

NUEJ

NARESUAN

UNIVERSITY ENGINEERING JOURNAL

July - December 2019 Vol.14, No.2
ISSN 2651-1568



กองบรรณาธิการวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร

ที่ปรึกษา		
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	วงศ์วิเศษ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	แย้มแม่น	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ทิพย์	แทนธานี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.อุรุธา	วีสกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
บรรณาธิการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฏา	สิมารักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองบรรณาธิการ		
ดร.ธณิกานต์	ธงชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.ศลิษา	วีรพันธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยบรรณาธิการ		
ดร.จิรวดี	ผลประเสริฐ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.สุรพล	เจริญสุข	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
กองบรรณาธิการ		
ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล	มุณีสว่าง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ศาสตราจารย์ ดร.จันทพร	ผลากรกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.วินดา	จินศาสตร์	คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.วิทธิ	อึ้งภากรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์	บุญอำนวยวิทยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	วงศ์วิเศษ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์	ฤทธิเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ศาสตราจารย์ ดร.สำเร็จ	จักรใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.อนันต์	ธนชยานนท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ศาสตราจารย์ ดร.อิสระชัย	งามหุ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กองบรรณาธิการ

Professor Christian	Hicks	Deputy Director, Professor of Operations Management Newcastle University United Kingdom,
รองศาสตราจารย์ ดร.กำชัย	นัยนิติกุล	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และทรัพยากร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
รองศาสตราจารย์ ดร.กุลยา	กนกจรรูจิตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมราช	วันทวิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงพล	กาญจนชูชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์	ธีรอำพน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ	ชุ่มฤทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวิท	เจริญใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.พวงรัตน์	ขจิตวิษยานุกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.มัทนี	สงวนเสริมศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.ยศชนัน	วงศ์สวัสดิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญญกร	วุฒิสัทติกุลกิจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	โพธิ์เงิน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิสสนัย	วรรณจรรย์ยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิระสิทธิ์	อัมฉวิล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สงวน	ปัทมธรรมกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร	โกคา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รองศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ	ชื่นชูกลิ่น	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สมร	หิรัญประดิษฐ์กุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สุชาติ	แย้มเม่น	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์	กิริเวทยา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชัย	ฤทธิวิทย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
Assoc.Prof.Dr. Vo Ngoc	Dieu	Ho Chi Minh City University of Technology Vietnam
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แก้กัณยา	สุคประเสริฐ	คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เมธี	บุญพิเชษฐวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนมขวัญ	ริยะมงคล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

กองบรรณาธิการ		
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธัญดา	พรรณเชษฐ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปจรรย์	ทองสนิท	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนัส	นัถฤทธิ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์	พงษ์เจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวรรณ	พลพิทักษ์ชัย	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมลักษณ์	วรรณฤมล กิโยลา โรว่า	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สสิกรณณ์	เหลื่องวิชเชริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ดร.พิสุทธิ	อภิษยกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
Dr. Sasidharan	Sreedharan	University of Hawaii USA
Dr. Ivan	Lee	School of Information Technology and Mathematical Sciences University of South Australia

สารบัญ

Research Articles

การพัฒนาแผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน: กรณีศึกษามหาวิทยาลัยนเรศวร

Developing Transportation System Strategic Plan for Sustainable Community Development: Naresuan University Case Study

บุญพล มีไชโย, ชัยวัฒน์ แสงศรีจันทร์

Boonphol Meechaiyo, Chaiwat Sangsrirachan.....1

การวิเคราะห์ทางสถิติของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำน่านตอนล่างของประเทศไทย

Statistical Analysis of Water Quality Parameters in Downstream of Nan River, Thailand

พิชชพงศ์ พิทักษ์วินัย, วิลาวลัย คณิตชัยเดชา, คคนางค์ รัตนานิคม, อูปถัมภ์ นาครักษ์

Pichapong Pitakwinai, Wilawan Khanitchaidecha, Khakhanang Ratananikom, Auppatham Nakaruk.....14

การออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตขนมไทย

Design of Production Planning Process for Thai Dessert Factory

กฤษดา พัวสกุล, สิริวิญญ์ สว่างนพ, ธีรภัทร์ อนุภาพพันธุ์, จีรณา จันทรสีชา

Kritsada Puasakul, Siravit Swangnop, Teerapat Anuphabpan, Jeerana Junsikaw.....24

การทำนายค่าการสึกหรอด้านข้างคมตัดของมีดกลึงคาร์ไบด์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ

Prediction Flank Wear of Carbide Cutting Tool Using Back Propagation Artificial Neural Network

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล

Chalernpol Klaynil, Pongsakorn Leetrakul.....35

การประเมินความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

The Evaluation of the Machinery Characteristics Requirement for the Food Processing and Pharmaceutical Industries Using Quality Function Deployment Technique

ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์, จิดาภา เบ้าบัวเงิน, ปราโมทย์ ศรีษร, ชูศักดิ์ พรสิงห์, จันทรเพ็ญ อนุรัตน์นนท์, ทองแท่ง ทองลิ้ม

Patrawet Tharawetcharak, Jidapa Baobuangoen, Pramote Srisorn, Choosak Pornsing, Chanpen Anurattananon, Tongtang Thonglim.....47

การสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการอุตุนิยมวิทยา

Building of a Simple Ground Station for Receiving Satellite Images for Meteorology

ธนพงศ์ พันธุ์ทอง, อรัญญา เหล่าสิงห์

Thanapong Phanthong, Aranya Laosing.....63

วัตถุประสงค์

วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดสรรผลงานวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสาร และทำการเผยแพร่เพื่อนำเสนอแนวคิด นวัตกรรม และผลงานวิจัยใหม่ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุม เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิศวกรรมวัสดุ และสาขาวิศวกรรมเคมี อีกทั้งยังรวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีในสาขาอื่นๆ เช่น สาขามechatronics เทคโนโลยีพลังงาน เทคโนโลยีการออกแบบและการผลิต การจัดการด้านอุตสาหกรรม และวิศวกรรมทางการแพทย์ เป็นต้น ทั้งนี้วิศวกรรมสารรับตีพิมพ์ต้นฉบับผลงานทั้งในรูปแบบภาษาอังกฤษและภาษาไทย

