Applications, International Journal of Scientific Engineering and Science, Volume 1, Issue 12, pp. 65-68.
- [5] Pradeep Kumar Jaisal. (2011). Protocols and Applications of Ad-hoc Robot Wireless Communication Networks: An Overview, International Journal of electronics & communication technology, ISSN: 2230-9543 (Print).

การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสียงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกของโรงงาน แห่งหนึ่ง จังหวัดราชบุรี

THE MEASUREMENT AND MAPPING OF NOISE LEVELS IN A FACTORY PLASTIC SACK PRODUCTION PROCESS AT RATCHABURI

ณัฐพล พิมพ์พรมมา

Natthaphon Phimphomma

Received: 14 September 2021

Revised: 15 November 2021

Accepted: 27 December 2021

อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

Corresponding author, Email: no.ne23880@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงาน เพื่อจัดทำแผนที่เส้นเสียง และกำหนดพื้นที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก ทำการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่ซึ่งแบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็น 11 พื้นที่ รวมจุดตรวจวัดทั้งหมด 352 จุด โดยใช้เครื่องเครื่องวัดระดับเสียง Sound level meter รุ่น NL-42EX (Class 2) ที่ได้มาตรฐาน เครื่องวิเคราะห์เสียง 25 to 141 dB มาตรฐาน Class 2 Frequency weighting A / C / Z, range 20Hz to 8kHz ตัวเครื่องมาตรฐาน IEC 61672 Type 2, ANSI S1.4, JISC1509-1 นำผลตรวจวัดระดับเสียงมาจัดทำแผนที่เส้นเสียง และกำหนดพื้นที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ.2561 พบว่าทุกพื้นที่ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก มีเสียงดังเกินมาตรฐานทั้ง 352 จุด คิดเป็นร้อยละ 100 ระดับเสียงเฉลี่ย 98.7 dB(A) ดังนั้นในบริเวณกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก ต้องมีการกำหนดมาตรการเพื่อป้องกันและลดผลกระทบด้านเสียงของพนักงานขณะปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพการได้ยินโดยเบื้องต้นควรกำหนดให้มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล คือ ที่อุดหู ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถลดการสัมผัสเสียงดังได้ และควรดำเนินการจัดทำมาตรการการอนุรักษ์การได้ยินเพื่อให้สอดคล้องตามกฎหมาย และเพื่อลดความเสี่ยงด้านสมรรถภาพการได้ยินของพนักงาน

คำสำคัญ: เสียงดัง แผนที่เสียง กระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล

ABSTRACT

The aims of this study are noise levels assessment on working environment, to noise lines map making and area formulation of wearing personal protective equipment. The noise levels area measurement was divided 11 areas and total 352 points measurement by plastic sack production process. The equipment was used to measures include NL-42EX (Class 2) series of sound level meter and sound's analysis equipment are 25-141 dB ranges Class 2 Frequency standard weighting A / C / Z including 20Hz-8kHz ranges IEC 61672 Type 2 standard, ANSI S1.4, JISC1509-1. The noise levels measurement result to lines mapping and area formulation of wearing

personal protective equipment showed that when compared to the noise levels standard that allowed employee to average receive over the course of a day's work of 2018 from the Department of Labor Protection and Welfare found all of area in plastic sack production process has 352 points measurement noise over standard (100%), noise averages 98.7 dB(A). Therefore, the area of production process should determine measures to protection and reduce the noise effect of employees while working and to prevent hearing impairment initially should determine measures to wearing personal protective equipment, which equipment can reduce noise exposure by using earplugs. Finally, hearing conservation measures can reduce the risk of employees hearing and according with the law.

Keywords: Noise, Noise contour map, Production process of plastic sack, Personal protective equipment

1. บทนำ

ข้อมูลสถิติโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2559 พบผู้สูญเสียการได้ยินเนื่องจากการสัมผัสเสียงดังคิดเป็นอัตราป่วยต่อแสนคนเท่ากับ 101.49 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2558 (อัตราป่วย 81.48) [1] การสูญเสียการได้ยินจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต การทำงานในสถานที่ที่มีเสียงดังติดต่อกันอย่างต่อเนื่องอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ความดันโลหิตที่สูงขึ้น เพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ กระทบการนอนหลับ ก่อให้เกิดความรำคาญ หูอื้อ เสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยินทั้งแบบชั่วคราวและถาวรได้ [2] ถือเป็นปัญหาของประเทศกำลังพัฒนาทางอุตสาหกรรมซึ่งพบมากขึ้นเรื่อย ๆ และเป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญที่เกิดจากการประกอบอาชีพ อุตสาหกรรมที่ต้องสัมผัสเสียงดังในปัจจุบัน เช่น โรงงานผลิตกระสอบพลาสติก ในกระบวนการทอกระสอบพลาสติกจะมีระดับเสียงดังในกระบวนการผลิตที่สูงเมื่อพนักงานได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลานานๆ อาจเกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้

โรงงานผลิตกระสอบพลาสติกเป็นโรงงานที่ต้องปฏิบัติตามกฎหมายซึ่งเป็นประเภทกิจการที่ต้องมีการดำเนินการตรวจวัดระดับเสียงในการทำงาน เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานงานที่มีระดับเสียงดัง ตามประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน [3] ต้องไม่ให้พนักงานสัมผัสระดับเสียงดังเกินมาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน (Time Weighted Average; TWA) 8 ชั่วโมงการทำงานมิให้เกิน 85 เดซิเบลเอ ระดับเสียงดังนับเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่งของสภาพแวดล้อมการทำงาน ขั้นตอนการผลิตของกระบวนการทอกระสอบพลาสติกมีเสียงดังที่เกิดจากการทำงานของเครื่องจักรซึ่งเป็นเสียงดังแบบต่อเนื่อง (continuous noise) ในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นที่ต้องให้พนักงานประจำอยู่บริเวณเครื่องจักรทำให้พนักงานได้รับสัมผัสเสียงดัง หากได้รับสัมผัสเสียงดังในระยะยาวย่อมส่งผลให้เกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินจึงเป็นที่ต้องมีการดำเนินการจัดการการแผ่รังสีเสียงดัง (noise contour) จากการศึกษาการพัฒนาระบบแผ่รังสีสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในโรงงานปั่นทออุตสาหกรรมพบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความผิดปกติของการได้ยินร้อยละ 46.5 ระดับเสียงในที่ทำงานมีความสัมพันธ์กับสมรรถภาพการได้ยิน ($P < .05$) [4] และการศึกษาการประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงานและจัดทำแผนที่เส้นเสียงในกระบวนการผลิตโรงงานสิ่งทอ จากผลตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่การทำงานในโรงงานขึ้นทอพบว่าร้อยละ 71.99 มีระดับเสียงเกินที่มาตรฐานที่ยอมรับได้ พื้นที่การทำงานทั้ง 4 แผนก ที่มีระดับเสียงเกิน 85 dB(A) จะต้องดำเนินการป้องกันและแก้ไขเพื่อให้สอดคล้องกับกฎหมายและเพื่อลดความเสี่ยงทางด้านสมรรถภาพการได้ยินของพนักงาน [5]

การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่แสดงระดับเสียงรบกวน จะช่วยให้สามารถบ่งชี้ถึงปัญหาและการได้รับเสียงรบกวนจากเครื่องจักร สามารถตรวจพบได้ตั้งแต่แรกเริ่มและการป้องกันและควบคุมเสียงรบกวนได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งทำให้ทราบถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้ยินอีกด้วย การตรวจวัดเสียงจึงเป็นการศึกษาการรับสัมผัสเสียงของพนักงานที่ทำงานในกระบวนการผลิต ที่ได้รับผลกระทบจากเครื่องจักร จึงทำการตรวจวัดและการจัดทำแผนที่แสดงระดับเสียงรบกวน เพื่อหาแนวทางหรือมาตรการในการควบคุมเสียงดัง [6] จากหลักการและเหตุผลดังกล่าวจะเห็น

ว่าการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดัง (Noise induced hearing loss) เกิดการสูญเสียการได้ยินจะเกิดจากการทำลายประสาทการได้ยินค่อยๆ พัฒนาโดยใช้ระยะเวลานานหลายปี ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ที่ได้รับสัมผัสเกิดการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินไปชั่วคราวหรืออาจสูญเสียการได้ยินแบบถาวรได้ นอกจากนี้การสูญเสียการได้ยินเนื่องจากการสัมผัสกับเสียงดังยังเป็นปัญหาสุขภาพเกิดขึ้นตามมาอีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสียงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก ซึ่งได้ดำเนินการตรวจวัดตามหลักเกณฑ์ของประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีดำเนินการตรวจวัด และวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบการ ระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ พ.ศ.2561 เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงต่อการสูญเสียการได้ยิน เพื่อจัดทำมาตรการควบคุมและป้องกันอันตรายจากเสียงให้กับพนักงานและนำไปใช้ในการจัดการมลพิษด้านเสียงต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก
- 2.2 จัดทำแผนที่เส้นเสียง (Noise Contour Map) ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก
- 2.3 เพื่อกำหนดพื้นที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment) ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาแบบภาคตัดขวาง (cross sectional study) ซึ่งศึกษาในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก เพื่อดำเนินการตรวจวัดและประเมินระดับเสียงและนำข้อมูลมาจัดทำแผนที่เส้นเสียง

3.1 กลุ่มตัวอย่าง

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้เป็นการศึกษาในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก ซึ่งประกอบด้วย แผนผังจุดติดตามตรวจสอบระดับเสียง (Noise Contour Map) แผนผังจุดติดตามตรวจสอบเพื่อจัดทำแผนที่เส้นระดับเสียง (Noise Contour Map) ภายในพื้นที่ของบริษัทในระยะดำเนินการ โดยทำการตรวจวัดเสียงทั้งหมด 352 จุด พื้นที่และจุดติดตามตรวจสอบและขอบเขตพื้นที่ออกเป็นทั้งหมด 11 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

- ทางเดินด้านหน้าของกระบวนการผลิต	27	จุด
- ทางเดินด้านข้างของกระบวนการผลิตกับแผนกซ่อมบำรุง	55	จุด
- ไลน์ผลิตที่ 1 ของแผนกทอกระสอบ	30	จุด
- ทางเดินไลน์ผลิตที่ 1 และไลน์ผลิตที่ 2	20	จุด
- ไลน์ผลิตที่ 2 ของแผนกทอกระสอบกับแผนกกรอตัว	44	จุด
- ทางเดินไลน์ผลิตที่ 2 และไลน์ผลิตที่ 3	11	จุด
- ไลน์ผลิตที่ 3 แผนกทอกระสอบ	44	จุด
- ทางเดินไลน์ผลิตที่ 3 และไลน์ผลิตที่ 4	11	จุด
- ไลน์ผลิตที่ 4 แผนกทอกระสอบ	55	จุด
- ไลน์ผลิตที่ 5 แผนกทอกระสอบ	44	จุด
- ทางเดินด้านหลังของกระบวนการผลิต	11	จุด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้คือเครื่องวัดระดับเสียง Sound level meter รุ่น NL-42EX (Class 2) Serial Number 00572439 ที่ได้มาตรฐาน เครื่องวิเคราะห์เสียง 25 to 141 dB มาตรฐาน Class 2 Frequency weighting A / C / Z, range 20Hz to 8kHz ตัวเครื่องมาตรฐาน IEC 61672 Type 2, ANSI S1.4, JISC1509-1 [7] และตรวจวัดตามหลักเกณฑ์ ของ

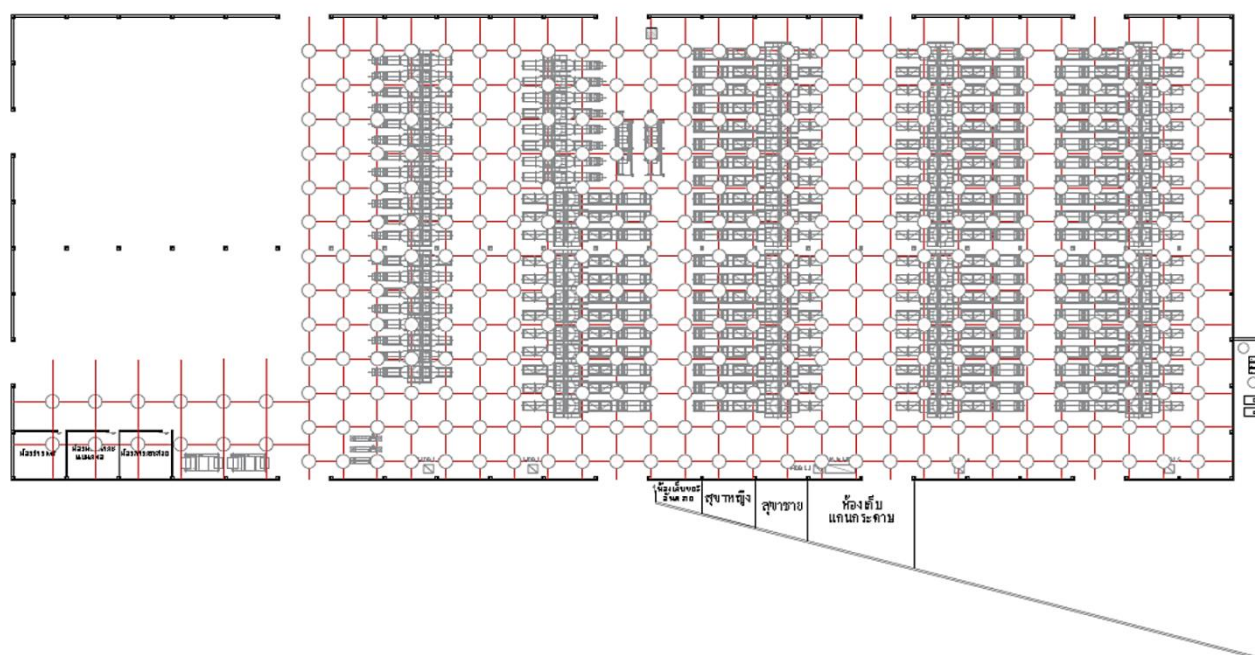
ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่องหลักเกณฑ์ วิธีดำเนินการตรวจวัด และวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความรบกวน แสงสว่าง หรือเสียงภายในสถานประกอบการ ระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ พ.ศ. 2561

3.3 ขั้นตอนในการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 การสำรวจเบื้องต้น เป็นการสำรวจพื้นที่ทำงานของสถานประกอบการกิจการทั้งหมด เพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยการเดินสำรวจและจดบันทึกข้อมูลว่าบริเวณการทำงานใดบ้างที่ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับหรือสัมผัสเสียงดัง เสียงดังที่เกิดขึ้นมีลักษณะแบบใดและระยะเวลาที่ได้รับหรือสัมผัสเสียงของพนักงานนานเพียงใด แล้วพิจารณาเลือกเครื่องมือให้เหมาะสมกับการตรวจวัด ระหว่างการสำรวจนี้มีแผนผังของโรงงานและกระบวนการผลิตด้วย เพื่อความสะดวกในการบันทึกข้อมูลเบื้องต้นที่พบระหว่างการสำรวจ การวางแผนกำหนดจุดตรวจวัด และบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องหรือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การตรวจวัดโดย

3.3.2 กำหนดจุดตรวจวัดจากพื้นที่กระบวนการผลิตทั้งหมด โดยทำการตึกกำหนดระยะห่างจุดตรวจวัดโดยตึกกำหนดระยะห่างช่องละ 4*4 เมตร เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่พนักงานปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลาการทำงาน และระยะช่องห่าง 5*5 เมตร เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีผู้ปฏิบัติงานบางครั้งไม่ตลอดเวลาการทำงาน รวมจุดตรวจวัดทั้งพื้นที่กระบวนการผลิตได้ 352 จุด [8]

3.3.3 วิธีการตรวจระดับเสียงเพื่อจัดทำแผนที่เส้นระดับเสียง ดำเนินการติดตามตรวจสอบระดับเสียงเฉลี่ย 5 นาที (L_{Aeq} 5 minutes) ระดับเสียงสูงสุด (L_{Amax}) และระดับเสียงต่ำสุด (L_{Amin}) โดยใช้มาตรฐานระดับเสียงชนิด Integrated Sound Level Meter เป็นมาตรฐานระดับเสียง Type 2 ที่ได้มาตรฐานสากล IEC 61672 ก่อนการตรวจวัดจะทำการสอบเทียบและตรวจสอบความถูกต้องด้วยเครื่อง Sound Level Calibrator ที่ระดับเสียงมาตรฐาน 94.0 dB ทำการแบ่งพื้นที่ปฏิบัติงานที่จะทำการติดตามตรวจสอบระดับเสียงเพื่อจัดทำแผนที่เส้นระดับเสียง (Noise Contour Map) ออกเป็นขนาด 4*4 เมตร และ 5*5 เมตร ดังรูปที่ 1 ทำการตรวจวัดระดับเสียงเฉลี่ย 5 นาที (L_{Aeq} 5 minutes) และระดับเสียงสูงสุด (L_{Amax}) และระดับเสียงต่ำสุด (L_{Amin}) ระหว่างชั่วโมงการทำงานปกติ บันทึกข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดในแต่ละจุดลงในโปรแกรม SURFER Software Version 13 ของประเทศสหรัฐอเมริกา โปรแกรมจะแสดงแผนที่ของระดับเสียงในช่วงต่างๆ (Noise Contour Map) หลังจากการตรวจวัดระดับเสียงเรียบร้อยแล้ว นำข้อมูลที่ผ่าน การวิเคราะห์ทั้งหมดมาจัดทำเป็นแผนแสดงระดับเสียงในกระบวนการผลิตซึ่งสามารถนำไปประเมินผลเพื่อกำหนดมาตรการลดและป้องกันระดับเสียงจากแหล่งกำเนิดได้

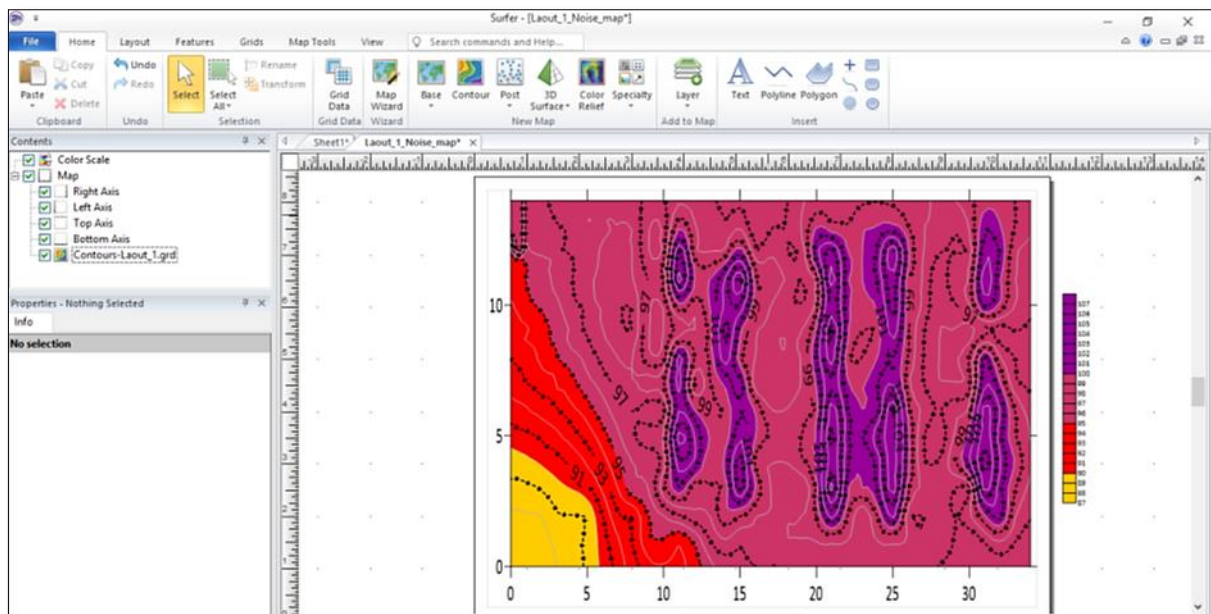


รูปที่ 1 การกำหนดจุดตรวจวัด

The screenshot shows the Surfer software interface with a data grid. The grid contains noise level data points for various locations. The data is as follows:

Location	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
49	10	9	96												
50	10	10	96												
51	10	11	97												
52	10	12	96												
53	10	13	96												
54	11	1	94												
55	11	2	97												
56	11	3	101												
57	11	4	103												
58	11	5	105												
59	11	6	102												
60	11	7	103												
61	11	8	103												
62	11	9	97												
63	11	10	100												
64	11	11	105												
65	11	12	104												
66	11	13	100												
67	12	1	95												
68	12	2	98												
69	12	3	98												
70	12	4	102												
71	12	5	102												
72	12	6	100												

รูปที่ 2 การคีย์ข้อมูลลงโปรแกรมสำเร็จรูป



รูปที่ 3 แถบสีแสดงระดับเสียงตามจุดตรวจวัด

4. ผลการวิจัย

การประเมินระดับเสียงดังในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกผลการศึกษาพบว่า การตรวจวัดระดับเสียงทางเดินด้านหน้าของกระบวนการผลิต ตรวจวัดทั้งหมด 27 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 86.2 dB(A) ทางเดินด้านข้างของกระบวนการผลิตกับแผนกซ่อมบำรุง ตรวจวัดทั้งหมด 55 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 97.8 dB(A) ไลน์ผลิตที่ 1 ของแผนกทอกระสอบ ตรวจวัดทั้งหมด 30 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 98.5 dB(A) ทางเดินไลน์ผลิตที่ 1 และไลน์ผลิตที่ 2

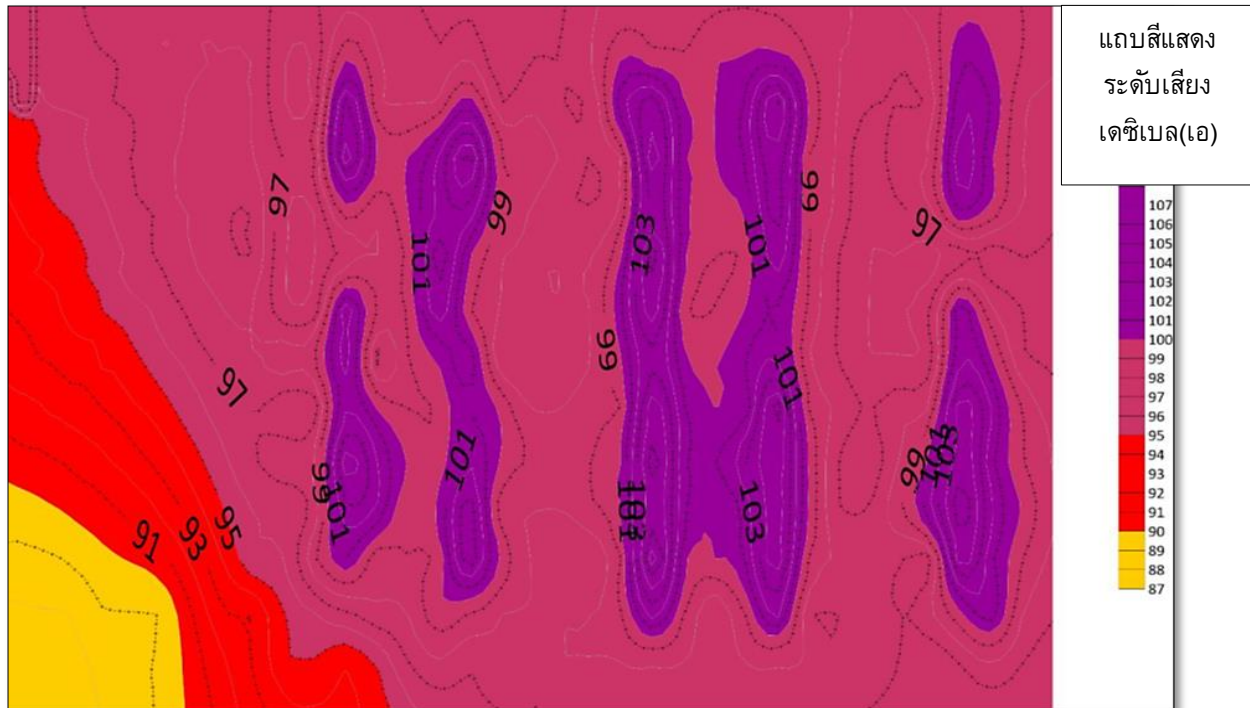
ตรวจวัดทั้งหมด 20 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 99.1 dB(A) ไหล่ผลิตที่2 ของแผนกทอกระสอบกับแผนกรอด้าย ตรวจวัดทั้งหมด 44 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 101.8 dB(A) ทางเดินไหล่ผลิตที่2และไหล่ผลิตที่3 ตรวจวัดทั้งหมด 11 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 97.6 dB(A) ไหล่ผลิตที่3 แผนกทอกระสอบ ตรวจวัดทั้งหมด 44 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 100.5 dB(A) ทางเดินไหล่ผลิตที่3 และไหล่ผลิตที่4 ตรวจวัดทั้งหมด 11 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 100 dB(A) ไหล่ผลิตที่4 แผนกทอกระสอบ ตรวจวัดทั้งหมด 55 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 99.5 dB(A) ไหล่ผลิตที่5 แผนกทอกระสอบ ตรวจวัดทั้งหมด 44 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 90.3 dB(A) ทางเดินด้านหลังของกระบวนการผลิต ตรวจวัดทั้งหมด 11 จุด มีระดับเสียงเฉลี่ย 98.3 dB(A)

เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับมาตรฐานของประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน เรื่อง มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ.2561 [9] ได้กำหนดมาตรฐานการรับสัมผัสเสียงดังกรณีทำงาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จะต้องได้รับสัมผัสเสียงไม่เกิน 85 dB(A) ซึ่งผลการศึกษา พบว่า ทุกพื้นที่ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกมีเสียงดังเกินมาตรฐานทั้ง 352 จุด คิดเป็นร้อยละ 100 ระดับเสียงเฉลี่ย 98.7 dB(A) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดระดับเสียงในสภาพแวดล้อมการทำงานในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก

พื้นที่ตรวจวัด	จำนวนจุดที่ตรวจวัด	ค่าเฉลี่ย dB(A)	ต่ำสุด-สูงสุด dB(A)	ผลการตรวจวัด	
				ผ่านมาตรฐานจุด (ร้อยละ)	ไม่ผ่านมาตรฐานจุด (ร้อยละ)
ทางเดินด้านหน้าของกระบวนการผลิต	27	86.2	87-99	0(0.0)	22(100)
ทางเดินด้านข้างของกระบวนการผลิตกับแผนกซ่อมบำรุง	55	97.8	94-103	0(0.0)	55(100)
ไหล่ผลิตที่ 1 ของแผนกทอ	30	98.5	95-105	0(0.0)	30(100)
ทางเดินไหล่ผลิตที่1และไหล่ผลิตที่2	20	99.1	96-102	0(0.0)	20(100)
ไหล่ผลิตที่ 2 ของแผนกทอกระสอบกับแผนกรอด้าย	44	101.8	96-104	0(0.0)	44(100)
ทางเดินไหล่ผลิตที่2และไหล่ผลิตที่3	11	97.6	97-99	0(0.0)	11(100)
ไหล่ผลิตที่3 แผนกทอกระสอบ	44	97.6	97-107	0(0.0)	44(100)
ทางเดินไหล่ผลิตที่3และไหล่ผลิตที่4	11	100.5	99-101	0(0.0)	11(100)
ไหล่ผลิตที่4 แผนกทอกระสอบ	55	100	96-106	0 (0.0)	55(100)
ไหล่ผลิตที่5 แผนกทอกระสอบ	44	99.5	96-106	0 (0.0)	44(100)
ทางเดินด้านหลังของกระบวนการผลิต	11	90.3	97-100	0 (0.0)	11(100)
รวม	352	98.7	87-107	0	352

การตรวจสอบระดับเสียงเพื่อจัดทำแผนที่เส้นระดับเสียง (Noise Contour Map) บริเวณพื้นที่ที่มีเสียงดัง จากผลการศึกษา ระดับเสียงดังในพื้นที่การทำงานในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก ได้นำมาจัดทำแผนที่เส้นเสียง โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป (SURFER 13) สำหรับการทำให้แผนที่เสียง ดังนี้



รูปที่ 4 แสดงแผนที่เส้นระดับเสียง (Noise Contour Map) กระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก

การกำหนดพื้นที่ในการใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPE) ในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก พบว่าพื้นที่จุดตรวจวัดเสียงมีระดับเสียงมากกว่า 85 dB(A) ทุกจุดในพื้นที่ต้องจัดให้มีอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเช่น Ear plug หรือ Ear muff และมีการจัดทำมาตรการการการอนุรักษ์การได้ยิน เพื่อป้องกันอันตรายจากการได้รับสัมผัสเสียงดังเป็นเวลานานๆและยังสามารถป้องกันการเสื่อมสมรรถภาพการได้ยินจากการทำงานอีกด้วย ทั้งนี้ควรจัดให้มีมาตรการป้องกันและเฝ้าระวังต่อไป

5. สรุปและอภิปรายผล

ผลจากการตรวจวัดระดับเสียงในพื้นที่การทำงานของกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก มีค่าระดับเสียงเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คิดเป็นร้อยละ 100 ระดับเสียงเฉลี่ย 98.7 dB(A) จากผลการศึกษาพบว่าทุกพื้นที่ของกระบวนการผลิตมีระดับเสียงที่เสี่ยงต่อการสูญเสียสมรรถภาพการได้ยินของพนักงาน เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีเครื่องจักรจำนวนมาก มีเครื่องทอกระสอบและเครื่องกรอด้วย ทำให้เกิดเสียงดังเมื่อเครื่องจักรทำงาน อีกทั้งพื้นที่ภายในอาคารเป็นอาคารแบบปิดทั้งสี่ด้าน จึงส่งผลให้ระดับเสียงในพื้นที่การทำงานสูงเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้ ระดับเสียงบริเวณกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกแต่ละพื้นที่จะมีระดับเสียงค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้กับพนักงานที่ต้องปฏิบัติงานนานถึง 8 ชั่วโมง จึงต้องมีการกำหนดมาตรการป้องกันและลดผลกระทบด้านเสียงต่อพนักงาน

จากการจัดทำแผนที่เส้นระดับเสียง (Noise Contour Map) พบว่า กระบวนการผลิตกระสอบพลาสติกทุกพื้นที่มีระดับเสียงมีค่ามากกว่า 85 dB(A) ดังนั้น ในบริเวณดังกล่าว ต้องมีการกำหนดมาตรการเพื่อป้องกันและลดผลกระทบด้านเสียง เช่น การติดป้ายเตือนพื้นที่ที่มีเสียงดัง เพื่อเตือนพนักงานก่อนเข้าปฏิบัติงานในพื้นที่เสียง รวมทั้งจัดหาอุปกรณ์ป้องกันเสียงส่วนบุคคล เช่น ที่ครอบหู (Ear Muff) หรือที่อุดหู (Ear Plug) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถลดระดับเสียงต่อการได้ยินของหู แก่พนักงานที่ต้องทำงานในบริเวณที่มีเสียงดัง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจกระทบต่อการได้ยินของพนักงาน ร่วมกับมาตรการลดระดับเสียงที่ต้นกำเนิดเสียงจากการดำเนินการปรับปรุงหรือแก้ไขทางด้านวิศวกรรม โดยการควบคุมที่ต้นกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียงหรือบริหารจัดการเพื่อควบคุมระดับเสียงที่ลูกจ้างจะได้รับให้ไม่เกินมาตรฐาน

ที่กำหนด การจัดทำแผนผังระดับเสียง (Noise Contour map) บนพื้นที่ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรมจัดเป็นเครื่องมือสำคัญในการควบคุมและป้องกันปัญหาด้านมลพิษทางเสียงให้แก่ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม แผนผังระดับเสียงจะแสดงความแตกต่างระดับเสียงบนพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานทราบว่าต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเสียง หรือมีเวลาในการปฏิบัติงานบนพื้นที่นั้นๆ มากน้อยเพียงใดโดยไม่ให้มีผลกระทบต่อการได้ยินทั้งระยะสั้นและระยะยาว

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาระดับเสียงดังและแผนที่เส้นเสียงในกระบวนการผลิตกระสอบพลาสติก พบว่า มีค่าระดับความเสียงเกินมาตรฐานที่กำหนดไว้คิดเป็นร้อยละ 100 ดังนั้น เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงการเสื่อมสมรรถภาพการได้ยินของพนักงานควรมีมาตรการป้องกัน ควบคุม เพื่อลดระดับเสียงดังให้ลดลง โดยเบื้องต้น ควรมีการดำเนินการปรับปรุงหรือแก้ไขทางด้านวิศวกรรม โดยการควบคุมที่ต้นกำเนิดของเสียงหรือทางผ่านของเสียงหรือบริหารจัดการเพื่อควบคุมระดับเสียงที่ลูกจ้างจะได้รับให้ไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด การจัดทำมาตรการอนุรักษ์การได้ยินในสถานประกอบการ และควรมีการหมุนเวียนช่วงเวลาการทำงานเพื่อลดโอกาสในการรับสัมผัสเสียง รวมทั้งควรจัดอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล คือ Ear plug หรือ Ear muff ให้กับพนักงานที่ต้องทำงานในพื้นที่เสียงดัง และควรมีการตรวจวัดสมรรถภาพการได้ยินของพนักงานอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง เพื่อเป็นการเฝ้าระวังการเสื่อมสมรรถภาพการได้ยินจากการทำงานด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. (2563, พฤศจิกายน, 10). รายงานสถานการณ์โรคและภัยสุขภาพ จากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม ปี2559, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://envocc.ddc.moph.go.th/uploads/situation/01_envocc_situation_59.pdf
- [2] อุไรวรรณ หมัดอำตม์, สุภาภรณ์ ยิ้มเที่ยง, ทศณัฐ เรืองสุวรรณ, จิตตาภรณ์ มงคลแก่นทราย และ นุจริัย แซ่จิ้ว. "การสูญเสียการได้ยินของพนักงานชาวเมียนมาที่สัมผัสเสียงดัง ในโรงงานแปรรูปไม้อย่างพารา จังหวัดนครศรีธรรมราช", *วารสารพยาบาลศาสตร์และสุขภาพ*, 41(4), 2561, หน้า 23-33.
- [3] ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. "หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ พ.ศ. 2561" ราชกิจจานุเบกษาเล่ม 135 ตอนพิเศษ 57 ง.
- [4] ยุพดี จินดาพงษ์. "การพัฒนาระบบการเฝ้าระวังสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในโรงงานปั้นทออุตสาหกรรม เพื่อป้องกันการสูญเสียการได้ยินจากเสียงดัง", *วารสารแพทย์เขต 6-7*, 27(2-3), 2551, หน้า 979-987.
- [5] มัตติกา ยงประเดิม. (2563, ธันวาคม, 18). การวัดระดับเสียงและแผนที่เส้นเสียงในกระบวนการผลิตของโรงงานสิ่งทอจังหวัดขอนแก่น, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://jes.rtu.ac.th/rtunc2017/pdf/Oral%20Tung%20Jongpradom.pdf>
- [6] วิชาญ บุญคำ และ วราภรณ์ ทุมวงษ์. "การตรวจวัดและการจัดทำแผนที่เสียงรบกวนในโรงงานผลิตตู้แช่เย็นจังหวัดกรุงเทพมหานคร", *วารสารวิชาการ เทคโนโลยี ผลงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม*, 6(2), (2562), หน้า 21-29
- [7] กระทรวงแรงงาน. (2563, ธันวาคม, 11). แนวปฏิบัติตามกฎหมายกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://medinfo2.psu.ac.th/commed/occmmed/images/TIS18001/tisp4/law%20Physi/images/law/practice_hot.pdf

- [8] สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2563, พฤศจิกายน, 24). คู่มือวัดเสียงรบกวน, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/06/pcdnew-2020-06-05_06-47-44_590694.pdf
- [9] ประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. “มาตรฐานระดับเสียงที่ยอมให้ลูกจ้างได้รับเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานในแต่ละวัน พ.ศ. 2561” ราชกิจจานุเบกษาเล่ม 135 ตอนพิเศษ 19 ง.

ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย

REVERSE LOGISTICS SYSTEM FOR THE MANAGEMENT OF FLUORESCENT WASTE IN THAILAND

เชษฐภณณ์ ปัญญาวิชรวงศ์^{1*} ณัฐนันท์ พิมล² ชุตินาพร หมอนใหญ่³ รวมพล จันทรศาสตร์⁴

นพดล คุรุวัชรพงศ์⁵ ฉัตรปกรณณ์ วงศ์สอนธรรม⁶ เรกซ์ เซตวิก รุ่งเรือง⁷

Chetphanat Panyawacharawogse^{1*} Natthanant Pimon² Chutimaporn Mornyai³ Ruompol Jantasart⁴

Nopphadol Kuruwacharaphong⁵ Chatpakorn Wongsontham⁶ Rex Chadwick Rungruang⁷

^{1, 4, 5, 6, 7} หลักสูตรบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน
วิทยาลัยเซารัสท์บางกอก

² นักวิชาการอิสระ

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีโลจิสติกส์ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

*Corresponding author, Email: Chetphanat_I@hotmail.com

Received: 14 September 2021

Revised: 9 December 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

การศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทยในการนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าของสินค้า และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเกิดความปลอดภัยของผู้บริโภคมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย 2) เพื่อประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย 3) เพื่อออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย 4) เพื่อนำแนวทางการให้ความสำคัญต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย โดยการใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 องค์กร และกลุ่มตัวอย่าง ผู้บริโภค 400 คน ทำการใช้สถิติวิเคราะห์ทางพฤกษศาสตร์และสังคมศาสตร์ การวิเคราะห์ต้นทุนการบัญชีบริหารของระบบต้นทุนฐานกิจกรรมด้วยการบัญชีบริหาร ผลการศึกษา การออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์และมาตรการจูงใจในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เหมาะสม

คำสำคัญ: โลจิสติกส์ย้อนกลับ แบบจำลองโซ่อุปทานเพื่อสิ่งแวดล้อม ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์
การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม การบัญชีบริหาร

ABSTRACT

The Study of the Reverse Logistics System for the Management of Fluorescent Waste in Thailand which lead to product value added and to reduce environmental impact and create consumer safety. The purposes of this research aims to 1) To Study the factors affecting the reverse logistics management of fluorescent in Thailand. 2) To assess the cost of reverse logistics of fluorescent waste in Thailand 3) To design a reverse logistics system for fluorescent waste in Thailand 4) To propose incentives in reverse logistics management for

JEET 2021; 8(2)

ปลายทางของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงถูกฝังกลบโดยไม่มีการบำบัดก่อน [2] นอกจากนี้ ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์อยู่ใกล้ผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลาหลังการใช้เสร็จไม่ได้รับการรวบรวม คัดแยก จัดเก็บ กำจัดอย่างถูกวิธีและสุขลักษณะเมื่อถูกนำมาทิ้งกองอยู่ภายใต้และทับถมรวมกับขยะมูลฝอยกระจายอยู่ทุกพื้นที่ (Bulk Volume) และมีปริมาณน้ำหนักและวิธีการทิ้งอย่างผิดวิธี โดยไม่ได้ทำการจัดการคัดแยก กำจัด และทำลายทิ้งที่อย่างถูกต้อง โดยสถานการณ์การจัดการขยะมูลฝอยปัจจุบันมีความเสี่ยง หากไม่ได้รับการปรับปรุงการจัดการแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (Reverse logistics) หลอดฟลูออเรสเซนต์ส่งผลต่อการไปรวบรวมกับขยะมูลฝอย โดยอาจถูกเผาไหม้ควันซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศ (Smoke pollution) ที่เป็นพิษและสิ่งแวดล้อมที่มีปัญหา ดังนั้น ปัญหาสำคัญ คือ ความไม่เข้มงวด หรือแนวทางการรักษาสังแวดล้อมของการจัดการซากผลิตภัณฑ์ปะปนกับขยะทั่วไปและการจัดการซากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกต้องเหมาะสม ก่อให้เกิดผลมีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของชุมชนและสังคม [1] [2]

ในการศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทยมุ่งเน้นกรณีศึกษาหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตรายและประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับที่แท้จริงของขยะอันตราย เพื่อนำเสนอมาตรการมุ่งเน้นในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตรายอันจะนำไปสู่การเพิ่มมูลค่าของสินค้า และช่วยลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและเกิดความปลอดภัยของผู้บริโภค

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย
2. เพื่อประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย
3. เพื่อออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย
4. เพื่อเสนอแนวทางการให้ความสำคัญต่อการรักษาสังแวดล้อมในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย

3. ขอบเขตของการวิจัย

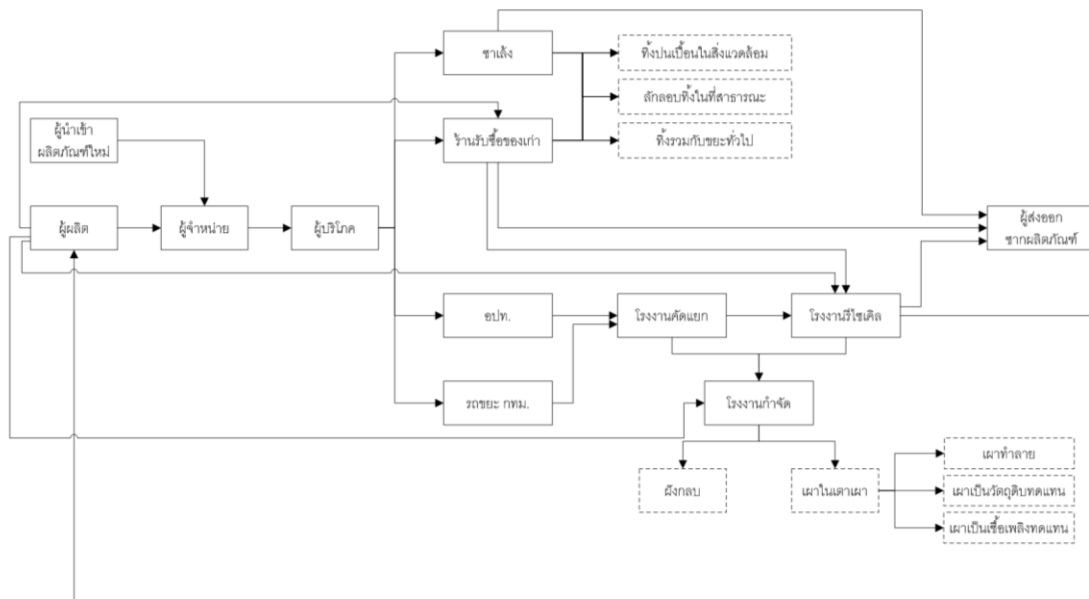
ขอบเขตของการศึกษาคือครอบคลุม ดังนี้

1. หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องต่อการกำหนดนโยบายและกำกับดูแลการจัดการขยะหลอดฟลูออเรสเซนต์
2. ผู้คัดแยกขยะในระบบ (Formal sector) ได้แก่ ร้านรับซื้อของเก่าที่มีใบอนุญาตประกอบกิจการร้านค้าของเก่าของกรมการปกครองกระทรวงมหาดไทย ในเขตกรุงเทพมหานคร และโรงงานรีไซเคิลประเภท 106
3. ศึกษาแบบโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตรายประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์
4. พื้นที่ศึกษาทำการศึกษในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

4. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

บริบทขยะอันตราย ประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไป ให้แสงสว่างนวลตาสบายตา มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าหลอดแบบมีไส้ถึง 8 เท่า และให้ความสว่างมากกว่าในกำลังวัตต์ที่เท่ากัน จึงเป็นที่นิยมและมีการใช้งานมากกว่า มีส่วนประกอบหลัก คือ แก้ว ส่วนที่เหลือประกอบด้วยขั้วหลอดที่ทำจากอะลูมิเนียม ผงฟอสเฟอร์สำหรับเคลือบผิวหลอดเพื่อการเรืองแสง นอกจากนี้ ภายในหลอดยังบรรจุด้วยสารปรอท [1]



รูปที่ 2 การจัดการซากผลิตภัณฑ์หลอดฟลูออเรสเซนต์ [3]

แนวคิดเกี่ยวกับโลจิสติกส์ย้อนกลับ

เป็นกระบวนการในการนำสินค้าที่ด้อยคุณภาพหรือผ่านการใช้งานจากผู้บริโภคแล้ว กลับคืนสู่ผู้ผลิตโดยอาศัยระบบการจัดการอย่างเป็นระบบ ซึ่งเป็นลักษณะของการมองย้อนกลับไปในกระบวนการโลจิสติกส์ทั่วไปอย่างที่เคยดำเนินการกัน ในลักษณะของการมองจากต้นน้ำไปสู่ปลายน้ำ คือ จากแหล่งวัตถุดิบผ่านกระบวนการลำเลียง ขึ้นรูป แปรรูป ต่าง ๆ จนกระทั่งออกสู่จุดขายหรือสู่มือผู้บริโภค แต่ในโลจิสติกส์ย้อนกลับนี้จะทำการพิจารณาในทางกลับกัน กล่าวคือ จะพิจารณาถึงกระบวนการต่าง ๆ ในการนำผลิตภัณฑ์จากมือผู้บริโภค กลับคืนมายังผู้ผลิตหรือแหล่งวัตถุดิบต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อตรวจสอบถึงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หรือความผิดพลาดของกระบวนการแปรรูปต่าง ๆ ในสายการผลิตเพื่อลดขั้นตอน เวลา ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ อันเกิดจากการขนส่งต่าง ๆ ภายในระบบได้เป็นอย่างดี ซึ่งเราเรียกว่าระบบการผลิตซ้ำ (Remanufacturing system) เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นเลิกใช้งานหรือถูกทิ้งแล้วก็จะถูกรวบรวม โดยผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่ง ผู้รับเหมาะจะนำกลับไปทำการผลิตใหม่และอีกส่วนหนึ่งจะถูกนำไปตัดแยกแล้วทำการถอดชิ้นส่วน เพื่อนำส่วนที่สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้กลับไปทำการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อนำเข้าสู่ระบบคงคลังเป็นชิ้นส่วนใหม่ต่อไป ในส่วนของชิ้นส่วนที่ไม่สามารถนำมาใช้งานใหม่ได้ หรืออาจใช้ได้แต่ต้องใช้เงินในการปรับปรุงคุณสมบัติที่สูง ซึ่งไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนก็จะถูกนำไปกำจัดยังแหล่งกำจัดต่อไป [4]

ต้นทุนกิจกรรม ABC

ต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing: ABC) เป็นวิธีการหนึ่งของการจัดสรรต้นทุนทรัพยากรขององค์กร โดยอาศัยกิจกรรมการผลิตสินค้าหรือบริการที่สร้างขึ้นสำหรับลูกค้า วิธีการ ABC เป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถเข้าใจถึงต้นทุนของสินค้าและลูกค้า และผลประโยชน์ที่ได้รับ ทำให้ ABC ถูกใช้เพื่อรองรับการตัดสินใจทางกลยุทธ์ เช่น การกำหนดราคา การจัดจ้างคนภายนอก และการระบุและการวัดกระบวนการดำเนินการ เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้เพื่อประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะอันตรายประเภทถ่านอัลคาไลน์และหลอดฟลูออเรสเซนต์ และสามารถคำนวณต้นทุนกิจกรรม ABC แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ [5] มีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดกิจกรรม ในสถานปฏิบัติงานเป้าหมาย ซึ่งต้องพิจารณาในรายละเอียดให้ครบถ้วน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาต้นทุนของปัจจัยหรือทรัพยากร (Input) ที่ใช้ในกิจกรรม โลจิสติกส์ทั้งหมด โดยใช้เอกสารทางบัญชีต่าง ๆ คำนวณแยกตามแต่ละปัจจัยเพื่อหาต้นทุนว่าแต่ละส่วนมีค่าใช้จ่ายเท่าใด ทั้งนี้ข้อมูลเหล่านี้จะต้องปรากฏในเอกสารจึงควรขอความร่วมมือจากแผนกบัญชีและแผนกอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องในการเก็บข้อมูล

ขั้นตอนที่ 3 นำต้นทุนของทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละด้านที่คำนวณได้ในขั้นตอนที่ 2 มากระจายตามแต่ละกิจกรรมตามจำนวนครั้งที่ปฏิบัติงานจริง โดยไม่มีข้อกำหนดตายตัวว่าควรกระจายต้นทุนทรัพยากรไปในกิจกรรมใด เป็นจำนวนเท่าใด จำแนกเป็นกิจกรรมย่อยหรือมองเป็นกิจกรรมใหญ่ และจะต้องมีความเหมาะสมตามสภาพการณ์จริงขององค์กร เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้ ผู้วิเคราะห์ก็จะได้ข้อมูลต้นทุนของกิจกรรมทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 4 การนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณต้นทุนรายกิจกรรม

ขั้นตอนที่ 5 เก็บรวบรวมข้อมูล ปริมาณงานของแต่ละกิจกรรม ซึ่งหมายถึงจำนวนครั้งของการปฏิบัติกิจกรรมนั้น ๆ สิ่งที่ต้องสังเกตคือ หน่วยของแต่ละกิจกรรมที่จะแตกต่างกัน โดยปกติหน่วยงานที่มีการบันทึกข้อมูลในลักษณะนี้มีน้อยมาก ส่วนใหญ่ผู้วิเคราะห์จะต้องเข้าไปเก็บข้อมูลปริมาณการปฏิบัติงานจริงในสถานปฏิบัติงาน ซึ่งแม้จะค่อนข้างลำบากแต่ผลที่ได้นับว่าคุ้มค่าเพราะทำให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ เพื่อนำมาสู่การจัดการโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะอย่างยิ่งการปรับปรุงระบบการควบคุมและจัดการกระจายสินค้าให้ก้าวหน้าพร้อมกับมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณต้นทุนต่อหน่วยของกิจกรรม โดยนำต้นทุนรวมของแต่ละกิจกรรมมาหารด้วยปริมาณการปฏิบัติงาน

ทั้งนี้ ยังมีนักวิจัยหลายท่านให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำทฤษฎีการวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรม (Activity-Based Costing) มาประยุกต์ใช้เพื่อเปรียบเทียบ หรือประเมินต้นทุนในระบบโลจิสติกส์แบบไปข้างหน้าและโลจิสติกส์ย้อนกลับ [6] การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-Based Costing) เป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบต้นทุนสินค้าภายใต้ระบบโซ่อุปทานแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับ ตามตารางที่ 1 พบว่า การดำเนินงานภายใต้โซ่อุปทานแบบย้อนกลับในทุกรูปแบบผลิตภัณฑ์ สามารถลดต้นทุนและเพิ่มกำไร (Net margin) ได้มากกว่าโซ่อุปทานแบบไปข้างหน้า (Forward supply chain) เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุการใช้งานแล้ว จะถูกนำกลับมาผ่านกระบวนการผลิต หรือซ่อมแซม อีกครั้ง ทำให้ระยะเวลา แรงงาน และวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตใหม่ลดลงตามระดับความเสียหายของผลิตภัณฑ์ย้อนกลับ

ตารางที่ 1 การคำนวณต้นทุนสินค้าในระบบโซ่อุปทานแบบย้อนกลับ

กิจกรรม	ต้นทุนผลิตภัณฑ์	การคำนวณ
1) กิจกรรมการรวบรวมและระบบโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์ใช้แล้ว	ต้นทุนค่าขนส่งย้อนกลับ	((ต้นทุนคงที่ต่อเดือน + (ต้นทุนแปรผัน*ระยะทางในการเก็บคืนแต่ละจังหวัด) + ค่าโสหุ้ยระหว่างเดินทาง + ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงานขนส่งและผู้ช่วย (ถ้ามี) + (ค่าแรงพนักงานขนส่งต่อชม.*ระยะเวลาในการจัดส่ง) + (ค่าแรงผู้ช่วยต่อชม.*ระยะเวลาในการเก็บคืน) x 2)) * จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อ Order
2) กิจกรรมการคัดแยก	ต้นทุนการตรวจเช็คสภาพ	(ค่าแรงพนักงานประสานงานต่อชม.*ระยะเวลาในการตรวจสอบ) x จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์
3) กิจกรรมการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้ว	ต้นทุนวัตถุดิบ/Order	ผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบที่ต้องใช้ในการซ่อมแซมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ x จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ต่อ Order

กิจกรรม	ต้นทุนผลิตภัณฑ์	การคำนวณ
4) กิจกรรมกระจายสินค้า	ต้นทุนค่าขนส่งขาเข้า/Order	(ต้นทุนคงที่ต่อเดือน + (ต้นทุนแปรผัน*ระยะทางรวมในการจัดซื้อ) + (ค่าแรงพนักงานขนส่งต่อชม. X ระยะเวลาในการจัดซื้อ)) * จำนวนรถขนส่งต่อ Order
	ต้นทุนค่าแรงการซ่อมแซม/Order	ผลรวมของค่าแรงพนักงานที่เกี่ยวข้องในแต่ละกิจกรรมซ่อมแซมต่อชั่วโมง x ชั่วโมงการทำงาน ต่อ กิจกรรม
	ต้นทุนค่าจัดส่งสินค้า/Order (จากโรงงาน-ลูกค้าปลายทาง)	((ต้นทุนคงที่ต่อเดือน + (ต้นทุนแปรผัน*ระยะทางในการจัดส่งแต่ละจังหวัด) + ค่าโสหุ้ยระหว่างเดินทาง + ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงานขนส่งและผู้ช่วย (ถ้ามี) + (ค่าแรงพนักงานขนส่งต่อชม.*ระยะเวลาในการจัดส่ง) + ((ค่าแรงผู้ช่วยต่อชม.*ระยะเวลาในการจัดส่ง) x 2)) * จำนวนเที่ยวรถขนส่งต่อ Order

5. การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีได้ทำการศึกษาระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย เนื่องจากการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับทุกคนตั้งแต่ผู้ผลิต ผู้ขาย และผู้ใช้ผลิตภัณฑ์จนถึงผู้รวบรวม คัดแยก และนำกลับมาใช้ใหม่หรือกำจัดทิ้ง จึงทำการศึกษาวิจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ และออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับที่เหมาะสม พร้อมทั้งประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ รวมถึงศึกษานโยบาย มาตรการในการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในปัจจุบันของไทยเปรียบเทียบกับต่างประเทศที่มีการจัดการที่ดี เพื่อนำไปสู่การหาแนวทางการให้ความสำคัญต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมในการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

โดยทำการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาจากการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มที่ 1 องค์กรภาครัฐและสถานประกอบการในการใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ตามเกณฑ์การคัดเลือกมาจากผู้เชี่ยวชาญมีประสบการณ์โดยตรงในการดำเนินงาน เพื่อทำการศึกษาด้วยวิธีเดลฟาย (Delphi Method) ในการกำหนดจำนวนการเข้าสัมภาษณ์เชิงลึก [7] มีรายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิจัยด้วยวิธีเดลฟาย (Delphi technique)

จำนวนผู้เชี่ยวชาญ	ความคลาดเคลื่อน	อัตราการลดลงของความคลาดเคลื่อน
1 – 5	1.20 -0.70	0.50
5 – 9	0.70 – 0.58	0.12
9 – 13	0.58 – 0.54	0.04
13 – 17	0.54 – 0.50	0.04
17 – 21	0.50 – 0.46	0.02
21 – 25	0.48 – 0.46	0.02
25 - 29	0.46 – 0.44	0.02

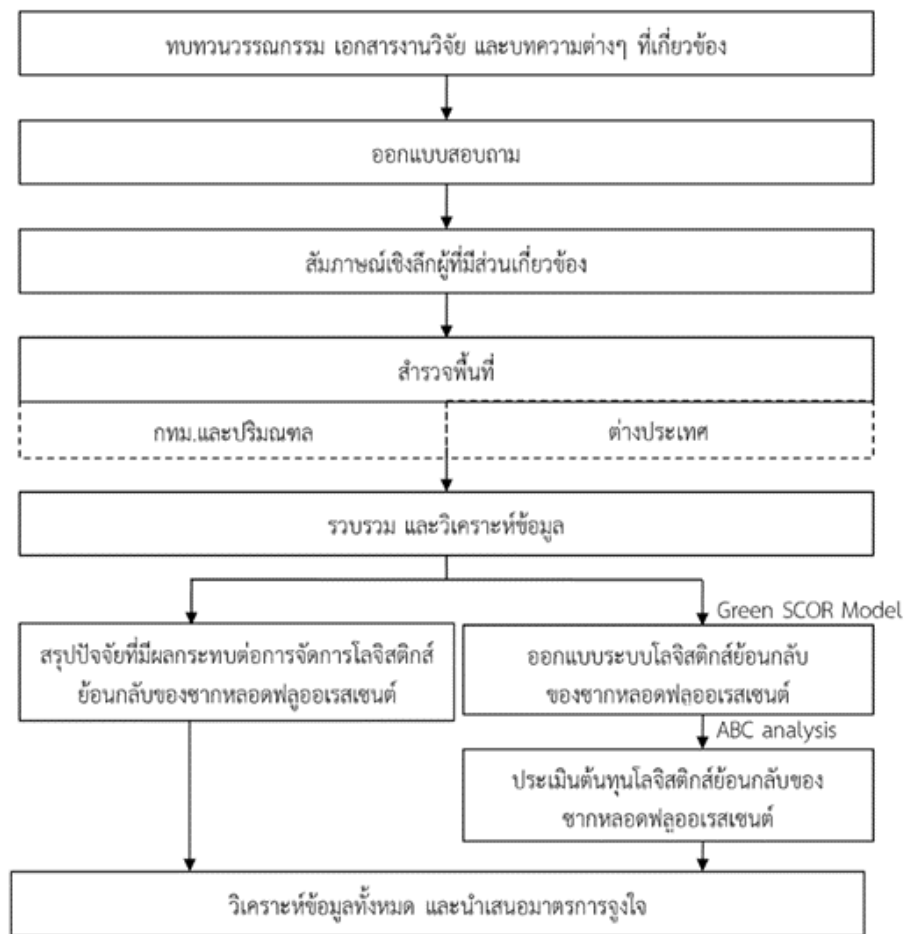
จากตาราง พบว่า จำนวนผู้เชี่ยวชาญ ประกอบด้วย 17 คนขึ้นไป มีอัตราการลดลงของความคลาดเคลื่อน ร้อยละ 0.04 แล้วลดลงเหลือร้อยละ 0.02 ดังนั้น ในการศึกษาขั้นตอนนี้ทำการเลือกกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน และได้ทำการรวบรวมข้อมูล กลุ่มตัวอย่างกลุ่มที่ 2 เป็นประชาชนทั่วไปที่เป็นผู้ก่อการเกิดซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในครัวเรือนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 400 กลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบสัดส่วน (Proportion Random Sampling) ตามตารางที่ 2 จากนั้นได้ทำการแสดงจำนวนตามจังหวัดที่สอดคล้องกับการกำหนดเงื่อนไขจังหวัดข้างต้นของประชากร และจำนวนครัวเรือนเพื่อลงพื้นที่ในการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม

ตารางที่ 3 จำนวนกลุ่มตัวผู้บริโภคโดยการรวบรวมด้วยแบบสอบถาม [8]

จังหวัด	สัดส่วนของครัวเรือน	จำนวนแบบสอบถาม (ร้อยละ)	จำนวนแบบสอบถาม ที่ทำการรวบรวม
กรุงเทพมหานคร	2,887,274	52.19	209
นครปฐม	388,284	7.02	28
นนทบุรี	667,539	12.07	48
ปทุมธานี	585,814	10.59	42
สมุทรปราการ	655,631	11.85	47
สมุทรสาคร	69,470	1.26	5
สมุทรสงคราม	278,188	5.03	20
รวม	5,532,200	100.00	400

ในการเลือกพื้นที่ในการศึกษา ใช้เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) ที่มีปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นร้อยละ 50 ของปริมาณซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) และกรุงเทพมหานครยังเป็นเขตพื้นที่ที่มีจำนวนประชากรมากเป็นอันดับหนึ่งของประเทศ ซึ่งมีจำนวน 5,686,646 คน (กระทรวงมหาดไทย, 2561) รวมทั้งกรุงเทพมหานครยังเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมโรงงาน ร้อยละ 21.23 ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการศึกษาการจัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ กรณีศึกษาซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยมีขั้นตอนการวิจัย ดังรายละเอียดตามรูปที่ 2

โดยในการสร้างแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามตามขอบเขตของการวิจัยเพื่อรวบรวมข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง ดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยมีคุณสมบัติ ตามรายละเอียดดังนี้ 1) มีวุฒิการศึกษาระดับปริญญาเอกและ 2) มีประสบการณ์ด้านการศึกษา อย่างน้อย 3 ปี พิจารณาความเหมาะสมของข้อคำถามการสัมภาษณ์ ส่วนแบบสอบถามนั้น ดำเนินการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) โดยการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item-Objective Congruence: IOC) เท่ากับ 1.00 และนำแบบสอบถามที่ผ่านการแก้ไขแล้วไปทดลอง (Try Out) กับผู้ปกครอง นักเรียน อนุบาลโรงเรียนพัฒนา จำนวน 30 คน เพื่อตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือโดยการวิเคราะห์หาค่าความเที่ยง (Reliability) ด้วยวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) โดยมีค่าความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สูง โดยมีค่าความเที่ยงอยู่ระหว่าง .816 ถึง .910 แสดงว่าเครื่องมือวัดมีคุณภาพด้านความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ดีมาก การดำเนินการข้างต้นสามารถสรุปการดำเนินงานวิจัย รายละเอียดตามตารางที่ 4



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 4 ตารางสรุปขั้นตอนการดำเนินงาน เครื่องมือ และผลที่คาดว่าจะได้รับตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ (Objective)	ขั้นตอน (Process)	เครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์ (Analysis Tools)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)
1) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มี ผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับ ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์	1) ทบทวนวรรณกรรม เอกสารงานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2) ออกแบบสอบถามเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์และประเมินศักยภาพการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอด	- แบบสอบถาม - หลักการทางสถิติ	- ปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ - ทราบถึงศักยภาพในการจัดการขยะอันตรายตั้งแต่ผู้ผลิต/ผู้นำเข้าผู้จำหน่ายผู้รวบรวม ผู้คัดแยก ผู้ทำการรีไซเคิล จนถึงผู้ทำการกำจัด

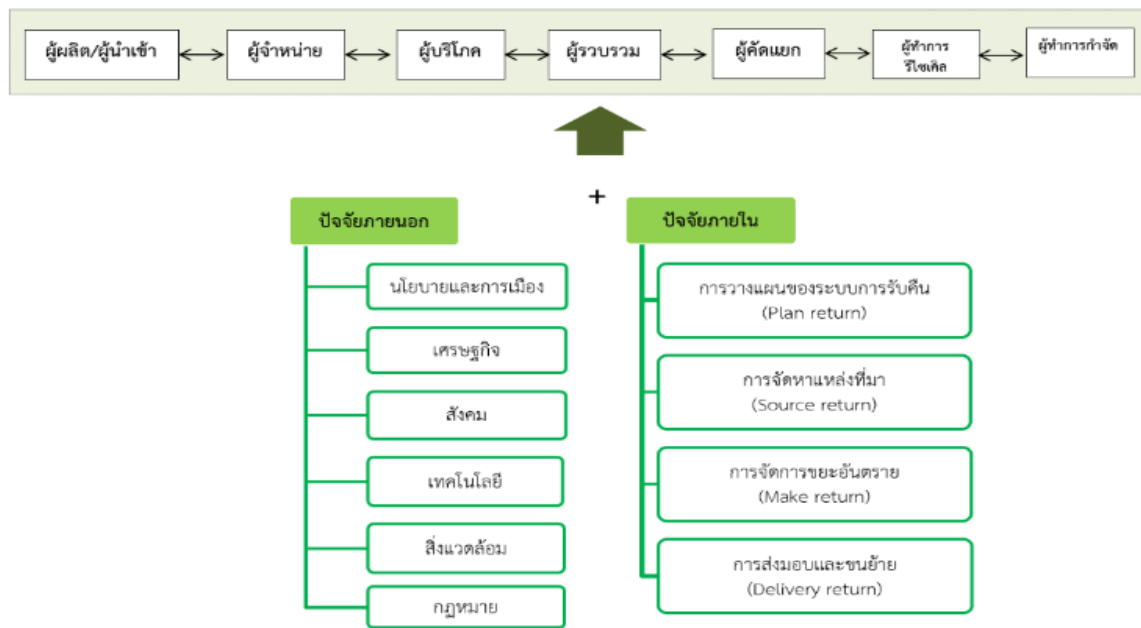
วัตถุประสงค์ (Objective)	ขั้นตอน (Process)	เครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์ (Analysis Tools)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)
	ฟลูออเรสเซนต์ตามกรอบแนวคิด Green SCOR Model ให้กับ ผู้เชี่ยวชาญประเมิน 3) ส่งแบบสอบถามให้กับ ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องทำการ ประเมิน 4) นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ 5) สรุปปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโล จิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอด ฟลูออเรสเซนต์		
2) เพื่อประเมิน ต้นทุนโลจิสติกส์ ย้อนกลับของซาก หลอดฟลูออเรสเซนต์	1. ทบทวนวรรณกรรม เอกสาร งานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับ ต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ 2. สัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ที่มีส่วน เกี่ยวข้องๆ เกี่ยวกับต้นทุนการ จัดการระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับโดย ใช้แบบสอบถาม 3. สำรวจพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และ ปริมณฑล โดยการสังเกต และ สัมภาษณ์ 4. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการ ทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์ แบบสอบถาม และการสำรวจพื้นที่ ที่มาใช้ประเมินต้นทุน ด้วยวิธี ABC Analysis	- แบบสอบถาม - หลักการบัญชีบริหาร - Activity-Based Costing (ABC)	- ต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับ ของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ เซนต์
3) เพื่อออกแบบ ระบบโลจิสติกส์ ย้อนกลับของซาก หลอดฟลูออเรสเซนต์	1. ทบทวนวรรณกรรม เอกสาร งานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องกับ ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับ (เดิม) ของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ 2. สัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ที่มีส่วน เกี่ยวข้องๆ เกี่ยวกับการจัดการ โลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซาก หลอดฟลูออเรสเซนต์ รวมถึง ข้อกำหนดกฎหมาย การดำเนินการ	- Delphi Method - หลักการทางสถิติ	- ข้อมูลการจัดการ โลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับ หลอดฟลูออเรสเซนต์ใน ปัจจุบันของไทย - แนวทางการให้ความสำคัญ ต่อการรักษาสิ่งแวดล้อมใน การจัดการซากหลอดฟลูออ เรสเซนต์ในประเทศ และ ต่างประเทศ- ระบบโลจิสติกส์

วัตถุประสงค์ (Objective)	ขั้นตอน (Process)	เครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์ (Analysis Tools)	ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)
	สอดคล้องกับวิธีการจัดการขยะ อันตราย โดยใช้แบบสอบถาม 3. สำรวจพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และ ปริมณฑล โดยการสังเกต และการ สัมภาษณ์ 4. สำรวจพื้นที่ต่างประเทศ โดยการสังเกต และการสัมภาษณ์ 5. นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจากการ ทบทวนวรรณกรรม การสัมภาษณ์ เชิงลึกผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง รวมทั้ง การสำรวจพื้นที่ทั้งในและ ต่างประเทศ มาทำการวิเคราะห์ และสังเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Green SCOR Model เพื่อออกแบบระบบ โลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอด ฟลูออเรสเซนต์		ย้อนกลับของซากหลอด ฟลูออเรสเซนต์
4) เพื่อหาแนวทางการ ให้ความสำคัญต่อการ รักษาสິงแวดล้อม ในการจัดการ โลจิสติกส์ย้อนกลับ สำหรับขยะอันตราย	1. ทำการศึกษาข้อมูลรองรับในการ วิเคราะห์เชิงคุณภาพ เพื่อนำเสนอ มาตรการจูงใจในการจัดการโลจิส ติกส์ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย	- Qualitative Analysis	- แนวทางการให้ความสำคัญ ต่อการรักษาสິงแวดล้อม ในการจัดการโลจิสติกส์ ย้อนกลับสำหรับขยะอันตราย

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษากระบวนการโลจิสติกส์ย้อนกลับเพื่อการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย โดยมีรายละเอียดผลการวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย การศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งปัจจัยเป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยภายนอกองค์กร โดยประยุกต์ใช้แนวคิด PESTEL Analysis และการประยุกต์ใช้แนวคิด Green SCOR model นำมาวิเคราะห์ปัจจัยภายในองค์กรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการดำเนินงานระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับส่งผลต่อการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับ ได้ข้อมูลสมรรถนะการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทานการจัดการซากหลอดฟลูออเรสเซนต์นำไปสู่การพัฒนาและปรับปรุงการดำเนินงานระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับให้มีประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดตามภาพที่ 3-4 ดังนี้



รูปที่ 3 ผลการศึกษาปัจจัยภายนอกองค์กร



รูปที่ 4 ผลการศึกษาปัจจัยภายในองค์กร

ตามภาพที่ 3-4 ได้กรอบการพัฒนาปัจจัยภายนอกองค์กรนั้น สามารถดำเนินการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอตฟลูออเรสเซนต์ เสนอข้อมูลในการพิจารณาต่อการเมือง หน่วยงานภาครัฐให้มีศักยภาพในคัดแยก รวบรวม ทำลายอย่างถูกวิธีและมีประสิทธิภาพ โดยให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงานในด้านเศรษฐกิจ ควรพิจารณาจำนวนร้านรับซื้อขยะ การแข่งขันด้านราคาซื้อ/ขายแรงจูงใจและสวัสดิการส่งผลต่อการกำจัดและปัจจัยภายในองค์กร ควรให้ความเกี่ยวกับประสิทธิภาพทางการเงิน คือ การจัดการป้องกันการขาดเงินลงทุน ส่วนด้านวัสดุทรัพยากร ควรความตระหนักในการบริหารจัดการทรัพยากรและด้านการบริหารจัดการในประเทศไทยยังขาดผู้เชี่ยวชาญด้านนี้

ผลการศึกษาประเมินต้นทุนโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย

การประเมินต้นทุนสำคัญของระบบการจัดการซากผลิตภัณฑ์ พบว่า เสนอให้มีการกำหนดค่าธรรมเนียมผลิตภัณฑ์ให้คำนวณจากต้นทุนเฉลี่ย ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวม ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าใช้จ่ายในการรีไซเคิลในการจัดการซากฟลูออเรสเซนต์ โดยอาจจะมีการแบ่งประเภทย่อยตามขนาดของผลิตภัณฑ์ตามสมควรดังที่ได้นำเสนอในรายงานนี้ แต่ไม่ต้องการแบ่งแยกให้แตกต่างกันไปตามลักษณะของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการคำนวณพื้นที่ในการจัดเก็บซากผลิตภัณฑ์ซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

ประเภทผลิตภัณฑ์ และพื้นที่ของการจัดเก็บ	ปริมาณที่คาดว่าจะรวบรวมได้	ขนาด (กว้าง x ยาว x สูง) เซนติเมตร / น้ำหนักต่อหลอด/ ก้อน (กก.)	น้ำหนักที่รองรับการบรรจุซากผลิตภัณฑ์	จำนวนภาชนะที่ต้องใช้ในการจัดเก็บ	ขนาดพื้นที่ที่ใช้รวบรวมและคัดแยก (ตร.ม.)	หมายเหตุ (1 พालาที 1.2 ตร.ม.)
1. หลอดฟลูออเรสเซนต์						
1.1 ชนิดตรงแบบยาว	3,464	0.173	994.22	3.484	0.0418	ซ้อนกัน 8 ลัง/ 2 แถว
1.2 ชนิดตรงแบบสั้น	2,598	0.086	2,000.00	1.299	0.0156	ซ้อนกัน 8 ลัง/ 2 แถว
1.3 ชนิดวงกลม	1,039	0.189	211.64	4.909	0.0589	ซ้อนกัน 6 ลัง/ 2 แถว
1.4 ชนิดตะเกียบ	1,559	0.062	645.16	2.416	0.0290	ซ้อนกัน 6 ลัง/ 2 แถว
รวมพื้นที่	9,002				0.1457	

ที่มา: คำนวณจากคณะผู้วิจัย

จากตารางที่ 4 การศึกษาต้นทุนการรีไซเคิลสุทธิของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถคำนวณได้จากการนำข้อมูลต้นทุนการรีไซเคิลมา ลบ กับรายได้จากกระบวนการรีไซเคิล โดยมีต้นทุนจากการรีไซเคิลสุทธิ หน่วย: บาทต่อกิโลกรัม ต่ำที่สุด เท่ากับ 0.02 บาทต่อกิโลกรัม มีการดำเนินงานในการแยกปรอทและนำไปจำหน่ายในการสร้างรายได้ ดังนั้น ต้นทุนรีไซเคิลสุทธิต่ำที่สุดและสามารถรีไซเคิลซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดตรงแบบยาว น้ำหนักเฉลี่ยต่อหลอด 0.086 (หน่วย: กก.) เท่ากับ 0.1365 บาทต่อหลอด ชนิดตรงแบบสั้น น้ำหนักเฉลี่ยต่อหลอด 0.173 (หน่วย: กก.) เท่ากับ 0.0926 บาทต่อหลอด ชนิดวงกลม น้ำหนักเฉลี่ยต่อหลอด 0.189 (หน่วย: กก.) เท่ากับ 0.0845 บาทต่อหลอด และชนิดตะเกียบ น้ำหนักเฉลี่ยต่อหลอด 0.062 (หน่วย: กก.) เท่ากับ 0.1487 บาทต่อหลอด ซึ่งหลอดฟลูออเรสเซนต์ทุกขนาดเฉลี่ยต้นทุนการจัดการโลจิสติกส์ย้อนกลับโดยรวมกิจกรรมการรวบรวม การขนส่ง จำนวน 0.567-1.361 บาท

ผลการออกแบบระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของขยะซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทย

ระบบโลจิสติกส์ย้อนกลับของซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ในประเทศไทยส่งเสริมสนับสนุนช่วงของกระบวนการในการรวบรวมจัดเก็บจัดขยะกลับไปในกระบวนการรีไซเคิลหรือส่วนที่คัดแยก โดยการดำเนินงาน ประกอบด้วย 1) กำหนดเส้นทางรวบรวมจากพฤติกรรมของแหล่งกำเนิดขยะหรือผู้บริโภคจากบ้าน 2) ทำการรวบรวมซากหลอดฟลูออเรสเซนต์ ใน

บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมพร้อมนำส่งต่อ 3) แจ้งข้อมูลรายละเอียดผ่านระบบ “4R BIKE” สายด่วนของระบบ Application และ 4) สามารถประยุกต์ปรับเปลี่ยนให้เป็นการวิ่งเที่ยวขาไป-กลับ จุดสำคัญของการบริการ คือการลดการวิ่งรถเที่ยวเปล่า (Backhauling) ได้โดยรับของที่ไม่ต้องการจากผู้บริโภคมารวบรวมไว้ส่งต่อให้สำนักเขตและจุดอื่น ๆ ที่กำหนดให้บริการ สามารถ Pooling การใช้งานร่วมกับเครือข่ายพันธมิตร

ผลการศึกษาการหาแนวทางการให้ความสำคัญต่อการรักษาสິงแวดล้อมโลจิสติกส์ย้อนกลับสำหรับซากหลอดฟลูออเรสเซนต์