นโยบาย

วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นวารสารที่มีกระบวนการพิจารณาบทความประเภท Double-blind peer review จากผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อคัดสรรบทความที่มีคุณภาพลงตีพิมพ์ในวารสาร โดยมีกำหนดการออกเผยแพร่ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม - มิถุนายน และฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม สำหรับเงื่อนไขในการพิจารณาบทความ ทางกองบรรณาธิการของวารสารฯ จะพิจารณาเฉพาะผลงานที่ไม่เคยเสนอหรือกำลังเสนอเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการใดมาก่อน หากงานวิจัยใดมีความเกี่ยวข้องกับมนุษย์หรือสัตว์ทดลอง วารสารฯ จะรับพิจารณาเฉพาะบทความที่มีหลักฐานยืนยันว่าโครงการวิจัยดังกล่าวได้ผ่านการรับรองเชิงจริยธรรมจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์หรือสัตว์ทดลองแล้วเท่านั้น สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ เจ้าของผลงานนิพนธ์ต้องแสดงให้เห็นว่าผู้เข้าร่วมการทดลองได้รับทราบข้อมูลและตัดสินใจเข้าร่วมการทดลองด้วยความสมัครใจ ทั้งนี้การอนุมัติให้ลงตีพิมพ์ขึ้นอยู่กับผลการพิจารณาจากกองบรรณาธิการวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งถือเป็นที่สุด

การส่งบทความ ผู้เขียนบทความจะต้องสมัครสมาชิกในระบบและส่งบทความในรูปแบบ Microsoft Word, PDF หรือ Latex
มายัง URL: <https://www.tci-thaijo.org/index.php/nuej>

พร้อมด้วยส่ง NUEJ Form ซึ่งประกอบไปด้วย

1. แบบฟอร์มการจดลิขสิทธิ์ (NUEJ Copyright Form)
2. แบบฟอร์มการส่งบทความ (NUEJ Submission Form)
3. แม่แบบวิศวกรรมสาร (NUEJ Template)

ที่อยู่กองบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการวิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทร .055-963951 โทรสาร .055-964000

E-mail : nuej@nu.ac.th

NUEJ

Naresuan University
Engineering Journal

บทบรรณาธิการ

เนื่องในโอกาสครบรอบ 30 ปี มหาวิทยาลัยนเรศวร มหาวิทยาลัยแห่งการวิจัย เป้าหมายสำคัญประการหนึ่ง คือ มุ่งพัฒนาเพื่อเป็นมหาวิทยาลัยวิจัยและนวัตกรรม (Research and Innovation-base University) ที่มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับและสร้างผู้นำทางการวิจัยในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ด้านวิทยาศาสตร์สุขภาพและด้านมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์

วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นวารสารวิชาการในด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภายใต้การสนับสนุนของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่มีความมุ่งมั่นที่จะเป็นสื่อกลางในการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการอย่างต่อเนื่องและมีคุณภาพ รวมทั้งพัฒนาคุณภาพของวารสารเพื่อเข้าสู่ฐานข้อมูล ASEAN Citation Index (ACI)

กองบรรณาธิการขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยกลั่นกรองผลงาน และขอขอบคุณทีมงานที่ทำให้วารสารฉบับนี้มีความสมบูรณ์พร้อมเผยแพร่ มา ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษญา สิมารักษ์

บรรณาธิการ

วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร

การพัฒนาแผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน:
กรณีศึกษามหาวิทยาลัยนเรศวร

Developing Transportation System Strategic Plan for Sustainable Community
Development: Naresuan University Case Study

บุญพล มีไชโย¹, ชัยวัฒน์ แสงศรีจันทร์^{2*}
Meechaiyo, B.¹, Sangsrichan, C.^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

²สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

²Department of Civil Engineering, School of Engineering, University of Phayao

*Corresponding author e-mail: chaiwat.sangsrichan@gmail.com

(Received: November 13, 2018., Revised: March 3, 2019, Accepted: October 15, 2019)

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเดินทางในมหาวิทยาลัยนเรศวรมีหลายรูปแบบ ทำให้เกิดความขัดแย้งกันระหว่างคนเดินเท้า การเดินทางระหว่างรถส่วนบุคคลและรถสาธารณะ จนนำไปสู่ปัญหาในเรื่องความปลอดภัยในการเดินทาง จากผลการวิเคราะห์และคาดการณ์ประเด็นปัญหาหลัก 4 ส่วน คือ ปัญหาระเบียบวินัยจราจร ปัญหาด้านการบำรุงรักษาและการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมจราจร ปัญหาความไม่เสมอภาคของผู้ใช้ถนนทุกประเภท และปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพของถนนและโครงสร้างพื้นฐาน ดังนั้นเพื่อตอบสนองนโยบายของมหาวิทยาลัยเรื่อง Green and Clean University จึงได้จัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านการขนส่งและจราจรเพื่อพัฒนาชุมชนให้มีความยั่งยืนในพื้นที่มหาวิทยาลัยและพื้นที่ชุมชนใกล้เคียง โดยมีการศึกษาข้อมูลการจราจร ข้อมูลการเดินทาง การพัฒนาแบบจำลองการเดินทาง และการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ จากผลการศึกษา พบว่า พื้นที่หน้ามหาวิทยาลัยกับพื้นที่โรงพยาบาลมีความต้องการการเดินทางมากที่สุดเนื่องจากมีโรงพยาบาลเป็นจุดดึงดูดการเดินทาง และผลการวิจัยได้กำหนดยุทธศาสตร์ 4 ด้าน 18 แผนงาน เพื่อแก้ปัญหาหลัก คือ ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาด้านความปลอดภัยและเพิ่มขีดความสามารถของการขนส่งและจราจร ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาระบบเชื่อมโยงโครงข่ายการสัญจรและขนส่ง ยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทาง และยุทธศาสตร์ด้านการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมงบประมาณ 52.7 ล้านบาท

คำสำคัญ: แผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่ง, การพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน, แบบจำลองการเดินทาง