เสนอแนวทางการให้ความสำคัญต่อการรักษาสິงแวดล้อมใจที่ส่งผลต่อความสำเร็จและความสำคัญต่อการจัดการกิจกรรมรวบรวมซากผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเสียอันตรายและไม่มีตลาดรับซื้อ โดยการกระตุ้นให้กระบวนการรีไซเคิลซากหลอดฟลูออเรสเซนต์สามารถแบ่งได้ 3 ระดับ ได้ดังนี้ 1) การจัดการซากผลิตภัณฑ์ระดับที่ 1 เป็นการถอดแยกชิ้นส่วนเบื้องต้นโดยใช้แรงงาน คือ การกำจัดแก๊สและของเหลว การแยกชิ้น การแยกส่วนที่เป็นอันตรายออก 2) การจัดการซากผลิตภัณฑ์ระดับที่ 2 เป็นการแยกชิ้นส่วนที่ถอดแยกจากกระบวนการที่ 1 ตามประเภทวัสดุรีไซเคิล โดยใช้เทคโนโลยีและกระบวนการเครื่องจักรกล ในระดับองค์กรหรือสถานประกอบการหรือผู้ผลิต และ 3) การจัดการซากผลิตภัณฑ์ระดับที่ 3 เป็นการแยกกระบวนการรีไซเคิลเพื่อให้เป็นวัสดุหรือสิ่งที่มีค่ากลับมาอีกครั้งตามหลักกฎหมายความรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของผู้ผลิต (Extended Producer Responsibility: EPR) ด้วยการปลูกฝังเรียนรู้ตั้งแต่เยาวชนทำให้สามารถรวบรวม คัดแยกได้อย่างเป็นระบบจึงสามารถนำเสนอเป็นต้นแบบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. (2560). คู่มือการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการบริหารจัดการของเสียอันตรายชุมชน. กรุงเทพฯ: สำนักกากของเสียและสารอันตราย.
- [2] _____. (2561). รายงานสถานการณ์ของเสียอันตรายจากชุมชน ปี พ.ศ. 2561. กรุงเทพฯ. ส่วนของเสียอันตราย สำนักจัดการของเสียสารอันตราย.
- [3] กรมควบคุมมลพิษ. (2555). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2555. กรุงเทพฯ: [Access on Mar 2, 2018]. Available from: www.pcd.go.th
- [4] Samir, K. S. (2008). Network Design for Reverse Logistics. Omega, 36(4), 535-548.
- [5] จัตตุงค์. เพลินหัต. (2559). เอกสารประกอบการสอน LOG.4301 การจัดการต้นทุนโลจิสติกส์, 8 มิถุนายน 2559. http://www.teacher.ssru.ac.th/jatturong_pl/pluginfile.php/150/block_html/content/%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%203.pdf
- [6] เพียงระวี และวัชรพจน์. (2558). การเปรียบเทียบห่วงโซ่อุปทานแบบไปข้างหน้าและแบบวงปิด กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นจัดแสดงสินค้า. วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษาการจัดการมหาวิทยาลัยขอนแก่น, 8(1), 111-134.
- [7] Macmillan, H. (1971). Riding the storm, 1956-1959. Macmillan Children's Books.
- [8] กระทรวงมหาดไทย (2561). ระบบสถิติทางการทะเบียนของกรมการปกครอง. [Access on Mar 2, 2018]. Available from: <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/statnew/statTDD/>

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขนส่งในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19

FEASIBILITY STUDY OF USING BAT ALGORITHM TO SOLVE TRANSPORTATION PROBLEMS DURING THE COVID-19 CRISIS

ณรงก์ฤทธิ์ ยิ้มเจริญพรสกุล^{1*} รอมพล จันทศาสตร์² จวีวรรณ ปุราณิธิ³ และลาวัลย์ ต้นสกุลรุ่งเรือง⁴

Narongrid Yimcharoenpornsakul^{1*}, Ruompol Jantasart², Chaiwan Pairaniti³ and

Lavan Tonesakulrungruang⁴

^{1*} อาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

² อาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการโลจิสติกส์ คณะโลจิสติกส์และเทคโนโลยีการบิน วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรทวิปริญญาโท รัฐประศาสนศาสตร์และบริหารธุรกิจ คณะรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

⁴ อาจารย์ประจำหลักสูตรบริหารธุรกิจดุษฎีบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

* Corresponding author E-mail : Narong.R.Yim@gmail.com

Received: 13 November 2021

Revised: 19 November 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

อัลกอริทึมค้างคาวเป็นอัลกอริทึมที่เลียนแบบปรากฏการณ์ทางธรรมชาติในการออกหาอาหารของค้างคาวขนาดเล็กในเวลากลางคืน สำหรับการแก้ปัญหาการขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการการขนส่ง จากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าอัลกอริทึมค้างคาวมีความเหมาะสมในการใช้แก้ปัญหาการขนส่งในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19 เนื่องจากปัญหาด้านการขนส่งมีเงื่อนไขและความซับซ้อนเป็นอย่างมาก สามารถนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการจัดเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาการขนส่งที่ล่าช้าและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

คำสำคัญ : อัลกอริทึมค้างคาว, การปัญหาการขนส่ง, ภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19

ABSTRACT

The Bat Algorithm is an algorithm that mimics a natural phenomenon in the foraging of small bats at night. For solve transportation problems and increasing efficiency in transportation management. In this study, it was found that the bat algorithm is suitable for solving transportation problems during the COVID-19 pandemic. Because the transportation problem is very conditional and complicated. The bat algorithm can be applied to provide proper transport routes. To solve the problem of shipping delays and save transportation costs.

Keywords: Bat Algorithm, Solving Transportation Problems, The COVID-19 Pandemic

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยมีจำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มมากขึ้น ทางรัฐบาลได้ออกมาตรการกำหนดพื้นที่โรคระบาดออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ควบคุมสูงสุดและเข้มงวด, พื้นที่ควบคุมสูงสุด, พื้นที่ควบคุม และพื้นที่เฝ้าระวังสูง เพื่อเป็น

<http://jeet.siamtechu.net>

การควบคุมการแพร่ระบาดของโรคโควิด - 19 และออกมาตรการลดการเดินทางของประชาชนทั่วไป ทำให้ประชาชนโดยส่วนใหญ่ต้องทำงานจากที่บ้าน (Work from Home) มีการเดินทางออกนอกเคหสถานน้อยลงและยังมีการประกาศช่วงเวลากារห้ามออกนอกเคหสถาน ส่งผลให้มีการใช้บริการการสั่งซื้อสินค้าออนไลน์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณของสินค้าที่ต้องการจัดส่งมีปริมาณมากขึ้นกว่าปกติ แต่ระบบการขนส่งสินค้าในแต่ละเขตพื้นที่โรคระบาด เกิดปัญหาการเดินทางข้ามระหว่างเขตพื้นที่จะต้องมีหนังสือรับรองที่ออกโดยหน่วยงานของทางราชการ สินค้าที่จะขนส่งจะต้องกักไว้ในโกดังหรือศูนย์กระจายสินค้าแต่ละพื้นที่ เพื่อตรวจสอบและฆ่าเชื้อโรค ก่อนจะนำผ่านเข้าไปในแต่ละเขตของพื้นที่และมาตรการควบคุมโรคของแต่ละจังหวัดในเขตพื้นที่เดียวกันก็แตกต่างกันไปตามแต่นโยบายของแต่ละจังหวัด ทำให้เกิดความล่าช้าและแนวทางการขอเอกสารเพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าก็แตกต่างกัน อีกทั้งบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งยังติดเชื้อโควิด - 19 เป็นจำนวนมาก ทำให้ปัญหาการขนส่งที่ล่าช้าทำให้สินค้าเกิดความเสียหาย มีสินค้าตกค้างอยู่ในโกดังและตามศูนย์กระจายสินค้าเป็นจำนวนมาก

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ทำให้เห็นได้ว่าการจัดการขนส่งสินค้าและโลจิสติกส์ในการจัดการเส้นทางการเดินทางขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าหรือโกดังในแต่ละจุดไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ในแต่ละอำเภอ แต่ละจังหวัด ตามจุดต่าง ๆ เป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีซับซ้อนในระดับเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard Problem) การใช้วิธีแม่นยำ (Exact Method) เป็นการกระทำที่เป็นไปไม่ได้ยาก

ปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทาง (Vehicle Routing Problem, VRP) เป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์ เนื่องจากในทุกธุรกิจจะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าและการให้บริการลูกค้า โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และมีเงื่อนไขในการขนส่งสินค้าซับซ้อน มียุ่งยากเพิ่มมากขึ้นเพิ่มมากขึ้น ความไม่แน่นอนและความซับซ้อน ทำให้การจัดการเส้นทางการขนส่งสินค้าเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก เส้นทางที่ได้วางแผนไว้ล่วงหน้าหรือเส้นทางขนส่งปกติอาจจะไม่เหมาะสมในสภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาแนวทางการนำวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic) โดยใช้อัลกอริทึมของค้างคาว (Bat Algorithm) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขนส่งสินค้าในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19 สำหรับปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทาง (Vehicle Routing Problem, VRP)

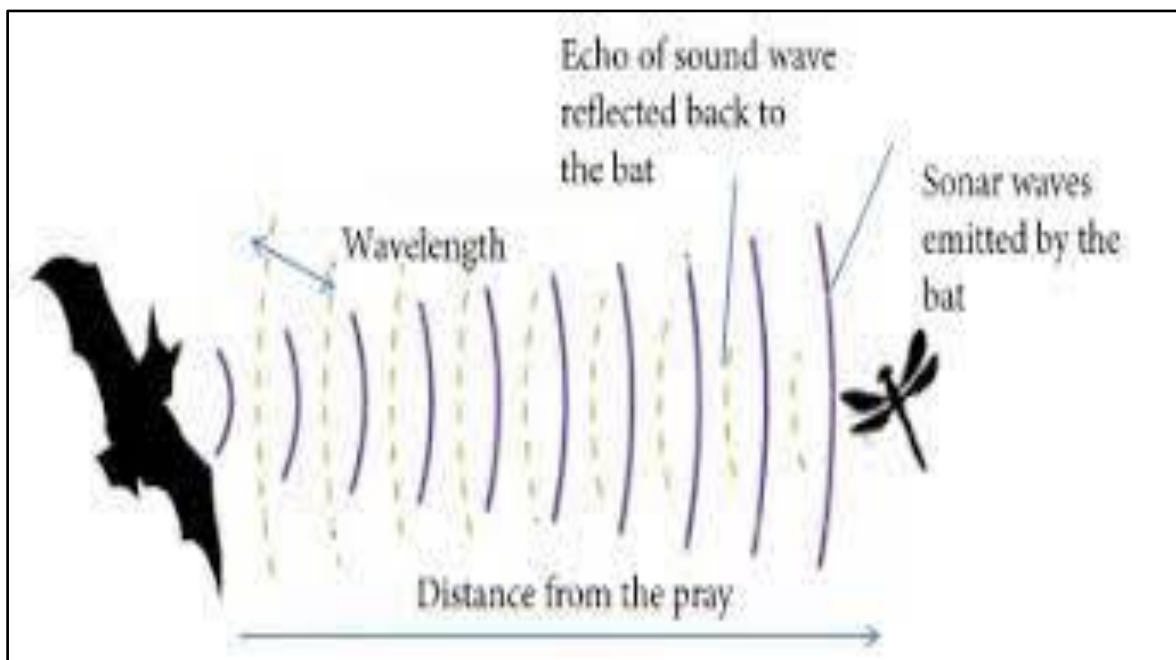
เนื้อหาส่วนที่เหลือของบทความประกอบด้วย ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทาง ขั้นตอนวิธีสำหรับการแก้ปัญหาวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic) โดยใช้อัลกอริทึมของค้างคาว (Bat algorithm)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic Algorithm) แนวคิดนี้เกิดมาจากการเลียนแบบปรากฏการณ์ทางธรรมชาติทั้งที่เป็นไปตามแบบแผน (Rules) และไม่เป็นไปตามแบบแผน(Randomness) โดยจะแบ่งการเกิดวิธีแบบเมตาฮิวริสติกส์ออกเป็น 3 ลักษณะ คือ การวิวัฒนาการทางชีววิทยา (Biological Evolutionary Process) เช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) พฤติกรรมของสัตว์ (Animal Behavior) เช่น อาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) และกระบวนการทางกายภาพทั่วไป (Physical Process) เช่น การจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) ซึ่งขั้นตอนวิธีการที่แตกต่างกันจะมีลักษณะในการค้นหาค่าเหมาะที่สุดแตกต่างกัน

อัลกอริทึมของค้างคาว (Bat Algorithm) เป็นหนึ่งขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic Algorithm) นำเสนอโดย Xin- She Yang ในปี 2010 โดยพิจารณาจากพฤติกรรมการจัดตำแหน่งของค้างคาวตามธรรมชาติ โดยค้างคาวเป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่บินออกหากินเวลากลางคืน ในขณะที่นกเห็นค้างคาวสามารถบินได้อย่างต่อเนื่องมีค้างคาวหลายพันชนิดในโลกและสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทเรียกว่า ค้างคาวขนาดใหญ่, ค้างคาวผี และค้างคาวขนาดเล็ก โดยค้างคาวขนาดเล็กเป็นค้างคาวขนาดกลางที่กินแมลงและความลับในการมองเห็นในความมืดเรียกว่า การหาดำแหน่งที่อยู่ของวัตถุโดยคิดจากเวลาและทิศทางของการสะท้อนกลับ (Echolocation) ค้างคาวจะปล่อยคลื่นอัลตราโซนิกออกสู่สิ่งแวดล้อมและรอให้พวกมันสะท้อนกลับ ด้วยการฟังเสียงสะท้อนนี้พวกเขาสามารถ

กำหนดระยะทางการวางแผนขนาดและความเร็วในการเคลื่อนที่ของเป้าหมายได้ เมื่อค้างคาวพบเป้าหมายความดังของเสียงกิริตจะลดลง แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 พฤติกรรม Echolocation ของค้างคาวขนาดเล็ก

อัลกอริทึมของค้างคาวได้รับการพัฒนาโดยการเริ่มต้นชุดค้างคาวเทียมพร้อมชุดพารามิเตอร์ที่เริ่มต้นแบบสุ่ม จากนั้นในการทำซ้ำแต่ละครั้งพวกเขาจะบินไปสุ่มโซลูชันที่ดีที่สุดด้วยความช่วยเหลือของค่าเหมาะที่สุดวงกว้าง (Global Optimum) ที่บรรลุถึงจุดนั้น หากค้างคาวตัวใดพบวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดในโลกปัจจุบันอัตราชีพจรและความดังจะเปลี่ยนไป เหตุผลในการเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้งสองนี้คือการเพิ่มขึ้นของอัตราชีพจรและความถี่เมื่อเหยื่อเข้าใกล้ค้างคาวมากขึ้น ด้วยการทำสิ่งนี้ซ้ำแล้วซ้ำอีกและด้วยเกณฑ์ข้างต้นสามารถเลือกค้างคาวที่ใกล้เคียงที่สุดด้วยชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดได้ โดยทั่วไปค้างคาวที่มีความถี่สูงจะดีที่สุดเนื่องจากความถี่สูงเมื่อเหยื่ออยู่ใกล้ โดย Xin- She Yang ได้กำหนดกฎพื้นฐาน 3 ข้อในการพัฒนาอัลกอริทึม ดังนี้

1. ค้างคาวทุกชนิดใช้การจัดตำแหน่งเพื่อกำหนดระยะทางและทิศทางของอาหาร พวกเขายังสามารถรับรู้ถึงความแตกต่างระหว่างอุปสรรคด้านอาหาร / เหยื่อและพื้นหลัง

2. ค้างคาวตัวนั้นอยู่ที่ตำแหน่ง x_i และบินแบบสุ่มด้วยความเร็ว v_i มันปล่อยสัญญาณเสียงที่มีความถี่ตัวแปรระหว่าง f_{min} และ f_{max} ความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน λ_i และความดังของ A_i เพื่อค้นหาอาหาร สามารถปรับความยาวคลื่น (หรือความถี่) ของพัลส์ที่ปล่อยออกมาโดยอัตโนมัติและปรับอัตราการปล่อยพัลส์ r ใน $[0, 1]$ ($r \in [0, 1]$) ขึ้นอยู่กับความใกล้เคียงของเป้าหมาย

3. ความดังจะแตกต่างกันไปจากค่า A_0 ที่เป็นค่าบวกมากไปจนถึงค่าคงที่ต่ำสุด A_{min}

จากสมมติฐานและเพื่อให้เข้าใจง่าย สามารถนำมาเขียนเป็น pseudo-code สำหรับอัลกอริทึมค้างคาว สามารถแสดงดังรูปที่ 2

```

Objective function  $\text{Obj}(X)$  ,  $X=[x_1, x_2, \dots, x_{nv}]^T$ 
Begin
Initialize the bat population  $x_i$  and  $v_i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )
Define pulse frequency of  $f_i$  at  $x_i$ 
Initialize pulse rates  $r_i$  and the loudness  $A_i$ 
While ( $t < \text{maximum number of iterations}$ )
    Generate new solutions by adjusting frequency and update velocities and
    positions (equation 1, 2 and 3)
    If ( $\text{rand} > r_i$ )
        Select a solution among the best solutions randomly;
        Generate a local solution around the selected best solution by a local
        random walk (equation 4)
    End if
    If ( $\text{rand} < A_i$  and  $f(x_i) < f(x^{\text{cgbest}})$ )
        Accept the new solution
        Increases  $r_i$  and decrease  $a_i$ 
    End if
    Rank the bats at each iteration and store their current global best  $x^{\text{cgbest}}$ 
End while
Post processing the results
End

```

รูปที่ 2 Bat Algorithm pseudo-code

3. ผลการศึกษา

อัลกอริทึมค้างคาวเริ่มต้นพารามิเตอร์แบบสุ่มด้วยประชากรค้างคาวในพื้นที่ค้นหา n - มิติ ตำแหน่งเริ่มต้น (x_0) ความเร็วแบบสุ่ม (v_0) ความถี่แบบสุ่ม โดยที่ตำแหน่งของค้างคาว i แสดงด้วย x_i^t และความเร็วของค้างคาวแสดงด้วย v_i^t ในเวลา t ดังนั้น ตำแหน่งใหม่ x_i^{t+1} และความเร็วใหม่ v_i^{t+1} ณ เวลา ขั้นตอนที่ $t+1$ แสดงดังสมการที่ 1

$$\begin{aligned}
 f_i &= f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \\
 v_i^{t+1} &= v_i^t + (x_i^t - x^*)f_i \\
 x_i^{t+1} &= x_i^t + v_i^{t+1}
 \end{aligned} \tag{1}$$

โดยที่

$$\beta \in [0, 1]$$

เป็นเวกเตอร์สุ่มที่ดึงมาจากการกระจายแบบสม่ำเสมอ

$$x^*$$

คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดในปัจจุบัน วิธีแก้ปัญหา(solution) ซึ่งได้จากเปรียบเทียบวิธีแก้ปัญหาทั้งหมดระหว่างค้างคาว n ทั้งหมด

$$f_i$$

หมายถึง ความถี่พัลส์ที่ปล่อยออกมาโดย bat i ในขณะนั้น

$$f_{\min} \text{ และ } f_{\max}$$

$f_{\max}$ แสดงถึงค่าต่ำสุดและสูงสุดของความถี่พัลส์ตามลำดับ

การเดินสุ่ม (random walk) เป็นกระบวนการของการค้นหาในท้องถิ่นที่สร้างวิธีแก้ปัญหาใหม่ โดยวิธีการแก้ปัญหาที่เลือกค้างคาวจะถูกสุ่มเลือกจากประชากรค้างคาว จากนั้นตำแหน่งที่สอดคล้องกันของค้างคาวนี้จะได้รับการปรับปรุงให้ทันสมัย ทั้งนี้สมการทางคณิตศาสตร์ของอัลกอริทึมค้างคาว แสดงดังสมการที่ 2

$$\begin{aligned}x_{new} &= x_{old} + \varepsilon A^{(t)} \\x_{new} &= x_{old} + \sigma \varepsilon_t A^{(t)}\end{aligned}\quad (2)$$

โดยที่

$\varepsilon \in [-1, 1]$	เป็นตัวเลขสุ่ม
$A^{(t)}$	คือ ความดังเฉลี่ยของค้างคาวทั้งหมด ณ เวลาขั้น t ตามแหล่งอื่น
σ	ซึ่งเป็นพารามิเตอร์มาตราส่วนเพื่อควบคุมขนาดขั้นตอน
ε_t	ถูกดึงมาจากการแจกแจงปกติแบบเกาส์เซียน (Gaussian normal distribution) $N(0, 1)$

จากสมการที่ 2 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ความดัง A_i และอัตรา r_i ของการปล่อยพัลส์จะต้องได้รับการอัปเดตตามลำดับ ขณะที่ทำการวนซ้ำดำเนินต่อไปเรื่อย วิธีแก้ปัญหา(solution) ถูกสร้างขึ้นแบบสุ่มและยอมรับโดยมีความใกล้เคียงกันขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ A_i ความดังจะลดลงและอัตราชีพจรจะเพิ่มขึ้นเมื่อค้างคาวเข้าใกล้เหยื่อ กล่าวคือในช่วงเริ่มต้น ความดังจะรุนแรง และอัตราการเดินเป็นจังหวะเล็ก เมื่อค้างคาวได้เหยื่อแล้ว ความดังจะลดลง ในขณะที่อัตราชีพจรเพิ่มขึ้น สามารถเขียนในรูปแบบสมการ แสดงดังสมการที่ 3

$$\begin{aligned}A_i^{t+1} &= \alpha A_i^t \\r_i^{t+1} &= r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)]\end{aligned}\quad (3)$$

โดยที่ α และ γ เป็นค่าคงที่ สำหรับ $0 < \alpha < 1$ และ $\gamma > 0$ ใดๆ เราสามารถสรุปได้ว่า $A_i = A \min = 0$ หมายความว่า ค้างคาวเพิ่งพบเหยื่อและหยุดส่งเสียงชั่วคราว สามารถเขียนในรูปแบบสมการแสดงดังสมการที่ 4

$$A_i^t \rightarrow 0, r_i^t \rightarrow r_i^0, \text{ as } t \rightarrow \infty \quad (4)$$

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า ขั้นตอนวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic Algorithm) โดยใช้ อัลกอริทึมค้างคาว (Bat Algorithm) มาใช้แก้แบบจำลองปัญหาจัดเส้นทางการขนส่งมีจำนวนมาก (ข้อมูลศึกษา 2019 ถึง 2021) แสดงให้เห็นว่าการนำอัลกอริทึมค้างคาว (Bat Algorithm) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาทางด้านการขนส่ง เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมอย่างมาก ผู้วิจัยทำการยกตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาระบบการขนส่ง ดังนี้

โดยในปี 2019 Sally Kassem และคณะ ได้เสนองานวิจัยที่นำอัลกอริทึมค้างคาวร่วมกับ เคมีน (K-means Aalgorithm) เพื่อใช้แก้ไขปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Sales Man : TSPs)

Srivastava และ Sahana (2019) ทำการศึกษาเปรียบเทียบเทคนิคการประมวลผลแบบหมู่มวล เช่น Genetic Algorithms, Ant Colony Optimization และเทคนิคอื่นๆ กับอัลกอริทึมค้างคาวแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายการขนส่ง

Eneko Osaba และคณะ (2019) ได้นำเสนองานวิจัยเพื่อการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการกระจายยาในโลกแห่งความเป็นจริงด้วยการเก็บขยะทางเภสัชวิทยา จุดมุ่งหมายเพื่อให้เป็นไปตามข้อจำกัดในโลกแห่งความเป็นจริงทั้งหมด โดยทำการสร้างแบบจำลองปัญหาการกำหนดเส้นทางแบบหลายแอตทริบิวต์หรือแบบสมบูรณ์ (Multi-attribute or Rich Vehicle Routing Problem : RVRP) โดยแบบจำลองของปัญหาได้จำลองมาจากปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะแบบคลัสเตอร์ที่มีการรับและส่งมอบ (Clustered Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries) ต้นทุนผันแปรที่ไม่สมดุล (Asymmetric Variable Costs) ถนนต้องห้าม (Forbidden Roads) และข้อจำกัดด้านต้นทุน (Cost Constraints) โดยได้ทำการศึกษาโดยใช้ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ของเมืองบิซไกอา ประเทศสเปน (Bizkaia, Spain) อัลกอริทึมค้างคาวแบบแยกส่วนและปรับปรุง (Discrete and Improved Bat Algorithm : DalBA) คุณสมบัตินี้หลักของการปรับตัวใช้ Hamming Distance เพื่อใช้ในการคำนวณความแตกต่างระหว่างค้างคาว การปรับปรุงที่มีประสิทธิภาพได้รับการพิจารณาประกอบด้วยโครงสร้างพื้นที่ใกล้เคียงสองแห่งที่แตกต่างกัน ซึ่งการสำรวจขึ้นอยู่กับระยะทางของค้างคาวเกี่ยวกับตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง และยังได้ทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอีก 3 แบบ ได้แก่ อัลกอริทึมวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm), การหลอมจำลองเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Simulated Annealing) และอัลกอริทึมหิ่งห้อย (Firefly Algorithm) และได้ทำการทดสอบทางสถิติสองแบบที่แตกต่างกัน : การทดสอบแบบไม่อิงพารามิเตอร์ของฟริตแมน (Friedman's non-parametric test) และการทดสอบหลังเฉพาะกิจของโฮล์ม (Holm's post-hoc test) จากการวิจัยสรุปได้ว่า DalBA เป็นเทคนิคที่มีแนวโน้มที่ดีที่จะใช้ในการแก้ไขปัญหาที่ออกแบบไว้

ในปี ค.ศ. 2020 ก็ได้มีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการงานวิจัย เช่น Kussman และ คณะ ได้เสนออัลกอริทึมค้างคาวไฮบริด (Hybrid Bat Algorithm : HBA) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ไขปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะที่มีความจุ (The Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)) ซึ่งเป็นส่วนขยายของปัญหา Traveling Salesman ที่มีข้อจำกัดเพิ่มเติมสองข้อ คลังท้องถิ่นและข้อจำกัดด้านความจุสำหรับรถแต่ละคัน โดยอัลกอริทึมค้างคาวไฮบริดได้รับการทดสอบและเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมการปรับให้เหมาะสมอื่น ๆ อีก 3 ตัว ได้แก่ อัลกอริทึมการออมของ Clarke & Wright (Clarke & Wright Savings Algorithm), อัลกอริทึม Holmes และ Parker (Holmes and Parker Algorithm) และวิธี Fisher และ Jaikumar (Fisher and Jaikumar Method) และงานวิจัยของ Ahmmad และ Muchtar (2020) ได้เสนอการทบทวนการใช้งานอัลกอริทึมค้างคาวในการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนออธิบายภาพรวมที่เกี่ยวกับอัลกอริทึมค้างคาวโดยการศึกษาแยกออกเป็นหมวดหมู่ เช่น วิศวกรรม การจัดตารางเวลา การขนส่ง/ยานพาหนะ และ เครือข่าย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้เห็นภาพรวมของการนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้แก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ

ในปี ค.ศ. 2021 Hussein และคณะ เสนอผลงานการวิจัยที่เกี่ยวเส้นทางเดินของรถพยาบาลโดยใช้ อัลกอริทึมค้างคาว โดยการสร้างแบบจำลองแผนที่เมืองโดยวิธีโหนด สถานีควบคุมได้รับข้อมูลเกี่ยวกับสถานที่เกิดเหตุ จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งไปยังรถพยาบาลและโรงพยาบาล ทำการป้อนข้อมูล เช่น ตำแหน่งโหนดของอุบัติเหตุและรถพยาบาลในวิธีการกำหนดเส้นทางรถตามอัลกอริทึมของค้างคาว และให้เส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับการไปถึงที่เกิดเหตุให้กับคนขับรถพยาบาล หลังจากถึงที่เกิดเหตุแล้ว ระบบจะป้อนตำแหน่งของสถานที่ที่เกิดอุบัติเหตุและตำแหน่งโรงพยาบาลในวิธีการกำหนดเส้นทางยานพาหนะแบบค้างคาว และให้เส้นทางที่สั้นที่สุดในการไปถึงโรงพยาบาลถึงคนขับรถพยาบาล โดยอัลกอริทึมค้างคาวจะคำนวณระยะทางที่เป็นระยะทางสั้นที่สุดและเวลาในการเข้าถึงรวดเร็วที่สุด

อีกทั้งผู้วิจัยได้ทำการสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัยที่สนใจ แสดงดังตารางที่ 1 จากการศึกษา งานวิจัยต่าง ๆ พบว่า นักวิจัยได้มีความพยายามปรับปรุงประสิทธิภาพของอัลกอริทึมค้างคาว เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหาเพิ่มมากขึ้น โดยได้นำเอาอัลกอริทึมอื่นๆ เข้ามาช่วยในการเพิ่มความสามารถข้อจำกัดของอัลกอริทึมค้างคาว แสดงดังตารางที่ 2

<http://jeet.siamtechu.net>

ตารางที่ 1 ตารางแสดงผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งโดยใช้อัลกอริทึมค้างคาว

ลำดับ	ชื่อเรื่อง	ผู้เขียน	ปีที่ตีพิมพ์	อ้างอิง
1	A hybrid bat algorithm to solve the capacitated vehicle routing problem	Kassem et al.	2019	(14)
2	A Discrete and Improved Bat Algorithm for solving a medical goods distribution problem with pharmacological waste collection	Osaba et al.	2019	(5)
3	Improved Bat Algorithm for Vehicle Routing Problem	Yu Li et al.	2019	(22)
4	Application of Bat Algorithm for Transport Network Design Problem	Srivastava and Sahana	2019	(16)
5	Chaotic discrete bat algorithm for capacitated vehicle routing problem	Cai et al.	2019	(2)
6	Two-Level Bat Algorithm with Variable Neighborhood Search for Capacitated Vehicle Routing Problem in Supply Chain	Yuan-hang et al.	2019	(13)
7	A Discrete Bat Algorithm for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem	Adil and Lakhbab	2020	(12)
8	A New Hybrid Bat Algorithm Optimizing the Capacitated Vehicle Routing Problem	Kussman et al.	2020	(14)
9	A Vehicle Routing Problem Model With Multiple Fuzzy Windows Based on Time-Varying Traffic Flow	J. Zheng	2020	(8)
10	A Multicriteria, Bat Algorithm Approach for Computing the Range Limited Routing Problem for Electric Trucks.	Yeomans	2021	(9)
11	Ambulance Vehicle Routing using BAT Algorithm	Hussein et al.	2021	(17)

ตารางที่ 2 การนำอัลกอริทึมค้างคาวมาปรับเปลี่ยนร่วมกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ลำดับ	การปรับเปลี่ยน (Modification)	ผู้เขียน	ปีที่ตีพิมพ์	อ้างอิง
1	Enhanced BA	Yilmaz and Küçüksill	2015	(21)
2	Double sub-population Levy flight BA (DLBA)	Jun et al.	2015	(10)
3	Doppler Effect with standard BA.	Meng et al.	2015	(11)
4	Improved BA (IBA)	Wang et al	2016	(18)
5	Greedy randomized adaptive search proce-dure with BA	Zhou et al.	2016	(24)
6	Forage strategy in BA	Cai et al.	2016	(2)
7	Quantum be-haved Mean Best position BA (QMBA)	Zhu et al	2016	(25)
8	Hybrid Multi Objective shuffled BA (MOsh-BAT)	Yammani et al.	2016	(19)
9	Chaotic Bat Algorithm	Adarsh et al.	2016	(1)
10	Improved Discrete Bat Algorithm	Osaba et al.	2016	(6)
11	Binary Bat algorithm for classification	Gupta et al.	2019	(4)
12	Swarm bat algorithm with improved search (SBAIS)	Chaudhary and Banati	2019	(3)
13	Hybridizing Cuckoo search algorithm with bat algorithm	Shehab et al,	2020	(15)
14	Bat Algorithm Hybridizing by Differential Evolution Algorithm	Yildizdana and Baykan	2020	(7)

5. สรุปผลการศึกษา

จากพฤติกรรมการเลียนแบบธรรมชาติของค้างคาว นำเสนอโดย Xin- She Yang ในปี 2010 โดยเรียกว่า อัลกอริทึมค้างคาว (Bat Algorithm) อัลกอริทึมนี้พิสูจน์แล้วว่าดีกว่าอัลกอริทึมที่ได้รับแรงบันดาลใจจากธรรมชาติชนิดอื่น ๆ อัลกอริทึมนี้ได้ถูกนำไปใช้กับการแก้ปัญหาต่าง ๆ มากมาย เช่น การจำแนกประเภทและการทำเหมืองข้อมูล กระบวนการเกี่ยวกับภาพ และฟิซซี่ เป็นต้น อัลกอริทึมค้างคาว (Bat Algorithm) เป็นอัลกอริทึมที่มีแนวโน้มสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลากหลายด้าน นอกจากนี้ ยังสามารถนำมาพัฒนาและทดสอบปัญหาทางวิศวกรรมต่าง ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมค้างคาวในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า สามารถนำอัลกอริทึมค้างคาวมาใช้ในการแก้ไขปัญหาการขนส่งในภาวะวิกฤตโรคระบาดโควิด - 19 เพื่อลดปัญหาการขนส่งที่ล่าช้า อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้ในการจัดการเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งในสภาวะวิกฤติ ผู้วิจัยจะได้ทำการทดสอบจากข้อมูลในงานวิจัยครั้งต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B.R. Adarsh, T. Raghunathan, T. Jayabarathi, Xin-She Yang. (2016). "Economic dispatch using chaotic bat algorithm", *Energy*, Volume 96, Pages 666-675, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.096>.
- [2] Cai X., Gao X. & Xue Y. (2016). "Improved bat algorithm with optimal forage strategy and random disturbance strategy", *International Journal of Bio-Inspired Computation*, vol. 8, Issue 4, pp. 205214. <https://doi.org/10.1504/IJBIC.2016.078666>.
- [3] Chaudhary, R., Banati, H. (2019). "Swarm bat algorithm with improved search (SBAIS)", *Soft Comput* 23, 11461–11491. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-03688-4>
- [4] Deepak Gupta, Jatin Arora, Utkarsh Agrawal, Ashish Khanna, Victor Hugo C. de Albuquerque. (2019). "Optimized Binary Bat algorithm for classification of white blood cells", Volume 143, Pages 180-190, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.002>.
- [5] Eneko Osaba, Xin-She Yang, Fernando Diaz, Pedro Lopez-Garcia, Roberto Carballedo. (2016). "An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 48, ,Pages 59-71,ISSN 0952-1976, <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.10.006>.
- [6] Eneko Osaba, Xin-She Yang, Iztok Fister, Javier Del Ser, Pedro Lopez-Garcia, Alejo J. Vazquez-Pardavila. (2019). "A Discrete and Improved Bat Algorithm for solving a medical goods distribution problem with pharmacological waste collection." *Swarm and Evolutionary Computation* Volume 44, February 2019, Pages 273-286,
- [7] Gülnur Yildizdan, Ömer Kaan Baykan. (2020). "A novel modified bat algorithm hybridizing by differential evolution algorithm"., *Expert Systems with Applications*, Volume 141, 112949, ISSN 0957-4174 <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112949>.
- [8] J. Zheng. (2020). "A Vehicle Routing Problem Model With Multiple Fuzzy Windows Based on Time-Varying Traffic Flow," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 39439-39444, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2974774.
- [9] Julian Scott Yeomans. (2021). "A Multicriteria, Bat Algorithm Approach for Computing the Range Limited Routing Problem for Electric Trucks." *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, vol. 20, pp. 96-106, 2021
- [10] Jun L, Liheng L, & Xianyi W. (2015). "A double-subpopulation variant of the bat algorithm. *Applied Mathematics and Computation*". 263:361-377. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2015.04.034>.
- [11] Meng X., Gao X., Liu Y. & Zhang H. (2015). "A novel bat algorithm with habitat selection and Doppler effect in echoes for optimization", *Expert Systems with Applications*, vol. 42, Issue 17-18, pp. 6350-6364. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.04.026>.
- [12] N. Adil and H. Lakhbab. (2020). "A Discrete Bat Algorithm for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem," *IEEE 6th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)*, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICOA49421.2020.9094524.

- [13] QI Yuan-hang, CAI Yan-guang, CAI Hao, YANG Liang, YAO Yeboah. (2019). "Two-Level Bat Algorithm with Variable Neighborhood Search for Capacitated Vehicle Routing Problem in Supply Chain[J]". *Acta Electronica Sinica*, 47(7): 1434-1442.
- [14] S. Kassem, L. Korayem, M. Khorshid and A. Tharwat. (2019). "A hybrid bat algorithm to solve the capacitated vehicle routing problem," *Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)*, 2019, pp. 222-225, doi: 10.1109/NILES.2019.8909300.
- [15] Shehab, M., Khader, A.T., Laouchedi, M. et al. (2020). "Hybridizing cuckoo search algorithm with bat algorithm for global numerical optimization". *J Supercomput* 75, 2395–2422
<https://doi.org/10.1007/s11227-018-2625-x>
- [16] Sweta Srivastava and Sudip Kumar Sahana. (2019). "Application of Bat Algorithm for Transport Network Design Problem." *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*. Volume 2019
- [17] T. D. H. Hussein, M. Frikha, S. Ahmed and J. Rahebi. (2021). "Ambulance Vehicle Routing using BAT Algorithm." *International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICECCE52056.2021.9514109.
- [18] Wang G., Chu H. & Mirjalili S. (2016). "Three-dimensional path planning for UCAV using an improved bat algorithm", *Aerospace Science and Technology*, vol. 49, pp. 231-238.
<https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.11.040>.
- [19] Yammani C., Maheswarapu S., & Matam S. (2016). "A Multi-objective Shuffled Bat algorithm for optimal placement and sizing of multi distributed generations with different load models", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 79, pp. 120-131.
<https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848354>.
- [20] Yanguang Cai, Yuanhang Qi, Hao Cai, Helie Huang, and Houren Chen. (2019). "Chaotic discrete bat algorithm for capacitated vehicle routing problem". *International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems* 2019 12:2, pp 91-108
- [21] Yilmaz S. & Küçüksille E., (2015). "A new modification approach on bat algorithm for solving optimization problems", *Applied Soft Computing*, vol. 28, pp. 259-275.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.029>.
- [22] Yu Li, Qian Guo, and Jingsen Liu. (2019). "Improved Bat Algorithm for Vehicle Routing Problem [J]." *Int J Performability Eng*, 15(1): pp 317-325.
- [23] Zawani Ahmmad, S. N. (2020). "A Review on Applications of Optimization Using Bat Algorithm." *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(1.1 S I), 212–219. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/3791.12020>
- [24] Zhou Y., Luo Q., Xie J. & Zheng H. (2016). "A Hybrid Bat Algorithm with Path Relinking for the Capacitated Vehicle Routing Problem", In: *Metaheuristics and Optimization in Civil Engineering*, Vol. 7, pp. 255-276. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26245-1_12.
- [25] Zhu B., Zhu W., Liu Z., Duan Q., & Cao L., (2016), "A Novel QuantumBehaved Bat Algorithm with Mean Best Position Directed for Numerical Optimization", *Computational Intelligence and Neuroscience*, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1155/2016/6097484>.

การคัดเลือกผังโรงงานด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ กรณีศึกษา กระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า

A SELECTION OF PLANT LAYOUTS WITH ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS: A CASE STUDY ON TRANSFORMER MANUFACTURING PROCESS

ณัฐพล บุญรักษ์^{1*} ยศวัจน์ ชีววรรณนท์² วิโรจน์ ตันติภักโร³

Nattapon Boonrak^{1*} Yossawat Cheewaworanontree² Virojana Tantibadaro³

^{1, 2} คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

³ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

^{1, 2} Faculty of Engineering and Industrial Technology, Bansomdejchaopraya Rajabhat University

³ Faculty of Engineering and Technology, Punyapiwat Institute of Management

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

Received: 26 November 2021

Revised: 01 December 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจทั้งหมด 5 เกณฑ์ ได้แก่ ความสะดวกและความปลอดภัย การใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุ การไหลของวัสดุ และความยืดหยุ่นในการใช้งาน ในการวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ปัญหาของผังโรงงานปัจจุบันเพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ของโรงงานเพื่อนำข้อมูลมาออกแบบผังโรงงานใหม่ตามหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบให้ได้จำนวน 3 ทางเลือก จากนั้นจึงใช้วิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อช่วยทำการตัดสินใจเลือกผังโรงงานซึ่งพบว่า ผังโรงงานทางเลือกที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังโรงงานเดิมกับผังโรงงานใหม่พบว่า การปรับปรุงผังโรงงานช่วยให้ระยะทางการไหลของงานในโรงงานกรณีศึกษาลดลงคิดเป็น 52% ในส่วนของประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่พบว่าประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของโรงงานใหม่ดีขึ้นคิดเป็น 62.9% และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิตลดลงคิดเป็น 28.2%

คำสำคัญ : กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, ความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรม, หลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ

ABSTRACT

This paper presents an approach to the application of the Analytical Hierarchical Process for the selection of the best plant layout for the transformer manufacturing process. There are five criteria to be used in the decision-making which are convenience and safety, efficient use of space, material handling distance, material flow, and flexibility in use. The research begins with an analysis of the problems of the current plant layout to establish the relationship of each activity occurring within the factory area in order to use the data to design 3 alternative plant layouts by using the principle of Systematic Layout Planning. The Analytical Hierarchical Process is then used to assist in deciding the best plant layout. It is found that plant layout 3 is

the most suitable. On comparing the efficiency of the current plant layout with the selected, it is found that the layout improvement reduces the distance of workflow in the case study plant by 52%. In terms of space efficiency, it is found that the space efficiency of the new plant improves by 62.9%, and the average time the workpiece required to be in the production system decreased by 28.2%.

Keywords: Analytical Hierarchy Processes, Activity Relation, Systematic Layout Planning

1. บทนำ

การจัดวางผังโรงงาน (Plant Layout) เป็นการกำหนดที่ตั้งของเครื่องจักร อุปกรณ์เครื่องมือ วัสดุต่างๆ และสิ่งอำนวยความสะดวกอื่นๆ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้เกิดการใช้พื้นที่อย่างคุ้มค่า มีความยืดหยุ่น และการผลิตมีประสิทธิภาพรวมทั้งมีความปลอดภัยภายใต้ข้อจำกัดของโครงสร้างของตัวอาคารที่มีอยู่ ผังโรงงานที่ดีจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ช่วยสนับสนุนให้เกิดการเพิ่มผลผลิต (Productivity) สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในปัจจุบันซึ่งมีสภาวะการแข่งขันทางการตลาดที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจากบรรดาผังที่ได้ออกแบบไว้หลายๆ ทางเลือกจึงเป็นหนึ่งในประเด็นเชิงกลยุทธ์ที่สำคัญอย่างยิ่งในการบรรลุจุดมุ่งหมายทั้งหมดที่กล่าวถึงข้างต้น อย่างไรก็ตามโรงงานมักประสบปัญหาในการเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากการคัดเลือกผังโรงงานเป็นการตัดสินใจแบบพหุเกณฑ์ (Multi-Criteria Decision-Making) ซึ่งจะพบอยู่เสมอว่าเกณฑ์ต่างๆ มักขัดแย้งกันและไม่สามารถเทียบเคียงกันได้เพราะมีหน่วยวัดที่ต่างกัน ดังนั้นการการตัดสินใจคัดเลือกผังโรงงานจึงเป็นปัญหาที่มีความท้าทายและมีความซับซ้อนอยู่ในตัวของมันเอง (Lin and Sharp, 1999) [1]

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โรงงานผลิตและจัดจำหน่ายหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นกรณีศึกษา ภาพรวมของสภาพตลาดปัจจุบันของหม้อแปลงไฟฟ้ายังคงมีช่องว่างมากพอสำหรับโรงงานที่สามารถเข้าไปเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด ผู้บริหารจึงมีความประสงค์ที่จะปรับปรุงผังโรงงานเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นและมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเพื่อรองรับและสนับสนุนแผนการขยายตลาดและแผนการเพิ่มยอดขายในอนาคตทั้งภายในประเทศและต่างประเทศจากการสำรวจสภาพปัญหาในกระบวนการผลิต พบว่า ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่เป็นอยู่ ณ ปัจจุบันยังไม่สามารถรองรับและตอบสนองแผนการเพิ่มยอดขายในอนาคต เนื่องจากผังโรงงานที่เป็นอยู่ยังมีความสูญเสียเปลืองต่างๆ เกิดขึ้นซึ่งจำเป็นต้องกำจัดทิ้ง โครงการปรับปรุงผังโรงงานจึงได้เกิดขึ้นโดยมีเป้าหมายที่จะปรับปรุงผังกระบวนการผลิตปัจจุบันให้เกิดความกระชับและมีความคล่องตัวมากขึ้นกว่าที่เป็นอยู่ซึ่งจะช่วยส่งผลให้สามารถเพิ่มศักยภาพของการผลิตและบรรลุวัตถุประสงค์ของผู้บริหาร

สำหรับในงานวิจัยนี้ภายหลังจากที่ได้ผังโรงงานจำนวน 3 ทางเลือกด้วยหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning หรือ SLP) แล้ว ปัจจัยหรือเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาดัดสินใจเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจะประกอบด้วย 5 เกณฑ์ ได้แก่ 1. ความสะดวกและความปลอดภัยต่อการทำงานการผลิต 2. การใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ 3. ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุ 4. การไหลของวัสดุ และ 5. ความยืดหยุ่นในการใช้งาน ในส่วนของวิธีที่ช่วยในการตัดสินใจซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้คือ กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process หรือ AHP) ซึ่งเป็นวิธีที่มีการประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในด้านการจัดการและการผลิต [2] เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถใช้ได้กับข้อมูลที่มีคุณลักษณะทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ [3-6]

2. การทบทวนวรรณกรรม

2.1 การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning: SLP)

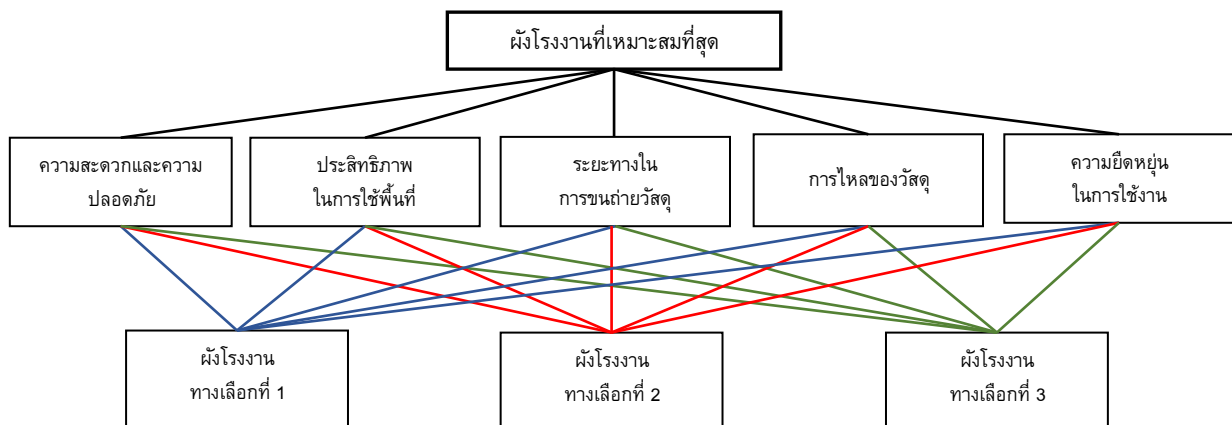
การวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic Layout Planning หรือ SLP) ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1973 โดย Richard Muther การวางผังโรงงานด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ เป็นลำดับที่ชัดเจนซึ่งดูรายละเอียดได้ใน [7]

<http://jeet.siamtechu.net>

โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่ควรอยู่ใกล้กันจากมากไปหาน้อย จากนั้นจึงพิจารณาพื้นที่ในอาคารทั้งขนาดและรูปร่างที่แต่ละกิจกรรมต้องการเพื่อจัดวางตำแหน่งที่ตั้งของแต่ละกิจกรรมให้เกิดความลงตัวได้อย่างเหมาะสมที่สุด

2.2 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process AHP)

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process หรือ AHP) เป็นกระบวนการที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1980 โดย Thomas Saaty เพื่อใช้ในการตัดสินใจคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดเมื่อต้องพิจารณาทางเลือกที่มีอยู่หลายทางเลือกโดยมีการจัดลำดับทางเลือกหรือนำน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือปัจจัยซึ่งจะให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตามเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเฉพาะเมื่อเป็นการตัดสินใจในปัญหาที่มีความซับซ้อนวิธีนี้มีจุดเด่นคือเป็นวิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise Comparison) [8] โดยเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ต่อเป้าหมายด้วยค่าน้ำหนักและตรวจสอบความสอดคล้องของเหตุผลจากคะแนนประเมินด้วยค่าอัตราความสอดคล้อง CR (Consistency Ratio) [9] และนำค่าน้ำหนักของเกณฑ์หลักคุณเกณฑ์รอง (ถ้ามี) และคุณคะแนนทางเลือก เพื่อหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้สามารถเขียนแบบจำลอง AHP ได้ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลอง AHP สำหรับการตัดสินใจเลือกผังโรงงานของงานวิจัย

ในการประเมินลำดับความสำคัญของเกณฑ์เชิงคู่ลำดับจะอาศัยการวินิจฉัยของผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับปรุงผังโรงงานซึ่งได้กำหนดเป็นค่ามาตรฐานเปรียบเทียบน้ำหนัก [10] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานเปรียบเทียบน้ำหนักเชิงคู่ลำดับ

ค่าน้ำหนัก	คำอธิบาย	ค่าน้ำหนัก	คำอธิบาย
1	มีความสำคัญเท่ากัน	1	มีความสำคัญเท่ากัน
3	มีความสำคัญมากกว่าระดับปานกลาง	1/3	มีความสำคัญน้อยกว่าระดับปานกลาง
5	มีความสำคัญมาก	1/5	มีความสำคัญน้อยกว่าอย่างเด่นชัด
7	มีความสำคัญอย่างยิ่ง	1/7	มีความสำคัญน้อยกว่าอย่างเด่นชัดมาก
9	มีความสำคัญอย่างยิ่งยวด	1/9	มีความสำคัญน้อยกว่าอย่างเด่นชัดที่สุด
2, 4, 6, 8	ค่าอยู่ระหว่างกลางคะแนนข้างต้น	1/2, 1/4, 1/6, 1/8	ค่าอยู่ระหว่างกลางคะแนนข้างต้น