Abstract

Today, commuters have many options to choose from when it comes to commuting within Naresuan University – either private or public transportation, such as private car, motorcycle, bus, bicycle, and pedestrian. However, problems concerning with safety of the commuters when travelling within the university, especially conflict between commuters when walking on the sidewalk and driving private/public transportation still occur. The results of the study show that there are 4 factors affecting problem with road safety within the university; 1) compliance with traffic regulations, 2) road maintenance and installation of traffic control equipment, 3) inequality of road users/commuters, and 4) physical and infrastructure of the roads. Thus, to comply with the university's policy for "Green and Clean University", the university is encouraging staff and students to embrace the environmental friendly public transportation (i.e. bus) as part of sustainable community for the better future. The data obtained for this study includes literature review for related theories, commuting data, commuting simulation, and commuting strategic plans. The results illustrate that the roads in front of the university's hospital are the most travelled areas as the hospital attracts many commuters during the day. The study has formulated 4 strategic plans containing 18 action plans to tackle the problems, which include safety plan, the plan to optimize the

efficiency of transportation network system, linkage development plan for commuting and transportation, the plan for encouraging commuters to use public transportation, and development plan to develop infrastructure system that complies with environmental friendly policy. The total budget for such strategic plan for sustainable community development is THB 52.7 million.

Keywords: transportation system strategic plan, sustainable community development, travel model

1. บทนำ

ปัจจุบันสภาพการเดินทางของมหาวิทยาลัยนเรศวรมีรูปแบบการเดินทางหลากหลายรูปแบบและมีการผสมผสานการเดินทางระหว่างรถส่วนบุคคลและรถสาธารณะ เช่น รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถไฟฟ้า รถโดยสารประจำทาง จักรยานและการเดินเท้า และลักษณะโครงข่ายถนนในมหาวิทยาลัยนเรศวรมีลักษณะเป็นวงกลม มีถนนสายหลักคือ ถนนนเรศวร ถนนเอกาทศรถ และมีถนนสาทรพรมกัลยา รวมถึงถนนย่อยที่เข้าถึงอาคารเรียนรวมและคณะต่าง ๆ มีประตูเข้าออกทั้งหมด 6 ประตู ถนนสายหลักเป็นถนน 2 ช่องจราจร 2 ทิศทาง กว้างประมาณ 10 เมตร สำหรับปัญหาหลักๆ ในเรื่องของความปลอดภัยในการเดินทาง เช่น ถนนชำรุด การจอดรถที่กีดขวางทางจราจร โครงสร้างพื้นฐานที่เอื้ออำนวยต่อการสัญจรยังไม่เหมาะสม และนิสิตส่วนใหญ่ใช้รถจักรยานยนต์ในการเดินทางมาเรียน ทำให้ในแต่ละปี ต้องสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงและสร้างมลพิษเป็นจำนวนมาก จนทำให้ทางมหาวิทยาลัยนเรศวรต้องมีนโยบายเรื่อง Green Transit ขึ้นมา แต่ก็ยังไม่มีแผนปฏิบัติการที่ชัดเจน

จากสภาพปัญหาดังกล่าว เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบาย Green Transit ของมหาวิทยาลัย อีกทั้งสนับสนุนให้เป็น “Green and Clean University” เพื่อส่งเสริมและอำนวยความสะดวกของรูปแบบการเดินทาง เช่น การเดินเท้า การใช้รถจักรยาน และการใช้รถสาธารณะ (รถประจำทาง) และเพื่อให้เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งที่ช่วยให้มีความยั่งยืนของชุมชนและให้มีระบบขนส่งอย่างยั่งยืน (Sustainable Transport) ซึ่งจะเป็นระบบการขนส่งที่ส่งเสริมสังคมที่มีความสุขและคำนึงถึงการอนุรักษ์ทรัพยากรและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและเป็นระบบการขนส่งที่อำนวยความสะดวกสบายในการเดินทางไปยังสถานที่ต่างๆ โดยไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือเกิดในปริมาณที่น้อยมาก

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดทำแผนการพัฒนายุทธศาสตร์และแผนงานการขนส่ง เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยและแนวทางการพัฒนารูปแบบและระบบโครงข่ายการขนส่งและจราจร เพื่อให้มีแผนยุทธศาสตร์ และแผนปฏิบัติการ อันจะทำให้มหาวิทยาลัยนเรศวรมีระบบขนส่งที่ยั่งยืนและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

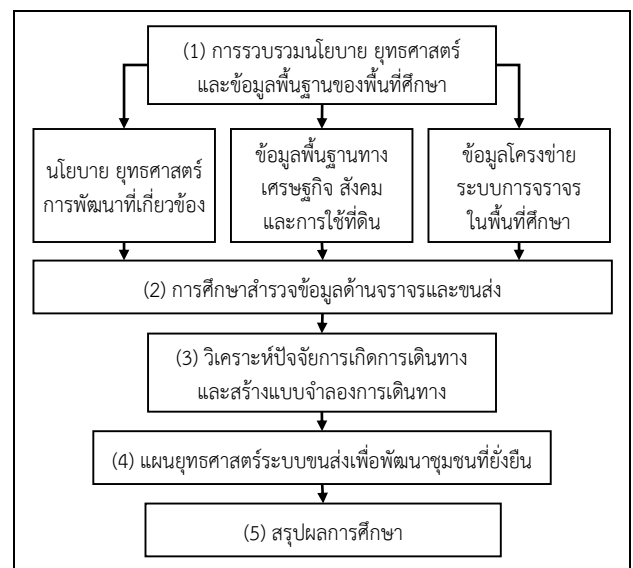
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อการสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร
2. เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการแก้ไขปัญหาของระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร
3. เพื่อแปรผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การกำหนดประเด็นยุทธศาสตร์และแผนงานด้านระบบขนส่งเพื่อการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ภาพรวมของการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ (1) การรวบรวมนโยบาย ยุทธศาสตร์ และข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา (2) การศึกษาสำรวจข้อมูลด้านจราจรและขนส่ง (3) การวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดการเดินทางและสร้างแบบจำลองการเดินทาง (4) การจัดทำแผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน และ (5) การสรุปผลการศึกษา ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การรวบรวมนโยบาย ยุทธศาสตร์ และข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ศึกษา