ในการเปรียบเทียบทางเลือกจะต้องพิจารณาทางเลือกภายใต้เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจแต่ละเกณฑ์จนครบทุกเกณฑ์ โดยการเปรียบเทียบในทุกๆ ครั้งจะเปรียบเทียบกันในรูปแบบของตารางเมตริกซ์ ถ้าเมตริกซ์มีความสอดคล้องค่า

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j}{w_i} \quad (1)$$

โดย λ_{max} เป็นน้ำหนักของเกณฑ์ที่พิจารณาซึ่งเป็นแกนหลักของไอเกนเวกเตอร์ (Eigenvector) n เป็นขนาดของเมตริกซ์ a_{ij} เป็นองค์ประกอบของการเปรียบเทียบเชิงคู่ w_i และ w_j เป็นค่าไอเกนเวกเตอร์ขององค์ประกอบที่ i และ j ตามลำดับ

ค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อมูล CI (Consistency Index) หาได้จาก

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

ดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง RI (Random Consistency Index) ที่ได้จากการทดลองในแต่ละมิติของเมตริกซ์ตั้งแต่ขนาด $n = 1$ ถึง 10 แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง RI (Random Consistency Index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

อัตราส่วนความสอดคล้อง CR (Consistency Ratio) เป็นอัตราส่วนระหว่างดัชนีความสอดคล้องของข้อมูล CI กับดัชนีความสอดคล้องของข้อมูลโดยการสุ่มตัวอย่าง RI กล่าวคือ

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

ค่า CR ที่คำนวณได้จะต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 และ 0.8 สำหรับ $n = 3$ และ $n = 4$ ตามลำดับและจะต้องไม่เกิน 0.10 สำหรับ n ที่มีขนาดมากกว่า 5 จึงจะถือว่าข้อมูลดังกล่าวมีความสอดคล้องและสามารถนำไปใช้ในการสรุปผลได้

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการวิจัยนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาของผังโรงงานปัจจุบันเพื่อหาความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ของโรงงานเพื่อนำข้อมูลมาออกแบบผังโรงงานใหม่ตามหลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic layout planning: SLP) ให้ได้จำนวน 3 ทางเลือก จากนั้นจึงใช้หลักการ AHP เพื่อช่วยทำการตัดสินใจเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมที่สุด

4. ผลการวิจัย

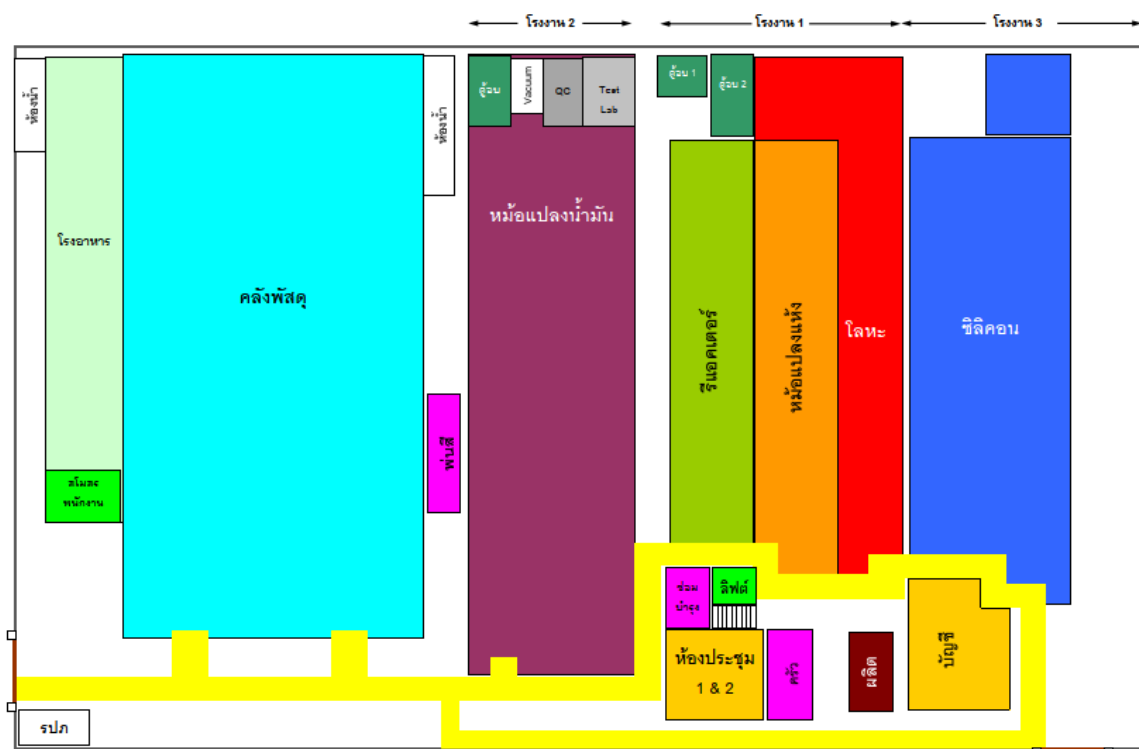
4.1 ผลการวิเคราะห์ปัญหา

โรงงานกรณีศึกษา มีลักษณะการวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout) ผสมกับผังตามกระบวนการผลิต (Process Layout) โดยมีการจัดแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 โซน คือ โรงงาน 1 โรงงาน 2 โรงงาน 3 และ คลังสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 2 จากการวิเคราะห์ลักษณะการวางผังโรงงานในปัจจุบันพบว่า มีลักษณะการไหลย้อนกลับไปมา และใช้ระยะทางที่ยาวมากในการเคลื่อนย้ายวัสดุ อีกทั้งมีการรอคอยในระหว่างแผนกสูงที่นานมากด้วย

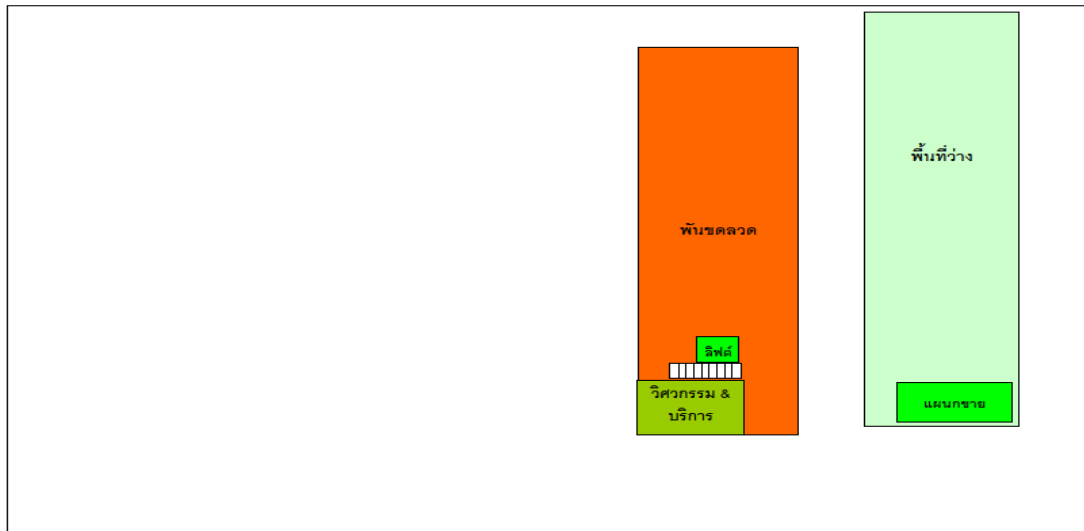
โรงงาน 1 เป็นที่ตั้งของอาคารกึ่งโรงงาน พื้นที่ชั้นล่างเป็นที่ตั้งของแผนกประกอบหม้อแปลงแห้งกับแผนกประกอบตัวเหนียวแห้ง พื้นที่ด้านข้างติดกับกำแพงด้านนอกของแผนกหม้อแปลงแห้งเป็นที่ตั้งของแผนกโลหะ ด้านหน้าเป็นอาคาร 3 ชั้น พื้นที่ส่วนหน้าเป็นห้องประชุมติดกัน 2 ห้อง และมีออฟฟิศฝ่ายผลิตและฝ่ายบริการตั้งอยู่ชั้นสองเป็นที่ตั้งของแผนกพันขดลวด โดยมีลิฟต์จำนวน 1 ตัวเพื่อช่วยในการขนถ่ายสิ่งของระหว่างแผนกพันขดลวดกับแผนกประกอบหม้อแปลง บริเวณที่ติดกับแผนกพันขดลวดเป็นที่ตั้งของฝ่ายวิศวกรรมและออกแบบ และห้องทำงานของรองกรรมการผู้จัดการ ส่วนชั้นสามเป็นห้องทำงานของกรรมการผู้จัดการ

โรงงาน 2 เป็นที่ตั้งของแผนกประกอบหม้อแปลงน้ำมัน มีโครงหลังคา ยก ด้านในสุดเป็นที่ตั้งของห้องทดสอบและฝ่ายควบคุมคุณภาพ พื้นที่ด้านข้างมีเครนขนาด 3 ตันและขนาด 10 ตัน ติดตั้งอยู่เพื่อช่วยในการลำเลียงสินค้าที่อยู่ในไลน์การผลิต ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการเปลี่ยนแปลงที่ตั้งใหม่ของแผนกนี้ ด้านในมีตู้อบและตู้อบสุญญากาศอย่างละหนึ่งเครื่องตั้งอยู่ ส่วนด้านข้างที่ติดกับคลังสินค้าเป็นพื้นที่สำหรับห้องพ่นสีและงานตกแต่งสี

โรงงาน 3 เป็นที่ตั้งของตัวอาคารกึ่งโรงงาน พื้นที่ชั้นล่างเป็นที่ตั้งของแผนกเหล็กซิลิคอน ด้านในสุดเป็นที่ตั้งของงานกลึง งานปั๊ม งานเจียร และงานขึ้นเกลียว ด้านหน้าเป็นอาคาร 4 ชั้น ส่วนหน้าชั้นล่างของอาคารเป็นออฟฟิศฝ่ายบัญชี พื้นที่ส่วนหนึ่งบนชั้น 2 เป็นออฟฟิศฝ่ายขาย และมีพื้นที่ว่างค่อนข้างกว้างแต่ไม่มีการใช้ประโยชน์ ด้านข้างของโรงงานเป็นพื้นที่ว่าง ขยะที่เกิดจากการผลิตรวมทั้งขยะจากการบริโภคถูกนำมาเก็บไว้ในบริเวณนี้ด้วย



(ก) ชั้นล่างของอาคาร

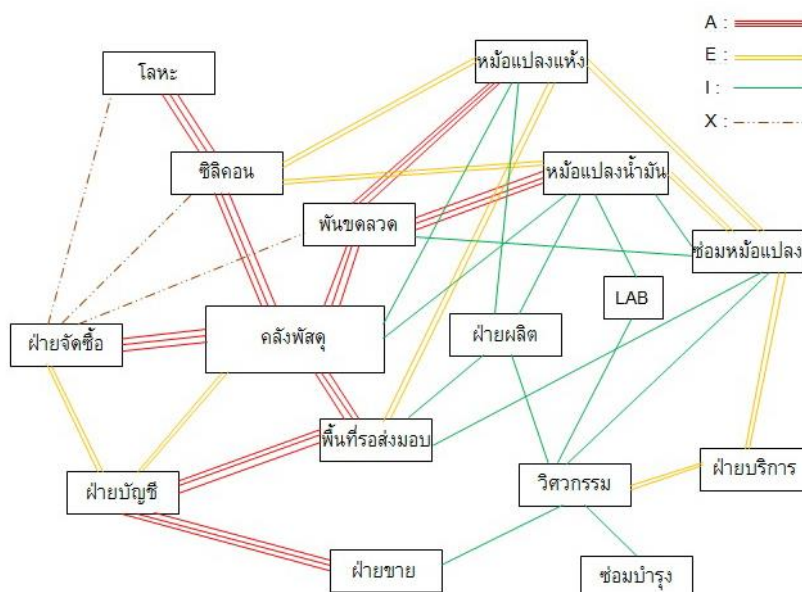


(ข) ชั้นสองของอาคาร

รูปที่ 2 ผังโรงงานปัจจุบัน

4.2 ผังโรงงานใหม่จากการใช้หลักการวางผังโรงงานอย่างมีระบบ (Systematic layout planning: SLP)

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงจากผังโรงงานเดิมซึ่งมีข้อจำกัดในทางปฏิบัติที่สำคัญคือ ข้อจำกัดเรื่องโครงสร้างของตัวอาคารและพื้นที่ที่มีอยู่จำกัด โครงสร้างการรองรับน้ำหนักจากการใช้เครื่องที่ติดตั้งอยู่เดิม รวมทั้งการรับแรงของพื้นอาคาร อย่างไรก็ตามหลังจากได้วิเคราะห์ตามหลักการ SLP [7] โดยใช้ข้อมูลจากแผนภูมิจาก-ไป (From-To Chart) แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างแผนก และพื้นที่ของแต่ละแผนก จะได้ไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างแผนกดังรูปที่ 3 ซึ่งสามารถนำข้อมูลจากไดอะแกรมนี้ไปทำการออกแบบผังโรงงานใหม่จำนวน 3 ทางเลือก เพื่อนำไปประเมินหาผังโรงงานทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี AHP ต่อไป



รูปที่ 3 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างแผนก

4.3 ผลการประเมินเลือกผังโรงงานทางเลือกด้วยวิธีกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

จากแบบจำลอง AHP ในรูปที่ 1 สามารถสร้างตารางเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นรายคู่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นรายคู่

เกณฑ์	ความสะดวก & ความปลอดภัย	การใช้พื้นที่	ระยะทาง การขนถ่าย	การไหล ของวัสดุ	ความยืดหยุ่น
ความสะดวก & ความปลอดภัย	1	1	3	5	5
การใช้พื้นที่	1	1	1	3	3
ระยะทางการขนถ่าย	1/3	1	1	5	5
การไหลของวัสดุ	1/5	1/3	1/5	1	3
ความยืดหยุ่น	1/5	1/3	1/5	1/3	1

เมื่อนำค่าในตารางเมตริกซ์แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์ข้างต้นมาคำนวณหาค่าน้ำหนักเกณฑ์ได้ผลลัพธ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักเกณฑ์ที่คำนวณได้

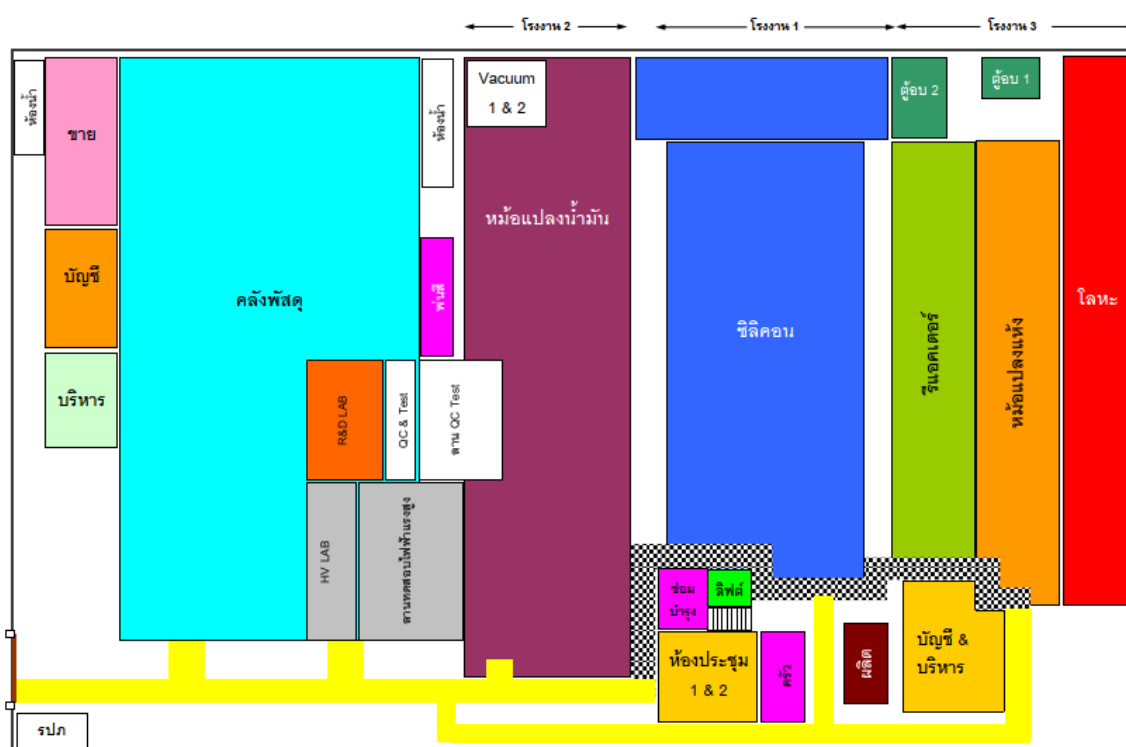
เกณฑ์	ความสะดวก & ความปลอดภัย	การใช้พื้นที่	ระยะทาง การขนถ่าย	การไหล ของวัสดุ	ความ ยืดหยุ่น	น้ำหนัก
ความสะดวก & ความปลอดภัย	1	1	3	5	5	0.367
การใช้พื้นที่	1	1	1	3	3	0.242
ระยะทาง การขนถ่าย	1/3	1	1	5	5	0.245
การไหลของวัสดุ	1/5	1/3	1/5	1	3	0.089
ความยืดหยุ่น	1/5	1/3	1/5	1/3	1	0.057

จากการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: CR) โดยการเปรียบเทียบเกณฑ์ของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งนำมาใช้คำนวณค่า Eigenvector (น้ำหนักเกณฑ์) ว่ามีความสมเหตุสมผลหรือไม่ พบว่าได้ค่า $CR = 0.078 \leq 0.1$ จึงสรุปได้ว่า ความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อจัดลำดับผังการผลิตทั้งสามทางเลือก เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญให้น้ำหนักของผังทางเลือกภายใต้เกณฑ์แต่ละเกณฑ์แล้ว แล้วนำมาใส่ลงตารางเมตริกซ์ได้ผลลัพธ์ออกมาแสดงดังตารางที่ 5 จากค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของทางเลือกที่แสดงไว้ในตารางที่ 5 จะพบว่า ผังทางเลือกที่ 3 (รูปที่ 4 ประกอบ) ตรงตามความต้องการของโรงงานกรณีศึกษามากที่สุด

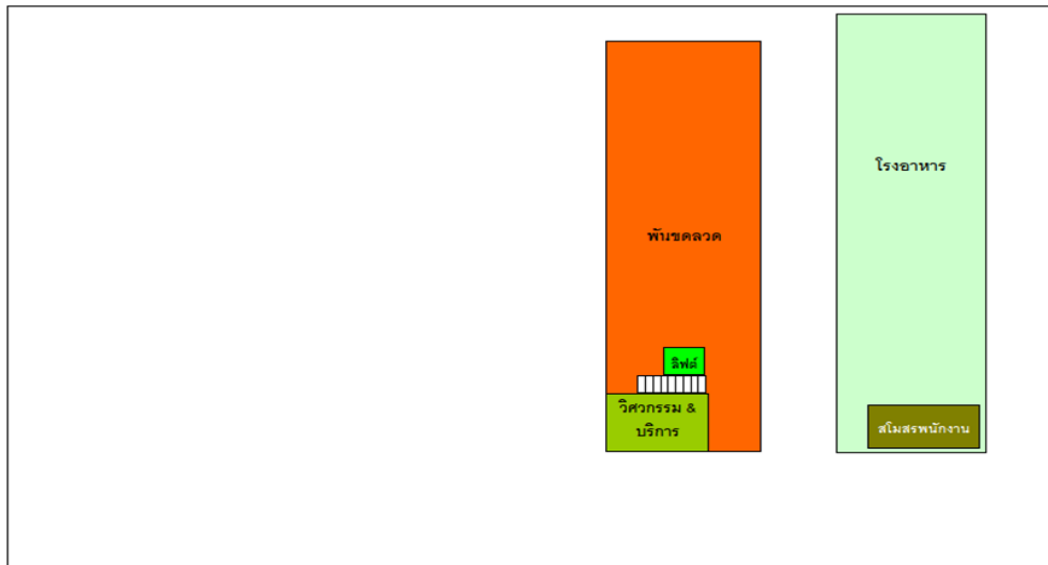
ตารางที่ 5 ผลการจัดลำดับของผังการผลิตทั้งสามทางเลือก

เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ	น้ำหนักเกณฑ์	ผังโรงงานใหม่		
		ทางเลือกที่ 1	ทางเลือกที่ 2	ทางเลือกที่ 3
1. ความสะดวกและความปลอดภัย	0.367	0.103	0.339	0.558
2. การใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ	0.242	0.107	0.497	0.397
3. ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุ	0.245	0.143	0.429	0.429
4. การไหลของวัสดุ	0.089	0.111	0.333	0.556
5. ความยืดหยุ่นในการใช้งาน	0.057	0.333	0.333	0.333
ผลรวมค่าน้ำหนักระดับความสำคัญของทางเลือก		0.127	0.398	0.474

หลังจากได้เลือกผังทางเลือกที่ 3 เป็นผังโรงงานใหม่แล้ว จึงได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังเดิมกับผังใหม่ซึ่งมีเกณฑ์การเปรียบเทียบ ได้แก่ ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ ประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิต โดยผลการเปรียบเทียบแสดงอยู่ในตารางที่ 6



(ก) ชั้นล่างของอาคาร



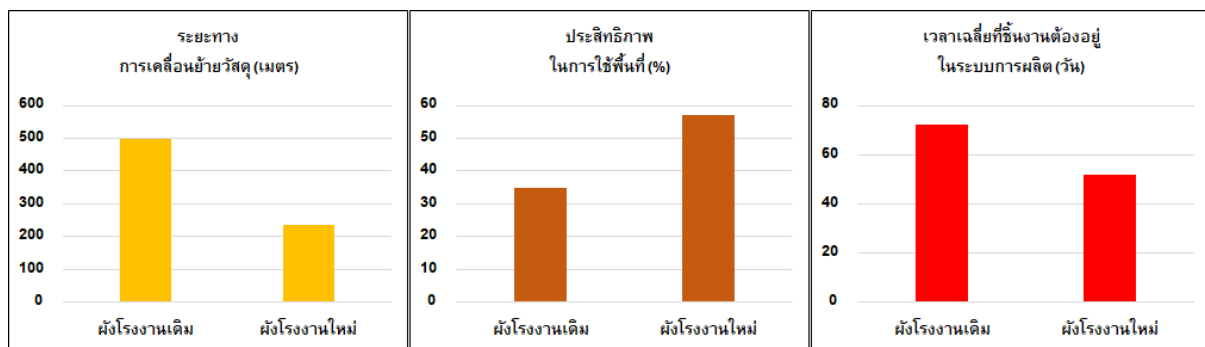
(ข) ชั้นสองของอาคาร

รูปที่ 4 ผังโรงงานทางเลือกที่ 3

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังเดิมและผังใหม่

เกณฑ์การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	ผังโรงงานเดิม	ผังโรงงานใหม่	ผลการปรับปรุง (%)
ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ (เมตร)	498	236	-52.6
ประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ (%)	35	57	+62.9
เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิต (วัน)	72	52	-28.2

จากตารางที่ 6 สามารถสรุปเป็นแผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังเดิมและผังใหม่ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผังโรงงานเดิมมีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยเฉลี่ยประมาณ 498 เมตร ส่วนผังโรงงานใหม่มีระยะทางการไหลของงานโดยเฉลี่ยประมาณ 236 เมตร กล่าวคือการปรับปรุงผังโรงงานช่วยให้ระยะทางการไหลของงานในโรงงานลดลงประมาณ 52% ในส่วนของประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่พบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม 35% เป็น 57% กล่าวคือประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของโรงงานใหม่ดีขึ้น 62.9% และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิตลดลงจากเดิม 72 วัน เหลือเพียง 52 วัน กล่าวคือ เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิตลดลงคิดเป็น 28.2%



รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังเดิมและผังใหม่

5. บทสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบประเมินกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์หรือ AHP เพื่อใช้คัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจากผังโรงงานที่ปรับปรุงใหม่ทั้งหมด 3 ทางเลือก โดยมีเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาตัดสินใจเลือกผังโรงงานทั้งหมด 5 เกณฑ์ซึ่งประกอบด้วย ความสะดวกและความปลอดภัยต่อการทำงานการผลิต การใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ระยะทางในการขนถ่ายวัสดุ การไหลของวัสดุ และความยืดหยุ่นในการใช้งาน ตัวแบบที่นำเสนอได้ประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า

ผลการคัดเลือกผังโรงงานที่เหมาะสมจากทั้งหมด 3 ทางเลือกพบว่า ผังโรงงานทางเลือกที่ 3 มีความเหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของผังโรงงานเดิมกับผังโรงงานใหม่โดยมีเกณฑ์การเปรียบเทียบ ได้แก่ ระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุ ประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิต พบว่า ผังโรงงานเดิมมีระยะทางการเคลื่อนย้ายวัสดุโดยเฉลี่ยประมาณ 498 เมตร ส่วนผังโรงงานใหม่มีระยะทางการไหลของงานโดยเฉลี่ยประมาณ 236 เมตร กล่าวคือการปรับปรุงผังโรงงานช่วยให้ระยะทางการไหลของงานในโรงงานกรณีศึกษาลดลงประมาณ 52% ในส่วนของประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่พบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิม 35% เป็น 57% กล่าวคือประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของโรงงานใหม่ดีขึ้น 62.9% และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิตลดลงจากเดิม 72 วัน เหลือเพียง 52 วัน กล่าวคือเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานต้องอยู่ในระบบการผลิตลดลงคิดเป็น 28.2%

อย่างไรก็ตามตัวแบบประเมิน AHP มีข้อจำกัดในเรื่องการประเมินค่าน้ำหนักของเกณฑ์ต่างๆ เนื่องจากค่าน้ำหนักเหล่านี้มีลักษณะเป็นอัตวิสัย (Subjective) ของผู้ทำการประเมิน ดังนั้นความแม่นยำและความเหมาะสมจึงขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ของผู้ประเมินแต่ละคน นอกจากนี้เกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินเพื่อคัดเลือกผังโรงงานอาจไม่เป็นอิสระต่อกันซึ่งขัดแย้งกับตัวแบบประเมิน AHP ที่ตั้งสมมติฐานเอาไว้ล่วงหน้าว่า เกณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในการประเมินนั้นเป็นอิสระต่อกัน [11] ซึ่งอาจทำให้ผลการประเมินมีความแม่นยำและความเหมาะสมด้อยลงได้หากเกณฑ์ต่างๆ ไม่เป็นอิสระต่อกัน

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lin, L. C. and Sharp, G. P., Quantitative and Qualitative Indices for the Plant Layout Evaluation Problem. *European Journal of Operational Research*, 1999, 116(1), p. 100-117.
- [2] Ho W., Integrated Analytic Hierarchy Process and Its Applications – A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 2008, 186, p. 211-228.
- [3] Yang T and Kuo C., A Hierarchical AHP/DEA Methodology for the Facilities Layout Design Problem. *European Journal of Operational Research*, 2003, 147, p. 128 -136.
- [4] Ertay T, Ruan D, and Tuzkaya UR., Integrating Data Envelopment Analysis and Analytic Hierarchy for the Facility Layout Design in Manufacturing Systems. *Information Sciences*, 2006, 176, p. 237-262.
- [5] Aguilar-Lasserre A. A., et al., An AHP-Based Decision-Making Tool for the Solution of Multiproduct Batch Plant Design Problem under Imprecise Demand. *Computer & Operations Research*, 2009, 36, p. 711-736.
- [6] Ishizaka A. and Labib A., Selection of New Production Facilities with the Group Analytic Hierarchy Process Ordering Method. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38, p. 7317-7325.
- [7] Muther R. and Hales L. (2015). *Systematic Layout Planning*. 4th Edition. Management & Industrial Research Publications
- [8] Saaty, T. L. (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*. Pittsburg: RWS Publications.