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการรวบรวมที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 นโยบายและแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาที่เกี่ยวข้อง

หน่วยงาน	นโยบาย / แผนยุทธศาสตร์ / แผนพัฒนา
รัฐบาล	● นโยบายภาครัฐและยุทธศาสตร์ประเทศ 20 ปี
สศช.	● แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2560 - 2564)
กระทรวงคมนาคม	● แผนยุทธศาสตร์กระทรวงคมนาคม (พ.ศ.2560-2564)
จังหวัดพิษณุโลก / อบจ. / เทศบาล	● แผนพิษณุโลก 2020 (พ.ศ. 2563) ● แผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก (พ.ศ.2561 - 2564) ● แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทศบาลนครพิษณุโลก (พ.ศ. 2566 - 2557)
มหาวิทยาลัยนเรศวร	● แผนพัฒนามหาวิทยาลัยนเรศวร ระยะ 10 ปี (พ.ศ. 2560 - 2569)

ที่มา: แผนยุทธศาสตร์การพัฒนา (Office of the National Economic and Social Development Board, 2018; Office of the National Economic and Social Development Board, 2017; Ministry of Transport, 2017; Phitsanulok Provincial Office, 2019; Phitsanulok Provincial Office, 2018; Phitsanulok Municipality, 2014; Naresuan University, 2017)

ประกอบด้วย นโยบายของภาครัฐ ยุทธศาสตร์ประเทศ ยุทธศาสตร์กระทรวงคมนาคม ยุทธศาสตร์จังหวัด ตลอดจนยุทธศาสตร์การพัฒนาในพื้นที่โครงการ เช่น แผนพิษณุโลก 2020 แผนพัฒนาจังหวัดพิษณุโลก แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาเทศบาลนครพิษณุโลก แผนยุทธศาสตร์พัฒนามหาวิทยาลัยนเรศวร เป็นต้น ข้อมูลพื้นฐานทางเศรษฐกิจ สังคม และการใช้ที่ดิน ข้อมูลโครงข่ายระบบการจราจรในพื้นที่ศึกษา เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกสำรวจและวิเคราะห์ข้อมูลด้านจราจรและขนส่งและข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาสำรวจข้อมูลด้านจราจรและขนส่ง

ในรูปที่ 2 ได้สรุปขั้นตอนของการศึกษาสำรวจข้อมูลด้านจราจรและขนส่ง ดังนี้

1. การทบทวน รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง : เป็นการทบทวน รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งข้อมูลปริมาณจราจร โครงข่ายถนน และข้อมูลด้านเศรษฐกิจและสังคมในพื้นที่ศึกษา ทั้งนี้เพื่อนำมาใช้เป็นพื้นฐานของการดำเนินการศึกษาของโครงการ แหล่งข้อมูลหลักๆ ได้แก่รายงานและสถิติต่าง ๆ จากหน่วยงานเกี่ยวข้อง โดยข้อมูลทั้งหมดจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และคาดการณ์ด้านจราจรต่อไป

2. การสำรวจข้อมูลด้านการจราจร และการวิเคราะห์สภาพการจราจรในปัจจุบัน : งานในส่วนนี้ได้ทำการสำรวจข้อมูลด้านการจราจรของโครงการ ประกอบด้วย การสำรวจปริมาณ

จราจร การสำรวจความเร็วบนถนน การสำรวจข้อมูลการเดินทาง การสำรวจเวลาการเดินทาง และการสำรวจค่าใช้จ่ายในการเดินทาง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงสภาพการจราจรในปัจจุบัน พร้อมทั้งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านการจราจรและขนส่งในปัจจุบันและเป็นฐานในการคาดการณ์สภาพการจราจรในอนาคต

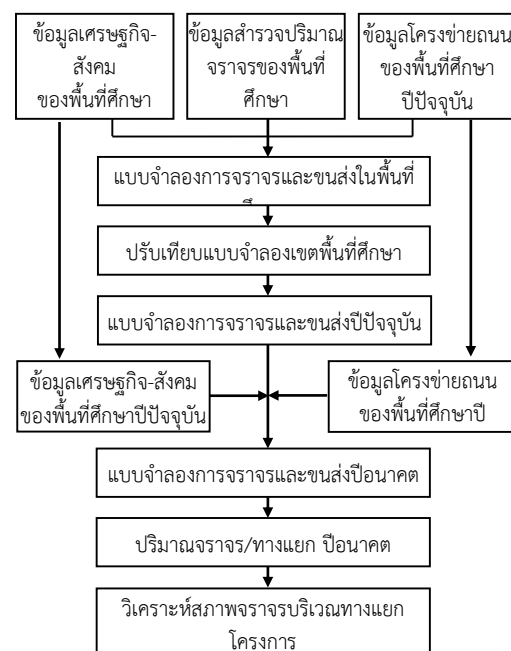
ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดการเดินทาง

และสร้างแบบจำลองการเดินทาง

ในรูปที่ 2 ได้สรุปขั้นตอนของการวิเคราะห์ปัจจัยการเกิดการเดินทางและสร้างแบบจำลองการเดินทาง ดังนี้

1. การคาดการณ์ด้านจราจรในอนาคต : งานในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับด้านการจราจร รวมทั้งการประยุกต์ใช้แบบจำลองด้านการจราจรและขนส่งสำหรับการคาดการณ์ปริมาณจราจรบนทางหลวงโครงการ และทางแยกสำคัญตามแนวถนนโครงการ สำหรับวิเคราะห์สภาพการจราจรที่ในอนาคต อันเนื่องมาจากปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจและการพัฒนาพื้นที่บริเวณพื้นที่โครงการ

2. การวิเคราะห์การจราจร เพื่อการกำหนดออกแบบ : งานในส่วนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบขีดความสามารถในการรองรับปริมาณจราจรของถนนโครงการ หรือการตรวจสอบความจุ (ระดับการให้บริการ) ของถนนโครงการ และที่ทางแยกสำคัญต่าง ๆ ว่าสามารถรองรับปริมาณจราจรได้หรือไม่ในอนาคต ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมให้มีความเหมาะสม เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการศึกษาด้านการจราจรและขนส่ง

ที่มา: ปรับปรุงจากเอกสาร (Meyer & Miller, 2001; Rujopakarn, 2001; Taekeatok & Meechaiyo, 2004)

ขั้นตอนที่ 4 การจัดทำแผนยุทธศาสตร์

ขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านการขนส่งและจราจรของมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งจะประกอบด้วยยุทธศาสตร์ด้านต่าง ๆ และแผนงานภายใต้แผนงานและงบประมาณของแต่ละแผนงาน เพื่อให้ผู้บริหารนำไปตัดสินใจในการดำเนินงาน เพื่อให้ได้ผลสู่เป้าหมายที่วางไว้ตามแผน หลังจากนั้นต้องมีกระบวนการติดตามพัฒนาปรับปรุงแผนงานไปพร้อมกันเพื่อปรับรูปแบบการดำเนินงานให้ทันสมัยกับสถานการณ์ใหม่ต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 การสรุปผลการศึกษา

ขั้นตอนนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการศึกษาวิจัยตามวัตถุประสงค์ ดังนี้ (1) สรุปผลการสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร (2) สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการแก้ไขปัญหาของระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร และ (3) สรุปผลการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การกำหนดประเด็นยุทธศาสตร์และแผนงานด้านระบบขนส่งเพื่อการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน

4. ผลการศึกษา สำรวจ และวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ผลการสำรวจปริมาณจราจร (Traffic Count)

1. ผลการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนนเข้า-ออกพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร (Cordon Count) จำนวนทั้งหมด 6 จุด พบว่า ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า ขาเข้ามีปริมาณจราจรรวม 2,202 Pcu/hr ขาออกมีปริมาณจราจรรวม 582 Pcu/hr โดยปริมาณจราจรสูงสุดจะอยู่ทางเข้าประตู 1 ขาเข้า (หน้ามหาวิทยาลัย) จำนวน 743 Pcu/hr และในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น ขาเข้ามีปริมาณจราจรรวม 1,323 Pcu/hr ขาออกมีปริมาณจราจรรวม 2,087 Pcu/hr โดยปริมาณการจราจรสูงสุดจะอยู่ทางออกประตู 1 ขาออก (หน้ามหาวิทยาลัย) จำนวน 781 Pcu/hr

2. ผลการสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนนสายหลัก (Mid Block Count) จำนวนทั้งหมด 7 ช่วงถนน พบว่า ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า, กลางวัน, เย็น ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงสุด คือ ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น โดยตำแหน่งที่มีปริมาณจราจรสูงสุดได้แก่ ถนนบริเวณหน้าร้าน Tong Computer โดยมีปริมาณจราจร ที่คึกคัก 725 Pcu/hr และที่คึกคักได้ 582 Pcu/hr

3. ผลการสำรวจปริมาณจราจรบริเวณทางแยก (Intersection Count) จำนวนทั้งหมด 8 ทางแยก พบว่า ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเช้า, กลางวัน, เย็น ช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงสุด คือ ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น โดยในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น ทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูงสุด คือ ตำแหน่งสี่แยก NU Plaza โดยมีปริมาณจราจรบริเวณทางแยกรวม 2,934 Pcu/hr

4.2 ผลการสำรวจความเร็วบนถนน

จากการสำรวจความเร็วจุดทั้ง 4 จุด คือ ระหว่างประตู 4-5, หน้าโขนการ 2, หน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ และหน้าคณะวิทยาศาสตร์ พบว่าในแต่ละจุดมีความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ของรถแต่ละชนิดพบว่าผู้ใช้รถใช้ถนนภายในพื้นที่ชุมชนมหาวิทยาลัยนเรศวรขับรถเร็วเกินที่มหาวิทยาลัยนเรศวรกำหนดไว้ ซึ่งภายในมหาวิทยาลัยนั้น กำหนดความเร็วไว้ที่ 40 กม./ชม. ความเร็วแต่ละจุดที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ เกินกำหนดที่ควบคุม ซึ่งมีความเสี่ยงอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความเร็วของยานพาหนะบนถนนบริเวณมหาวิทยาลัย

ช่วงถนน	ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทม์ (กม./ชม.)	
	รถจักรยานยนต์	รถยนต์ส่วนบุคคล
ระหว่างประตู 4-5	44	52
หน้าโขนการ 2	52	50
หน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์	43	46
หน้าคณะวิทยาศาสตร์	41	47

4.3 ผลการสำรวจการเดินทางของรถไฟฟ้า

พบว่า การสำรวจความเร็วเฉลี่ยและความล่าช้าในการเดินทางเป็นการสำรวจประสิทธิภาพการให้บริการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ ปริมาณรถที่มาให้บริการในรายชั่วโมงและจำนวนรถไฟฟ้าที่ให้บริการได้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการสำรวจความเร็วและความล่าช้าของรถไฟฟ้า

สาย	ระยะทาง (กม.)	ช่วงเวลา	เวลา 1 รอบ (นาที)	ความเร็วเฉลี่ย (กม./ชม.)	ความล่าช้า (นาที)
สีแดง	5.2	เร่งด่วน	18-22	19.12	2-2.5
		ปกติ	15-17	20.69	1-1.5
สีเหลือง	5.4	เร่งด่วน	20-25	20.36	3-5
		ปกติ	18-20	22.05	1-2

4.4 ผลการสำรวจข้อมูลการเดินทาง

การสำรวจข้อมูลการเดินทางโดยการสัมภาษณ์ครัวเรือน (Home Interview) คณะผู้วิจัยได้แบ่งพื้นที่ศึกษา ออกเป็น 39 โซน (พื้นที่ย่อย) โดยมีโซนภายในพื้นที่ 34 โซน และโซนภายนอกพื้นที่ 5 โซน และผลจากการสัมภาษณ์ครัวเรือนของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 878 ครัวเรือน ในปี พ.ศ.2555 พบว่า มีจำนวนการเดินทางรวมทั้ง (ภายในพื้นที่ และเข้า-ออกพื้นที่) เท่ากับ 166,155 เที่ยว-คน/วัน ($P = 4.7 \text{ Pop}$) และข้อมูลการเดินทางพื้นฐานทั่วไปคุณลักษณะทางสังคมของผู้พักอาศัยในบริเวณพื้นที่โดยรอบของมหาวิทยาลัย ดังนี้

1. เพศและอายุของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า มีจำนวนผู้เดินทางประกอบด้วยเพศชายร้อยละ 39.62 และเพศหญิงร้อยละ 60.38 และจากข้อมูลการสำรวจพบว่าในเขตพื้นที่โดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร ปี พ.ศ. 2555 มีจำนวนเท่ากับ 21,259

คน จากการสำรวจข้อมูลร้อยละ 4 ของประชากรทั้งหมด ใน ส่วนของโครงสร้างอายุ พบว่า สัดส่วนอายุสูงสุดของกลุ่ม ตัวอย่างจะอยู่ในช่วงอายุ 21-25 ปี คิดเป็นร้อยละ 68.68

2. รายรับต่อเดือนของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ส่วนใหญ่ของ ของกลุ่มตัวอย่าง คือ นิสิต นักศึกษา จะมีรายได้จาก (รายรับที่ นิสิตได้จากการกู้ กยศ. และจากผู้ปกครองส่งให้รายเดือน) อยู่ ในช่วง 7,001-8,000 บาท คิดเป็นร้อยละ 24.03 รองลงมาคือ อยู่ในช่วง 9,001-10,000 บาท และ 6,001-7,000 บาท คิดเป็น ร้อยละ 18.56 และ 14.01 ตามลำดับ

3. ความสามารถในการขับรถยนต์ พบว่า มีจำนวน ความสามารถในการขับรถยนต์ได้เท่ากับร้อยละ 72.10 และขับ รถยนต์ไม่ได้เท่ากับ ร้อยละ 27.90 ของกลุ่มตัวอย่าง

4. ความสามารถในการขับรถจักรยานยนต์ พบว่า มีจำนวน ความสามารถในการขับรถจักรยานยนต์ได้เท่ากับร้อยละ 99.04 และขับรถยนต์ไม่ได้เท่ากับร้อยละ 0.96 ของกลุ่มตัวอย่าง

5. สัดส่วนผู้เดินทางแต่ละวัตถุประสงค์ พบว่า ในการ สสำรวจข้อมูลการเดินทาง ได้แยกวัตถุประสงค์หลักของการ เดินทางออกเป็น 4 วัตถุประสงค์ คือ การเดินทางจากบ้านไป ทำงาน (HBWT) การเดินทางจากบ้านไปเรียนหนังสือ (HBST) การเดินทางจากบ้านไปซื้อของ (HBSHT) และการเดินทางจาก บ้านไปทำธุระอื่นๆ (HBOT) พบว่า สัดส่วนของการเดินทาง สูงสุด คือ การเดินทางจากบ้านไปซื้อของ (HBSHT) เท่ากับร้อย ละ 32.90 และสัดส่วนที่ต่ำสุด คือ การเดินทางจากบ้านไป ทำงาน (HBWT) เท่ากับร้อยละ 4.30 ดังแสดงในรูปที่ 3

6. สัดส่วนของรูปแบบการเดินทาง พบว่า การเดินทางของ กลุ่มตัวอย่างในบริเวณพื้นที่มหาวิทยาลัยนเรศวร คือ การเดินเท้า รถมอเตอร์ไซด์ รถยนต์ รถแท็กซี่ รถบัส และอื่นๆ โดย การเดินทางส่วนใหญ่จะใช้รถจักรยานยนต์สูงถึงร้อยละ 75 และมีเพียงร้อยละ 4 ที่ใช้รูปแบบการเดินทางเท้า ดังแสดงในรูปที่ 4

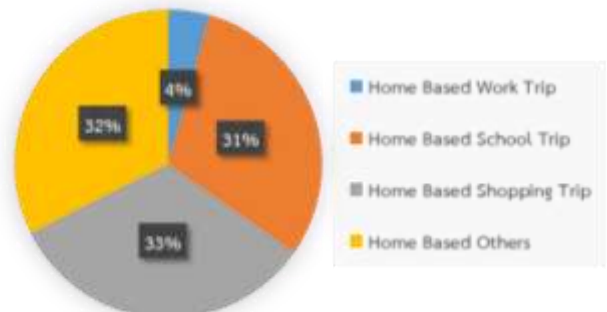
4.5 ปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ (Desire Line)

จากข้อมูลการสำรวจแบบสอบถามข้อมูลการเดินทางของ กลุ่มตัวอย่าง สามารถแสดงแผนที่เส้นทางปริมาณการเดินทาง ระหว่างพื้นที่ โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มพื้นที่ใหญ่ 15 กลุ่ม พบว่า กลุ่มพื้นที่ที่ 1 กับ 8 มีความต้องการการเดินทางมากที่สุด เนื่องจากมีโรงพยาบาลเป็นจุดดึงดูดการเดินทาง ดังรูปที่ 5

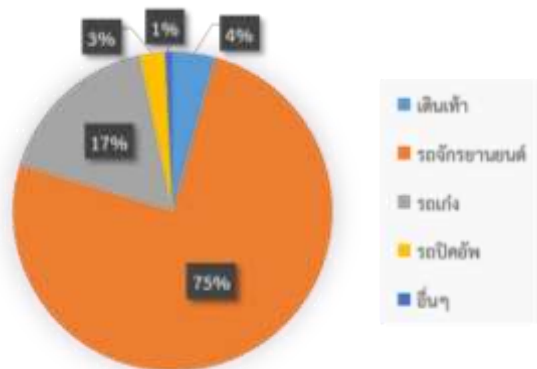
4.6 การคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคต

ในการคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคตนั้น ได้ใช้ แบบจำลองด้านการจราจรและขนส่งที่พัฒนาขึ้นมาช่วยในการ วิเคราะห์ การคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคตจะเป็นการ วิเคราะห์ปริมาณจราจรบนถนนโครงข่าย อันเนื่องมาจากสภาพ การเปลี่ยนแปลงทั้งปริมาณความต้องการเดินทาง โดยจะ