<http://jeet.siamtechu.net>

- [9] Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.
- [10] Gurcan, O.F., et al., Third Party Logistics (3PL) Provider Selection with AHP Application. In: 12th International Strategic Management Conference, ISMC 2016, 28-30 October 2016, p. 226-234.
- [11] Jharkharia, S. and R. Shankar, Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. Omega, 2007. 35(3), p. 274-289.

การศึกษาจุดคุ้มทุนระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงาน

INVESTIGATION OF BEAK-EVEN POINT FOR VARIABLE REFRIGERANT FLOW AIR CONDITIONING SYSTEM IN OFFICE BUILDING

สุทัศน์ ศิลาเกษ¹ ดุสิต งามรุ่งโรจน์² กิตติ เกื้อสกุล³ โกวิท กัลยาทอง⁴ จงจิตร หิรัญลาภ⁵
 สุเมธ สติตบุญอนันต์⁶ โจเซฟ เคดารี⁷ นุภาพ แยมไตรพัฒน์⁸ โยธิน อึ้งกุล⁹ สติพร ใหญ่ธนายศ¹⁰
 ปรีดา จันทวงษ์^{11*}

Suthat Silaket¹, Dusit Ngamrungraj², Kitti Kuesakul³, Kowit Kalayathong⁴, Jongjit Hirunlabh⁵,
 Sumate Sathitbunanan⁶, Joseph Khedari⁷, Nuparb Yamtralpat⁸, Yothin Ungkoon⁹,
 Sittiporn Yaitranayot¹⁰, Preeda Chantawong^{11*}

^{1,10,11} หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรม
 เครื่องต้นกำลัง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

^{3,4} อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
 อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

^{5,6} อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

⁷ อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

⁸ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

⁹ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

* Corresponding author E-mail: preedac@kmutnb.ac.th, cpreeda@yahoo.com

Received: 19 October 2021

Revised: 1 December 2021

Accepted: 27 December 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาจุดคุ้มทุนของการใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันสำหรับอาคารสำนักงานตัวอย่าง โดยขอบเขตของงานวิจัยจะใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้ง การใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษาของระบบปรับอากาศ เพื่อหาจุดคุ้มทุนด้วยวิธีต้นทุนวงจรอายุ (Life Cycle Cost : LCC) ในช่วงอายุโครงการตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 20 ปี ก่อนมีการลงทุนติดตั้งจริง โดยกำหนดสมมติฐานการใช้งานไว้ 2 สมมติฐาน ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยวิธีต้นทุนวงจรอายุของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันที่ใช้กับอาคารสำนักงานตัวอย่าง พบว่าระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันมีค่าใช้จ่ายค่าเครื่องและค่าติดตั้งระบบอยู่ที่ 4,649,390 บาท มีค่าบำรุงรักษา 68,150 บาทต่อปี โดยมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 196,700 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 822,973 บาทต่อปี ตามสมมติฐานการใช้งานที่ 1 และมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 185,021 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าไฟฟ้า 774,108 บาทต่อปี ตามสมมติฐานการใช้งานที่ 2 ซึ่งทั้ง 2 สมมติฐานมีจุดคุ้มทุนที่ใช้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดอยู่ที่ 12 ปี ที่จะเหมาะสมต่อการเปลี่ยนระบบปรับอากาศใหม่

คำสำคัญ : ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน, จุดคุ้มทุน, ต้นทุนวงจรอายุ

ABSTRACT

This research study the cost of variable refrigerant flow air conditioning system in office building. This is to find the break-even point by using life cycle cost during lifetime from 1 to 20 years before the actual installation. The scope of this research bases on installation cost, energy consumption and maintenance cost comparison between two hypotheses of use. The results of the break-even point by using life cycle cost analysis of variable refrigerant flow air conditioning system in office building showed that the installation cost is 4,649,390 Baht, maintenance cost is 68,150 Baht/year with electricity consumption of 196,700 kWh/year charge for electricity is 822,973 Baht/year according to hypothesis 1 and electricity consumption of 185,021 kWh/year charge for electricity is 774,108 Baht/year according to hypothesis 2. In which both hypothesis have a break-even point is 12 years and the average pay costs to a minimum for change the new air conditioning system.

Keywords: variable refrigerant flow air conditioning system, break-even point, life cycle cost

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกของเรามีการเปลี่ยนแปลงด้านสภาวะอากาศอยู่ตลอดเวลา และที่สำคัญคือมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่สูงขึ้นมากในทุก ๆ ปี ดังนั้นเพื่อความสะดวกสบายในการดำรงชีวิต มนุษย์จึงคิดค้นระบบปรับอากาศขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ที่สนองต่อความต้องการของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นสำหรับการอยู่อาศัยพักผ่อนภายในบ้าน การทำงานในอาคารสำนักงาน โรงงาน หรือสำหรับสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เช่น ห้างสรรพสินค้า โรงแรม เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าสถานที่ต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น มีการใช้งานระบบปรับอากาศที่แตกต่างกันไปตามขนาดและรูปแบบของอาคารสถานที่นั้น ๆ โดยจะมีการใช้งานระบบปรับอากาศตั้งแต่ขนาดเล็ก เช่น ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) ระบบปรับอากาศขนาดกลาง เช่น ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน (Variable refrigerant flow) ไปจนถึงระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ เช่น ระบบчилเลอร์ (Chiller) เป็นต้น สำหรับอาคารที่มีการปรับอากาศส่วนใหญ่แล้ว ระบบปรับอากาศจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมากเมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบอื่น ๆ ของอาคาร โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 65% [1] ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ซึ่งในปัจจุบันอาคารสำนักงานภายในประเทศไทยมีความจำเป็นที่จะต้องใช้งานเครื่องปรับอากาศเพื่อปรับสภาวะอากาศให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน จึงได้มีการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบต่าง ๆ ไว้ หนึ่งในระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน เนื่องจากเป็นระบบที่ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง ชุดคอยล์ร้อน ทำให้ไม่กระทบต่อรูปลักษณ์ความสวยงามของอาคาร และยังสามารถเลือกเชื่อมต่อกับคอยล์เย็นได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งใช้งานก็ย่อมสูงตามไปด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจศึกษาหาจุดคุ้มทุนด้วยวิธีวิเคราะห์ต้นทุนของการใช้งานระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันของอาคารสำนักงานตัวอย่างแห่งหนึ่งในเขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีพื้นที่ที่ต้องการปรับอากาศบริเวณชั้นที่ 5 ขนาด 1,300 ตารางเมตร ก่อนมีการลงทุนติดตั้งใช้งานจริง โดยวิธีการคำนวณต้นทุนวงจรอายุ (Life Cycle Cost : LCC) ในช่วงอายุโครงการตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 20 ปี เพื่อหาจุดคุ้มทุนในการใช้งานและเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาตัดสินใจในการลงทุนใช้งานระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยจะเริ่มจากการออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันก่อน จากนั้นจึงทำการหาอัตราการใช้พลังงานเพื่อหาค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ โดยกำหนดสมมติฐานการใช้งานออกเป็น 2 สมมติฐานได้แก่

สมมติฐานที่ 1 กำหนดให้ระยะเวลาใช้งานเท่ากันที่ 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี ตามการคิดค่าไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

สมมติฐานที่ 2 กำหนดให้การใช้งานไม่เท่ากันตามการใช้งานจริงของห้องประเภทนั้น ๆ จากการสำรวจเวลาที่คาดว่าจะใช้งานจริงของอาคารสำนักงานตัวอย่าง และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการหาจุดคุ้มทุนของโครงการด้วยวิธีคำนวณต้นทุนวงจรอายุ ซึ่งมีขั้นตอนในการวิจัย ดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1.1 หาภาระการทำความเย็นจากโปรแกรมคำนวณโหลด Load_estimatev3.0 by MELCO Software ของบริษัท มิตรบุษิณี อิเล็กทรอนิกส์ ประเทศไทย

2.1.2 เลือกใช้เครื่องปรับอากาศรุ่นฝังในฝ้าเพดาน กระจุยลม 4 ทิศทาง (Ceiling cassette) [2] เพื่อความเหมาะสมในการกระจายลมของแต่ละห้องซึ่งเป็นพื้นที่สำนักงาน โดยเลือกขนาดการทำความเย็นจากภาระการทำความเย็นที่คำนวณได้

2.1.3 กำหนดตำแหน่งที่จะติดตั้งอุปกรณ์คอยล์เย็น และคอยล์ร้อน แล้ววางแผนผังการติดตั้งระบบท่อน้ำยา โดยต้องเลือกขนาดของคอยล์ร้อน โดยการรวมขนาดภาระการทำความเย็นทั้งหมดของคอยล์เย็น ที่อยู่ในระบบการจ่ายสารทำความเย็นของคอยล์ร้อนตัวดังกล่าว จากนั้นตรวจสอบข้อกำหนดการเดินท่อของระบบที่ระยะท่อใกล้สุดไม่เกิน 165 เมตร, ระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนและคอยล์เย็นในแนวดิ่งไม่เกิน 50 เมตร (40 เมตร กรณีคอยล์ร้อนอยู่ต่ำกว่าคอยล์เย็น), ระยะห่างระหว่างคอยล์เย็นในแนวดิ่งไม่เกิน 15 เมตร และระยะห่างจากท่อแบ่งสารทำความเย็นตัวแรก (First branch) จนถึงคอยล์เย็นตัวที่ใกล้สุด 40 เมตร [3], [4]

2.1.4 เขียนแบบระบบปรับอากาศลงในแผนผังอาคาร (Floor plan)

2.2 การหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน ตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ทั้ง 2 สมมติฐาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

2.2.1 หาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ [5], [6], [7], [8] โดยคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ} = P \times \text{hr./Day} \times \text{Day/year} \times \% \text{ factor} \quad (1)$$

เมื่อ	P	คือ	กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ (kW)
	hr./Day	คือ	จำนวนชั่วโมงการใช้งานเครื่องปรับอากาศ (hr./day)
	Day/year	คือ	จำนวนวันที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศ (Day/year)
	% factor	คือ	% system operation hours at less than of full load

2.2.2 หาค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีของระบบปรับอากาศ โดยคำนวณจากสมการ ดังนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า} \quad (2)$$

โดย	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	มีหน่วยเป็น kWh/year
	อัตราค่าไฟฟ้า	มีหน่วยเป็น Baht/kWh

โดยคิดอัตราค่าไฟฟ้าที่ 4.1839 บาทต่อหน่วย ที่กิจการขนาดกลาง ประเภทที่ 3 ตามการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งไม่รวมค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม และค่าปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft)

2.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยวิธีต้นทุนวงจรอายุของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน

2.3.1 ศึกษาข้อมูลราคาเครื่องปรับอากาศ ราคางานติดตั้ง และค่าบำรุงรักษา จากการให้ บริษัท มิตรบุษิณี อีเล็กทริก กันยงวัฒนา จำกัด ทำการเสนอราคาจากแบบของระบบปรับอากาศที่ได้ออกแบบแล้วเสร็จ

2.3.2 วิเคราะห์ต้นทุนของระบบปรับอากาศด้วยวิธีคำนวณต้นทุนวงจรอายุ (Life Cycle Cost: LCC) โดยกำหนดระยะเวลาโครงการตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 20 ปี โดยไม่นำมูลค่าซากระบบปรับอากาศเมื่อสิ้นสุดโครงการในแต่ละปีมาคำนวณด้วย นอกจากนี้ยังกำหนดให้ค่าไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นปีละ 7% ค่าบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นปีละ 3% รวมทั้งกำหนดให้อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดอยู่ที่ 8% โดยในที่สุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดเพื่อศึกษาถึงความเหมาะสมของอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ใช้ในโครงการที่ 5%, 6%, 7%, 9% และ 10% พร้อมหาค่าเฉลี่ยระยะเวลาคู่ทุนของโครงการ [9], [10], [11], [12]

2.3.2.1 แปลงต้นทุนราคาเครื่องพร้อมติดตั้ง ค่าไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษาระบบปรับอากาศเป็นมูลค่าเทียบเท่ารายปี จากสมการ

$$R = P [i (1+i)^n / ((1+i)^n - 1)] \quad (3)$$

เมื่อ R คือ มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Baht/year)

P คือ มูลค่าปัจจุบันของค่าเครื่องรวมติดตั้ง, ค่าไฟฟ้า และค่าบำรุงรักษา (Baht/year)

i คือ อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด กำหนดที่ 8%

n คือ ระยะเวลาของโครงการที่ทำการวิเคราะห์

2.3.2.2 แปลงค่าไฟฟ้าที่มีค่าส่วนต่างที่เพิ่มขึ้น 7% ในแต่ละปี และค่าบำรุงรักษาที่มีค่าส่วนต่างที่เพิ่มขึ้น 3% ในแต่ละปี เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้สมประสิทธิ์ดอกเบี้ยเงินจ่ายครั้งเดียว จากสมการ

$$P = S [1 / (1+i)^n] \quad (4)$$

เมื่อ P คือ มูลค่าปัจจุบัน (Baht/year)

S คือ ค่าส่วนต่างในแต่ละปี (Baht/year)

i คือ อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด กำหนดที่ 8%

n คือ ระยะเวลาของโครงการที่ทำการวิเคราะห์

2.3.2.2 ปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ใช้ในโครงการเป็น 6%, 7%, 9% และ 10% ตามลำดับ โดยใช้สมการ (3) และ (4) ทำการวิเคราะห์ซ้ำ พร้อมหาค่าเฉลี่ยระยะเวลาคู่ทุนของโครงการ

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน มีดังต่อไปนี้

3.1.1 ผลการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยโปรแกรม Load_estimatev3.0 software แสดงได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณภาระโหลดทำความเย็นด้วยโปรแกรม Load_estimatev3.0 software

NO.	ROOM NAME	AREA (m ²)	COOLING LOAD (BTU/HR.)
1	MEETING RM. 1	73	75,646
2	ADVERTISING RM.	241	260,210
3	IT OFFICE	141	137,772
4	TRINING RM.	125	145,660
5	SALES AND ENGINEER OFFICE RM.	462	461,708
6	PHOTOCOPYING RM.	32	24,867
7	MEETING RM. 2	75	75,713
8	CENTER CORRIDOR	64	48,474
9	CORRIDOR	91	91,370

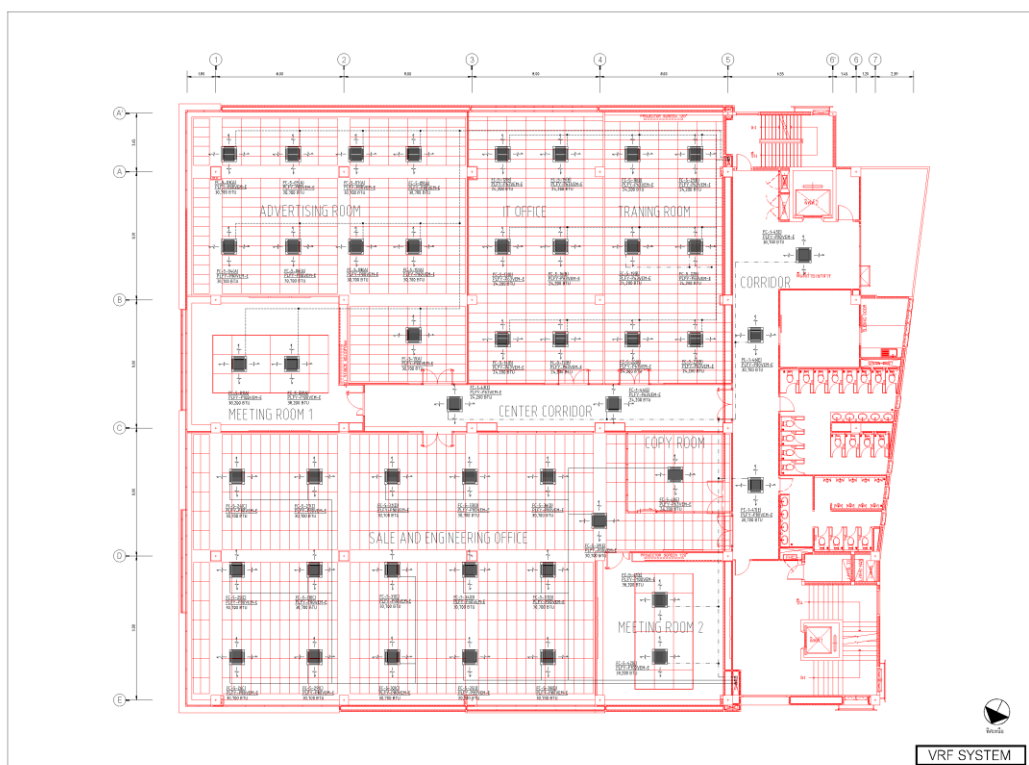
3.1.2 จากผลการโหลดทำความเย็นตามตารางที่ 1 นำค่าภาระการทำความเย็นที่ได้มาเลือกระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันจากแบรนด์ผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศมิตซูบิชิ อิเล็กทริก (MITSUBISHI ELECTRIC) แสดงได้ตามตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการเลือกระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน

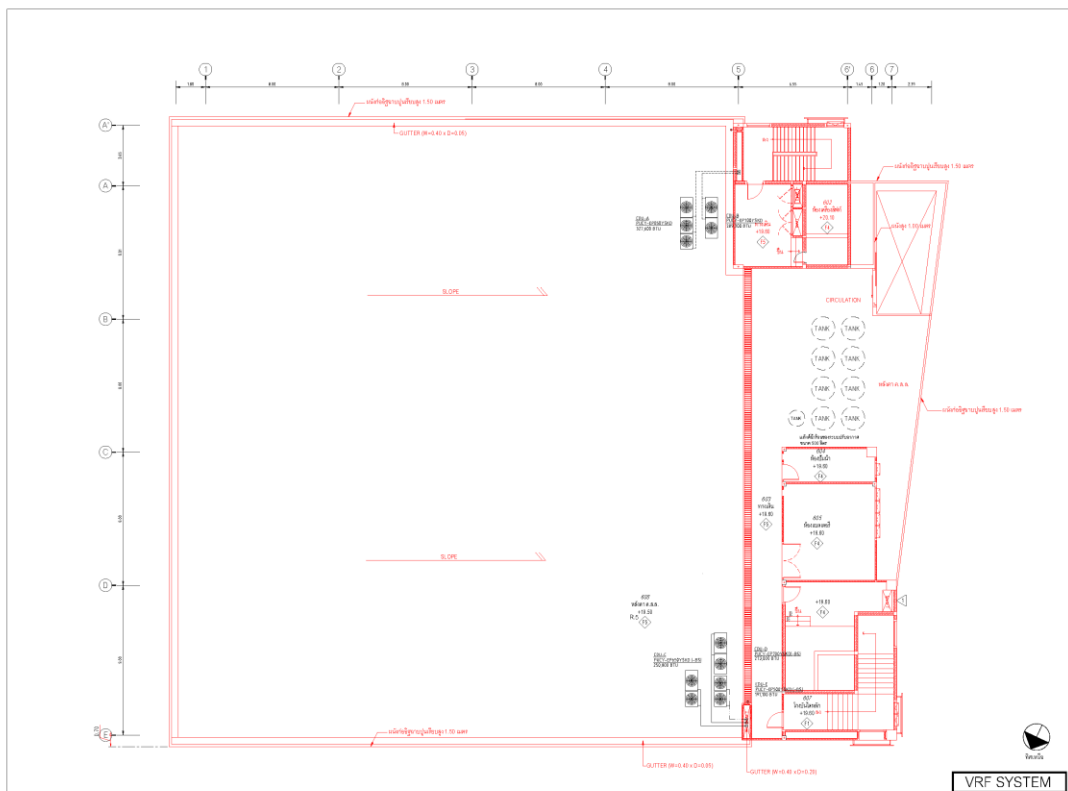
NO.	FCU	LOCATION RESERVE	COOLING LOAD	MODEL	QTY.	CAPACITY	TOTAL CAPACITY
			Btu/hr.			Btu/hr.	Btu/hr.
1	FC-01-02	MEETING RM. 1	75,646	PLFY-P100VEM	2	38,200	76,400
2	FC-03-11	ADVERTISING RM.	260,210	PLFY-P80VEM	9	30,026	270,234
		CDU-A		PUCY-EP850YSKD	1		327,600
3	FC-12-17	IT OFFICE	137,772	PLFY-P63VEM	6	24,225	145,350
4	FC-18-23	TRINING RM.	145,660	PLFY-P63VEM	6	24,225	145,350
		CDU-B		PUCY-EP700YSKD	1		273,000
5	FC-24-31	SALES OFFICE RM.	461,708	PLFY-P80VEM	8	30,026	240,208
		CDU-C		PUCY-EP650YSKD	1		250,800

NO.	FCU	LOCATION RESERVE	COOLING		QTY.	CAPACITY	TOTAL
			LOAD	MODEL		Btu/hr.	CAPACITY
			Btu/hr.			Btu/hr.	Btu/hr.
6	FC-32-39	ENGINEER OFFICE RM.		PLFY-P80VEM	8	30,026	240,208
	FC-40	PHOTOCOPYING RM.	24,867	PLFY-P63VEM	1	24,225	24,225
	CDU-D			PUCY-EP700YSKD	1		273,000
7	FC-41-42	MEETING RM. 2	75,713	PLFY-P100VEM	2	38,200	76,400
8	FC-43-44	CENTER CORRIDOR	48,474	PLFY-P63VEM	2	24,225	48,450
9	FC-45-47	CORRIDOR	91,370	PLFY-P80VEM	3	30,700	92,100
	CDU-E			PUCY-EP500YSKD	1		191,100

3.1.3 จากการเลือกระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามตารางที่ 2 แล้วนั้น นำมาเขียนแบบการติดตั้งระบบท่อน้ำยาดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ได้ดังนี้



รูปที่ 1 Piping installation variable refrigerant flow air conditioning system



รูปที่ 2 Condensing unit installation variable refrigerant flow air conditioning system

การเขียนแบบการติดตั้งระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน ได้เดินท่อน้ำยาของระบบปรับอากาศขึ้นทางช่องชาร์ป (Shaft) ของอาคารที่ชั้น 5 เพื่อขึ้นไปที่ชั้นดาดฟ้าที่จัดเตรียมไว้สำหรับวางคอยล์ร้อน จึงจะเห็นได้ว่าระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันใช้พื้นที่ในการติดตั้งคอยล์ร้อนน้อย ไม่กระทบกับความสวยงามของอาคาร สามารถนำพื้นที่ที่เหลือไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ จึงเป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน

3.2 การหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน ตามสมมติฐานที่กำหนดไว้ทั้ง 2 สมมติฐาน มีผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้

3.2.1 การหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน พบว่า

สมมติฐานที่ 1 จากการใช้งาน 8 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 365 วันต่อปี มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอยู่ที่ 196,700 kWh/year คิดเป็นค่าไฟฟ้าได้ 822,973 Baht/year

สมมติฐานที่ 2 จากการใช้งานไม่เท่ากันตามการใช้งานจริงของห้องประเภทนั้น ๆ ตามการสำรวจเวลาที่คาดว่าจะใช้งานจริงของอาคารสำนักงานตัวอย่าง โดยอ้างอิงจากการสำรวจเวลาปฏิบัติงานของบริษัท มิตรชุบิชิ อิเล็กทริก กันยงวัฒนา จำกัด (ช่วงเวลาลาปกติก่อนเกิดเหตุการณ์โควิด 19 ระบาด) สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจะอยู่ที่ 185,021 kWh/year คิดเป็นค่าไฟฟ้าได้ 774,108 Baht/year

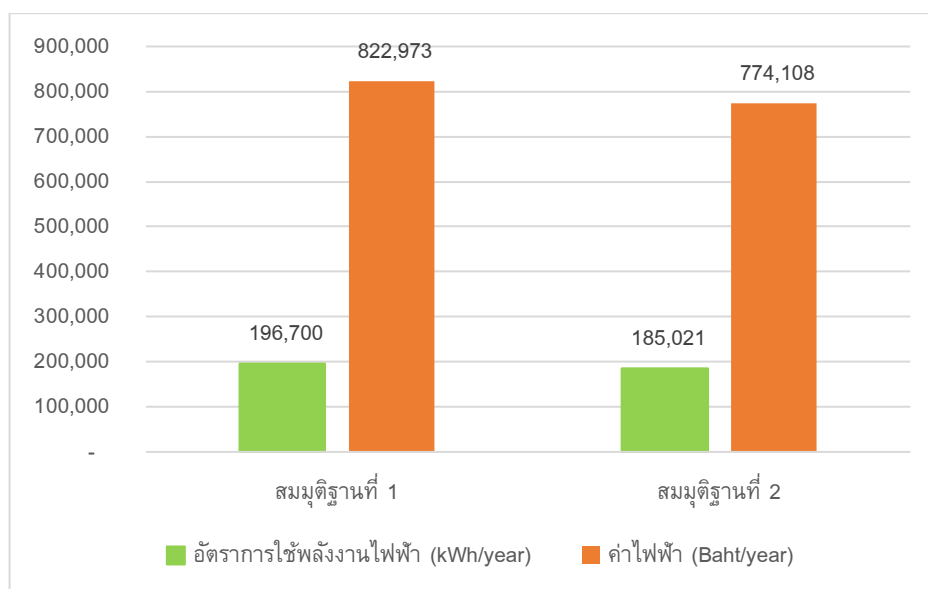
ตารางที่ 3 ระยะเวลาและจำนวนวันที่เปิดใช้งานระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงาน

NO.	ROOM NAME	WORKING HOURS		HOURS	DAY PER
		NORMAL TIME	OVER TIME	PER DAY	YEAR
1	MEETING RM. 1	-	-	4	144
2	ADVERTISING RM.	8:30 - 17:30	18:00 - 21:00	11	261
3	IT OFFICE	8:30 - 17:30	18:00 - 21:00	11	261
4	TRAINING RM.	9:00 - 16:00	-	6	6
5	SALES AND ENGINEER OFFICE RM.	8:30 - 17:30	18:00 - 21:00	11	261
6	PHOTOCOPYING RM.	8:30 - 17:30	-	8	261
7	MEETING RM. 2	-	-	4	144
8	CENTER CORRIDOR	8:30 - 17:30	-	8	261
9	CORRIDOR	8:30 - 17:30	-	8	261

หมายเหตุ : ไม่รวมช่วงเวลาปิดใช้งานระหว่างวันในช่วง 12:00 - 13:00 น. และ 17:30 - 18:00 น.

โดย PHOTOCOPYING RM., CENTER CORRIDOR และ CORRIDOR ไม่มีการเปิดใช้งานในช่วง OVER TIME MEETING RM.1 & 2 เป็นการประมาณค่าการใช้งานที่ 4 ชั่วโมงต่อวัน จำนวน 3 วันต่อสัปดาห์ และ TRAINING RM. เป็นการใช้งานจัดอบรมโดยประมาณ 3 ครั้งต่อปี ครั้งละ 2 วัน จำนวน 6 ชั่วโมงต่อวัน

จากการวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าตามสมมติฐานการใช้งานทั้งสองแล้วนั้น สามารถนำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานและค่าไฟฟ้าของทั้งสองสมมติฐานดังแสดงในรูปที่ 3 ได้ดังนี้



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามสมมติฐานการใช้งาน 2 สมมติฐาน

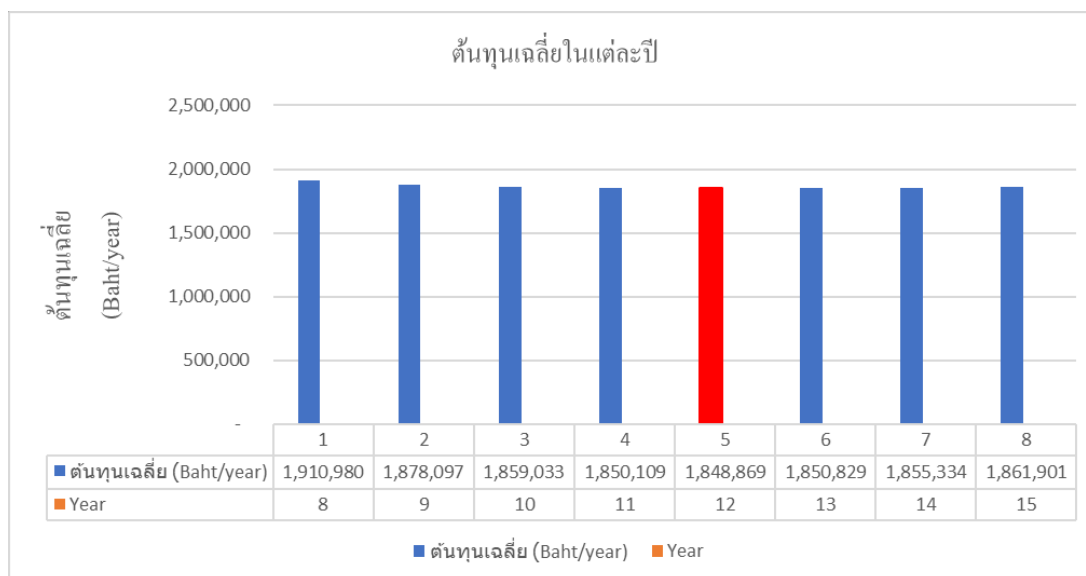
จากกราฟเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามสมมติฐานการใช้งานทั้งสองสมมติฐานจะพบว่า อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าตามสมมติฐานที่ 2 มีค่าต่างจากสมมติฐานที่ 1 ประมาณ 6% เท่านั้น เนื่องจากในการคำนวณอัตราการใช้พลังงานตามเวลาที่คาดว่าจะใช้งานจริงในสมมติฐานที่ 2 นั้น ในกลุ่มคอยล์ร้อนที่เปิดใช้งานจะอ้างอิงระยะเวลาใช้งานจากห้องที่มีการเปิดใช้งานสูงสุดในกลุ่มคอยล์ร้อนนั้น ๆ เป็นหลัก ทำให้สมมติฐานที่ 2 เหมาะที่จะทำการวิจัยหลังจากมีการติดตั้งระบบจริงแล้วเสร็จต่อไป

3.3 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยวิธีต้นทุนวงจรอายุของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันพบว่า จากข้อมูลราคาเครื่องปรับอากาศ ราคาถ่างานติดตั้ง และราคาค่าบำรุงรักษา จากเอกสารใบเสนอราคาของบริษัท มิตรชัย อีเล็คทริก กันยงวัฒนา จำกัด สามารถสรุปต้นทุนค่าใช้จ่ายได้ดังแสดงในตารางที่ 4 ดังนี้

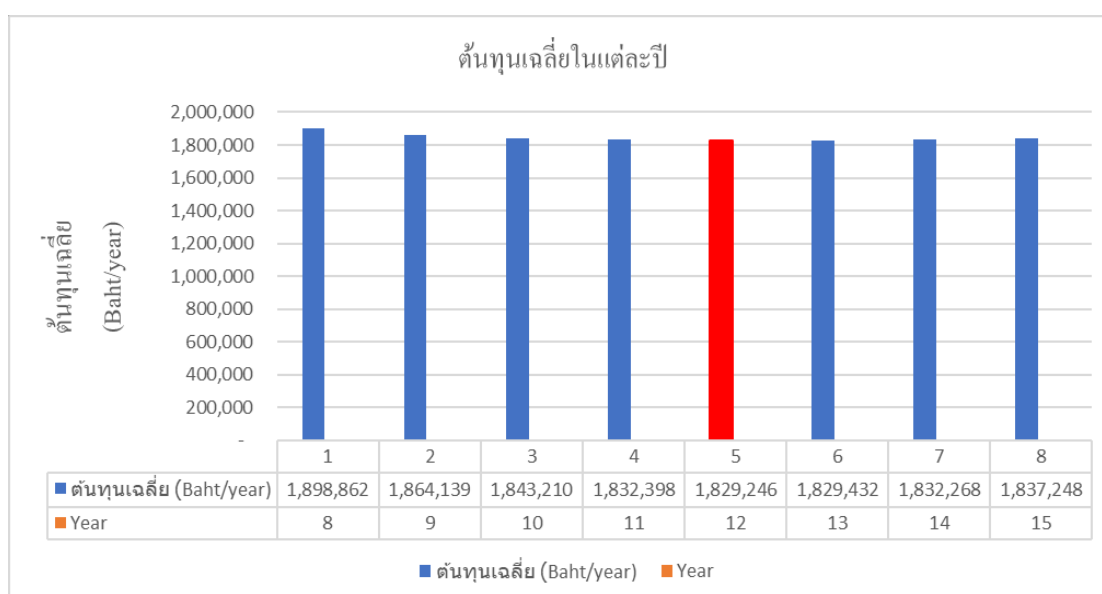
ตารางที่ 4 ต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน

รายการ	ต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบปรับอากาศ	หมายเหตุ
	ค่าใช้จ่ายด้านการลงทุน	
ค่าเครื่องระบบปรับอากาศ		
รวมค่าติดตั้ง	4,649,390 Baht	
	สมมติฐานที่ 1	
ค่าบำรุงรักษา	68,150 Baht/year	เพิ่มขึ้นปีละ 3%
ค่าไฟฟ้า	822,973 Baht/year	เพิ่มขึ้นปีละ 7%
	สมมติฐานที่ 2	
ค่าบำรุงรักษา	68,150 Baht/year	เพิ่มขึ้นปีละ 3%
ค่าไฟฟ้า	774,108 Baht/year	เพิ่มขึ้นปีละ 7%

ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลต้นทุนค่าใช้จ่ายของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันที่ได้มาคำนวณต้นทุนวงจรอายุในระยะเวลาช่วงอายุโครงการตั้งแต่ 1 ปี จนถึง 20 ปี ก่อนมีการลงทุนติดตั้งจริงตามสมมติฐานทั้งสอง จะได้ผลวิเคราะห์เป็นกราฟต้นทุนวงจรอายุเฉลี่ยดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 ได้ดังนี้



รูปที่ 4 กราฟแสดงต้นทุนวงจรอายุเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามสมมุติฐานที่ 1 ในช่วงอายุโครงการระหว่างปีที่ 8 ถึงปีที่ 15



รูปที่ 5 กราฟแสดงต้นทุนวงจรอายุเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามสมมุติฐานที่ 2 ในช่วงอายุโครงการระหว่างปีที่ 8 ถึงปีที่ 15

จากกราฟแสดงต้นทุนวงจรอายุเฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันตามสมมุติฐานทั้งสองในรูปที่ 4 และรูปที่ 5 จะพบว่า ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันมีต้นทุนค่าใช้จ่ายในปีที่ 8 ที่ 1,910,980 Baht/year สำหรับสมมุติฐานที่ 1 และ 1,898,862 baht/year ตามสมมุติฐานที่ 2 โดยจะลดลงในปีที่ 9 ถึงปีที่ 12 จากนั้นในปีที่ 13 ต้นทุนค่าใช้จ่ายเฉลี่ยจะสูงขึ้นทั้ง 2 สมมุติฐาน เนื่องจากระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันเริ่มมีอายุการใช้งานที่มากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายพลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจนครบอายุโครงการที่

<http://jeet.siamtechu.net>

20 ปี ดังนั้นทางเลือกความคุ้มค่าในการใช้งาน จะพบว่า มีจุดของกราฟทั้งสองที่น้อยที่สุดอยู่ที่ 12 ปี ซึ่งแสดงว่า มีความคุ้มค่าในการใช้งาน และถึงเวลาเปลี่ยนระบบปรับอากาศใหม่จะอยู่ที่ 12 ปี ซึ่งมีต้นทุนเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 1,848,869 Baht/year และ 1,829,432 Baht/year ตามลำดับสมมุติฐาน

ผลการวิเคราะห์การปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ใช้ในโครงการเป็น 6%, 7%, 9% และ 10% ตามลำดับ พร้อมหาค่าเฉลี่ยระยะเวลาคจุดคุ้มทุนของโครงการจะแสดงได้ดังตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ใช้ในโครงการ

สมมุติฐาน	จุดคุ้มทุน					ค่าเฉลี่ย
	อัตราคิดลดที่ 6%	อัตราคิดลดที่ 7%	อัตราคิดลดที่ 8%	อัตราคิดลดที่ 9%	อัตราคิดลดที่ 10%	
1	14	13	12	11	11	12.2
2	15	14	12	12	11	12.8

จากผลการปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดที่ใช้ในโครงการทั้ง 2 สมมุติฐานตามตารางที่ 5 จะแสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดมีค่าน้อย จะทำให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงการลดลง ทำให้คุ้มค่าต่อการลงทุนใช้งานระบบปรับอากาศมากขึ้น แต่ถ้าอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในโครงการเพิ่มสูงขึ้นและกระทบต่อการไม่คุ้มค่าในการลงทุนใช้งาน โดยค่าเฉลี่ยจุดคุ้มทุนที่ได้จากโครงการนี้จากการคำนวณทั้ง 2 สมมุติฐาน จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 12.2 ปี และ 12.8 ปี ตามลำดับ

4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันเหมาะสมกับอาคารที่มีพื้นที่วางคอยล์ร้อนจำกัด และต้องการคงรูปลักษณะความสวยงามของอาคารไว้ รวมทั้งอาคารที่ต้องการพื้นที่ใช้สอยในการทำประโยชน์อย่างอื่น เช่น ทำสวนพักผ่อน หรือติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บริเวณชั้นดาดฟ้า เป็นต้น โดยระบบนี้มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งใช้งานที่สูง ดังนั้นการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าในการลงทุนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้งาน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีคำนวณต้นทุนวงจรอายุตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ทั้ง 2 สมมุติฐาน พบว่ามีจุดคุ้มทุนที่ใช้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดอยู่ที่ 12 ปี จึงจะเหมาะสมต่อการเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศใหม่ทั้ง 2 สมมุติฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยจากการปรับเปลี่ยนอัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลดอยู่ประมาณ 12 ปี เช่นกัน

งานวิจัยนี้ใช้ระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผันเพียงผู้ผลิตแบรนด์เดียวเท่านั้นในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน ดังนั้นแนะนำให้ผู้ที่มีความสนใจในการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนด้วยวิธีคำนวณต้นทุนวงจรอายุทำการเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศหลายๆ แบรนด์ผู้ผลิตเพื่อหาค่าที่แม่นยำยิ่งขึ้น เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาเลือกใช้งานระบบปรับอากาศที่มีความคุ้มค่าและเหมาะสมกับอาคารประเภทอื่น ๆ ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์และการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งคุณศุภพล พันธุ์หิรัญ ผู้ช่วยผู้จัดการฝ่าย ฝ่ายขายระบบปรับอากาศ โครงการ บริษัท มิตซูบิชิ อิเล็กทริก กันยงวัฒนา จำกัด ที่ร่วมให้คำปรึกษาและคำแนะนำในเรื่องต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

<http://jeet.siamtechu.net>

งานวิจัยนี้ และที่สำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ภรรยา ลูกสาว และผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลืออนุเคราะห์ด้านข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ รวมถึงสนับสนุนด้านการศึกษามาโดยตลอดซึ่งผู้จัดทำงานวิจัยมีความรู้สึกปลาบปลื้ม และซาบซึ้งในความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่ง จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้ประสบความสำเร็จด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, คู่มือแนวทางการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, 2560.
- [2] Mitsubishi Electric Corporation, Data book A5 R410A series of air conditioning system, Japan, 2019.
- [3] วินัย แก้วมณี, “การออกแบบระบบปรับอากาศแบบปรับน้ำยาแปรผัน”, บทความวิชาการ ชุดที่ 13 สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, 2551, หน้า 78 – 88.
- [4] Mitsubishi Electric Corporation, Installation manual of air conditioners for building application inverter Y-Series OUTDOOR UNIT, Thailand, 2019.
- [5] นมดล สายสวัสดิ์, การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบปรับอากาศแบบส่วนกลางสำหรับการปรับอากาศในอาคาร 52 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตร์ อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
- [6] AHRI Standard 1230, “Standard for Performance Rating of Variable Refrigerant Flow (VRF) Multi-Split Air-Conditioning and Heat Pump Equipment”, VA 22201, USA, 2010.
- [7] Daikin Corporation, (2020, Oct.12). Energy Saving of Inverter Air Condition and R32 Refrigerant DAIKIN VIETNAM 28th Aug, 2017, [online] Available: <https://www.jica.go.jp/project/english/vietnam/036/activities/c8h0vm0000bqnnlf-att/e4e.pdf>
- [8] Jankovic Alex, (2020, Oct. 9). Back to basics: VRF systems, [online] Available: <https://www.csemag.com/articles/back-to-basics-vrf-systems/>
- [9] ธนาวดี เกตุธนาภานต์ และสุชาติ คำวงศ์ษา, การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้เครื่องปรับอากาศแยกส่วน, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.
- [10] อธิยุติ จงใจ, การศึกษาทางเลือกเพื่อใช้เครื่องปรับอากาศของใหม่ และของเดิมโดยวิธีการคำนวณต้นทุนวงจรอายุ (Life Cycle Cost, LCC), สารนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอาคาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2556.
- [11] เชษฐ์ ตั้งทรงจิตรากุล, ความคุ้มค่าทางการเงินของโครงการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศในอาคารที่พักอาศัย, สารนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2551
- [12] ไพบุลย์ แย้มเผื่อน, เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม, ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ, 2556

วารสารวิชาการเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม Journal of Energy and Environment Technology

คำแนะนำในการเตรียมต้นฉบับ: บทความควรมีความยาวไม่เกิน 9 หน้า กระดาษ A4 การตั้งค่าหน้ากระดาษ ขอบด้านบน 3 ซม. และด้านล่าง 1.5 ซม. ขอบด้านขวาและซ้าย 2.25 ซม. พิมพ์ด้วย ตัวอักษร "Browallia New" ขนาด 14 โดยหัวข้อต่างๆ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดาและพิมพ์ชิดขอบ ทั้งสองด้าน การลำดับหัวข้อของเนื้อเรื่อง ให้ใช้เลขกำกับ บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และหากมีหัวข้อย่อยให้ใช้เลขระบบทศนิยมกำกับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา

คำแนะนำในการเรียงลำดับเนื้อหา: ให้เรียงลำดับตามหัวข้อต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง (Title): ควรกระชับ ชัดเจน ครอบคลุมเนื้อหาสำคัญ ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ตัวหนา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน: ระบุชื่อเต็ม-นามสกุลเต็ม ของชื่อผู้เขียนให้ครบทุกคน และลงเครื่องหมายดอกจันกำกับท้ายรายชื่อสำหรับผู้ประสานงาน ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดซ้ายของหน้ากระดาษ

ที่อยู่หรือหน่วยงาน: ระบุชื่อหน่วยงานหรือสถาบันใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวเอียง และ E-mail address ที่ติดต่อ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวธรรมดา ตำแหน่งชิดขอบกระดาษด้านซ้าย

บทคัดย่อ (Abstract): ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยให้นำบทคัดย่อภาษาไทยขึ้นก่อนภาษาอังกฤษ ซึ่งต้องมีเนื้อหาตรงกัน ให้พิมพ์คอลัมน์เดียว บรรทัดแรกเว้น 1 Tab เนื้อหาในบทคัดย่อควรระบุวัตถุประสงค์โดยย่อ ผลการวิจัย และบทสรุปโดยย่อ หัวข้อบทคัดย่อใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษรขนาด 14 และพิมพ์ชิดขอบทั้งสองด้าน

คำสำคัญ (Keyword): ให้มีคำสำคัญเป็นภาษาไทยและภาษาอังกฤษอยู่คนละหน้า ใต้บทคัดย่อ (Abstract) หัวข้อคำสำคัญใช้ตัวอักษรขนาด 14 ตัวหนา ส่วนเนื้อหาใช้ตัวธรรมดา

เนื้อหา (Text): บทความวิจัยประกอบด้วย

บทนำ (Introduction): บอกความสำคัญ หรือที่มาของปัญหาที่นำไปสู่การศึกษาวัตถุประสงค์ และอาวรวมการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Methods): กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์ และการทดลองที่กระชับและชัดเจน

ผลการทดลอง (Results): บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน อาจมีรูปภาพหรือตารางที่ชัดเจนประกอบคำอธิบายได้

อภิปรายผลและสรุปผล (Discussion and Conclusion): อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมินการตีความ และการวิเคราะห์ในแง่มุมต่าง ๆ ควรมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผลและอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์ กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี): ระบุสั้น ๆ ว่าได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยและความช่วยเหลือจากแหล่งใดบ้าง

ตารางและรูป: ต้องมีความคมชัดและให้แทรกไว้ในบทความ มีคำอธิบายสั้นๆ แต่สื่อความหมายได้สาระครบถ้วนและเข้าใจ กรณีที่เป็นตาราง ให้ระบุลำดับที่ของตาราง ใช้คำว่า "ตารางที่..." และมีคำอธิบายไว้เหนือตาราง กรณีที่เป็นรูป ให้ระบุลำดับที่ของรูปใช้คำว่า "รูปที่..."

ภาคผนวก (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง (References): บทความทุกฉบับจะต้องมีการอ้างอิงเอกสารในบทความโดยเอกสารอ้างอิงระบบ Vancouver ดังตัวอย่างต่อไปนี้

[หนังสือ] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. ชื่อเมืองที่พิมพ์. ชื่อสำนักพิมพ์; ปีพิมพ์.

[วารสาร] ชื่อผู้แต่ง. ชื่อเรื่อง. ชื่อย่อของวารสาร. ปีพิมพ์; เล่มที่ (ฉบับที่): เลขหน้า.

[วิทยานิพนธ์และการศึกษาค้นคว้าอิสระ] ชื่อผู้เขียน. ชื่อเรื่อง [ประเภทหรือระดับปริญญา]. เมืองที่พิมพ์: ชื่อมหาวิทยาลัย; ปีพิมพ์.

[หนังสือรวมเรื่อง] ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อเรื่อง. ชื่อบรรณาธิการ (บรรณาธิการ), ชื่อหนังสือ (ครั้งที่พิมพ์ตั้งแต่พิมพ์ครั้งที่ 2 เป็นต้นไป, หน้า). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์.

[หนังสือพิมพ์] ชื่อผู้แต่ง. (วันที่ เดือน ปีที่พิมพ์). ชื่อเรื่อง. ชื่อหนังสือพิมพ์. เลขหน้าแรก-หน้าสุดท้าย.

[สื่ออิเล็กทรอนิกส์] ชื่อโฮมเพจ/เว็บไซต์ [อินเทอร์เน็ต]. ชื่อเมืองที่พิมพ์: ชื่อสำนักพิมพ์; ปีที่พิมพ์ [ปรับปรุงเมื่อปี เดือน วันที่; เข้าถึงเมื่อปี เดือน วันที่]. เข้าถึงได้จาก: URL.

เกณฑ์การพิจารณา: บทความจะต้องได้รับการประเมินโดยผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชานั้น 2-3 คน ซึ่งกองบรรณาธิการ อาจให้ผู้เขียนปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้น และทรงไว้ซึ่งสิทธิในการตัดสินใจตีพิมพ์หรือไม่ก็ได้

**"บทความที่ลงพิมพ์ เป็นข้อคิดเห็นของผู้เขียนเท่านั้น
ผู้เขียนต้องรับผิดชอบต่อผลทางกฎหมายใดๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากบทความนั้น"**

วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม Siam Technology College



DIFFERENTLY...I-LEARN
WWW.SIAMTECHU.NET