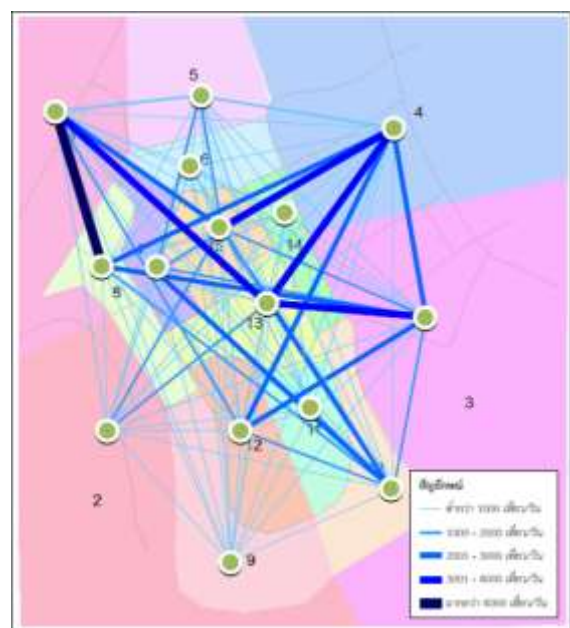
คาดการณ์ปริมาณจราจรที่เกิดขึ้นบนถนนโครงข่ายในปี พ.ศ. 2565 และ 2575 และการคาดการณ์ปริมาณจราจรในอนาคต ได้อ้างอิงตามอัตราการเพิ่มของประชากรพื้นที่ศึกษาคือ ร้อยละ 3-5 ต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7



รูปที่ 3 สัดส่วนผู้เดินทางแต่ละวัตถุประสงค์



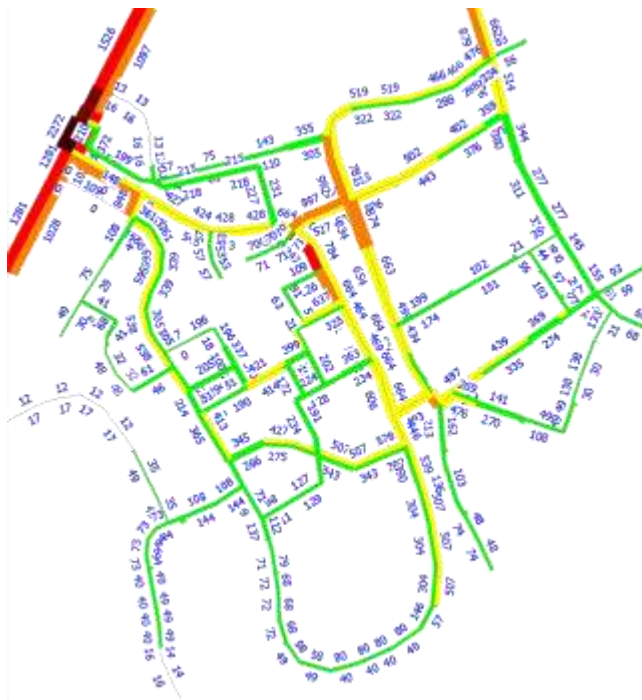
รูปที่ 4 สัดส่วนของรูปแบบการเดินทาง



รูปที่ 5 แผนที่เส้นทางปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ Desire Line



รูปที่ 6 ปริมาณจราจร (pcu/hr) จากแบบจำลองในปี พ.ศ. 2565



รูปที่ 7 ปริมาณจราจร (pcu/hr) จากแบบจำลองในปี พ.ศ. 2575

บทวิเคราะห์จากแบบจำลองการพัฒนาพื้นที่ที่โครงข่ายถนนสามารถแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. พื้นที่ในมหาวิทยาลัยมีลักษณะโครงข่ายถนนเป็นวงกลม มีถนนสายหลักคือ ถนนนเรศวร ถนนเอกาทศรถ และถนนสุพรรณกัลยา เป็นถนน 2 ช่องจราจร 2 ทิศทาง กว้างประมาณ 10 เมตร และยังมีถนนสายรอง เข้าไปยังอาคารคณะต่าง ๆ

สำหรับปริมาณการจราจรบนถนนนเรศวรและถนนเอกาทศรถ จะมีปริมาณการจราจรปานกลาง และหนาแน่นบริเวณกลุ่มอาคาร สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ รวมไปถึงปริมาณการจราจรที่หนาแน่นบริเวณสี่แยกคณะมนุษยศาสตร์และบริเวณถนนทางออกประตู 5 และบริเวณประตู 1 จนมาถึงโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร ในส่วนของการพัฒนาโครงข่ายเนื่องจากพื้นที่มีกลุ่มอาคารการกระจุกตัวบริเวณด้านหน้ามหาวิทยาลัย การขยายหรือก่อสร้างโครงข่ายถนนใหม่เป็นไปได้ลำบาก อีกทั้งในอนาคตจะมีกลุ่มอาคารที่เกิดขึ้นใหม่ 2 กลุ่ม ปัญหาที่ตามมาบริเวณพื้นที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร คือ พื้นที่จอดรถซึ่งต้องเตรียมการหาพื้นที่จอดรถโดยการสร้างอาคารจอดรถเฉพาะผู้ที่เข้ามาใช้บริการรวมถึงการเปิดใช้ประตู 2 ต่อไป

แนวทางการบริหารถนนในมหาวิทยาลัยไม่สามารถขยายให้มีความกว้างเพิ่มมากขึ้นได้ และในปัจจุบันยังประสบปัญหาการจอดรถข้างทางทำให้ประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ถนนลดลง ถ้าในอนาคตมีพื้นที่หรืออาคารจอดรถเพียงพอจะทำให้ปัญหานี้เบาบางลงไป จากแบบจำลองพบว่าการพยากรณ์จำนวนยานพาหนะในอนาคตที่มีอัตราการเจริญเติบโตขึ้นต่ำ ซึ่งวิเคราะห์จากแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนนิสิตและบุคลากร พบว่า ถนนในมหาวิทยาลัยยังคงรองรับปริมาณจราจรได้ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับการบริหารจัดการเรื่องการจอดรถให้ดีขึ้น รวมถึงการรณรงค์หันมาใช้รถจักรยานและรถโดยสารสาธารณะ เช่น รถไฟฟ้า ขสม. เพื่อเป็นการลดปริมาณการจราจรบนโครงข่าย

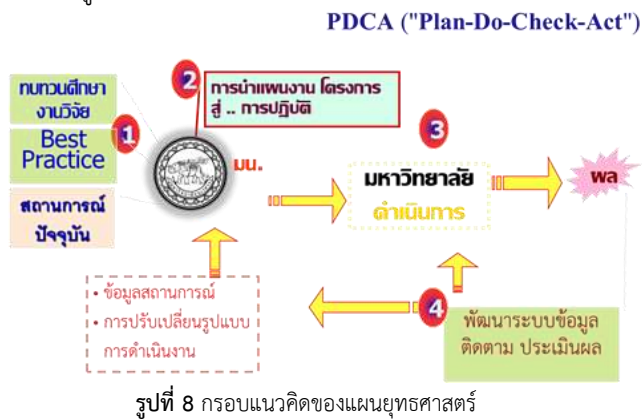
2. พื้นที่บริเวณข้างมหาวิทยาลัยนเรศวร บริเวณประตู 4 ประตู 5 และด้านหน้าประตู 1 ซึ่งถือว่าเป็นย่านการค้าขาย ย่านธุรกิจที่มีความหนาแน่น รวมถึงหอพักเอกชนที่มีเป็นจำนวนมาก และนิสิตส่วนใหญ่จะอาศัยอยู่บริเวณดังกล่าว มีปริมาณความต้องการการเดินทางสูง สำหรับโครงข่ายถนนในเขตพื้นที่ชุมชนข้างมหาวิทยาลัยถือว่ามีการพัฒนาค่อยข้างลำบากเช่นกัน เนื่องจาก ถนนส่วนหนึ่งอยู่ในเขตรับผิดชอบของ อบต.ท่าโพธิ์ และอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในเขตพื้นที่เอกชน

สำหรับแบบจำลองการพยากรณ์ปริมาณยานพาหนะจะพบว่า จะมีปริมาณการจราจรหนาแน่นบริเวณประตู 4 ไปจนถึงประตู 5 เนื่องจากเป็นถนนที่มีความกว้าง สามารถรองรับปริมาณจราจรได้ดี โดยแนวทางการพัฒนาแก้ไขอาจจะเป็นการขยายถนนให้เต็มพื้นที่กรรมสิทธิ์เขตทางและอยู่ในชั้นทางที่เหมาะสมรวมถึงการบริหารจัดการผู้ประกอบการร้านค้าที่ถูกล้ำพื้นที่ถนน ซึ่งเป็นหน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบโดยตรงสำหรับการบริหารโครงข่ายถนนการที่ อบต.ท่าโพธิ์ จะเข้าไปปรับปรุงถนนของเอกชนนั้นเป็นไปได้ยาก หรืออาจจะเป็นทางเอกชนมอบพื้นที่ถนนให้ทาง อบต.ดูแล เพื่อการพัฒนาต่อไป

5. กรอบแนวคิดของการจัดทำแผนยุทธศาสตร์

5.1 กรอบแนวคิดของการจัดทำแผนยุทธศาสตร์

กรอบแนวคิดในการดำเนินงานได้ใช้หลักการวางแผนงานตามรูปแบบ PDCA เข้ามาช่วยในการจัดทำและวางแผนงาน โดยกระบวนการดำเนินงานเริ่มจาก การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษาข้อมูลของสถาบันการศึกษาที่มีรูปแบบการบริหารจัดการระบบขนส่งและการจราจร และการศึกษาข้อมูลสถานการณ์ระบบขนส่ง ปริมาณจราจรในปัจจุบันของมหาวิทยาลัย ทั้งหมดนี้นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนยุทธศาสตร์ด้านการขนส่งและจราจรของมหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อให้ผู้บริหารนำไปเป็นแผนงาน/ตัดสินใจในการดำเนินงาน เพื่อให้ได้ผลสู่เป้าหมายที่วางไว้ตามแผน หลังจากนั้นต้องมีกระบวนการติดตามพัฒนาปรับปรุงแผนงานไปพร้อมกันเพื่อปรับปรุงแบบการดำเนินงานให้ทันสมัยกับสถานการณ์ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 8



จากกรอบแนวคิดของการจัดทำแผนยุทธศาสตร์นี้สามารถสรุปประเด็นผลการศึกษา การวิเคราะห์และคาดการณ์ออกเป็น 4 ประเด็น ได้แก่

ประเด็นส่วนที่ 1 คือ ระบบบริหารจราจรบางบริเวณยังไม่เหมาะสม ทำให้เกิดจุดวิกฤตของโครงข่าย ส่งผลให้ไม่มีความปลอดภัยในการเดินทาง จากผลสรุปนี้จะนำไปตั้งยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาด้านความปลอดภัยและเพิ่มขีดความสามารถของการขนส่งและจราจร

ประเด็นส่วนที่ 2 คือ ระบบการเชื่อมโยงการเดินทางทุกรูปแบบยังขาดความต่อเนื่อง และการพัฒนาปรับปรุงโครงข่ายถนนภายในมหาวิทยาลัยยังไม่ทั่วถึง จากผลสรุปนี้จะนำไปตั้งยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาระบบเชื่อมโยงโครงข่ายการสัญจรและขนส่ง

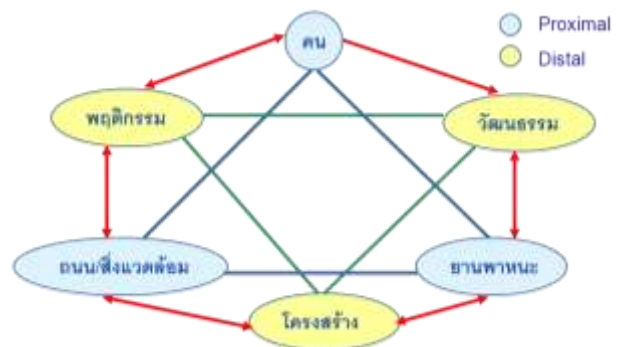
ประเด็นส่วนที่ 3 คือ การเดินทางด้วยระบบขนส่งสาธารณะภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรยังไม่เป็นที่นิยม นิสิตยังคงใช้รถจักรยานยนต์ เป็นพาหนะหลักในการเดินทาง ส่งผลให้เกิดมลพิษและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากผลสรุปนี้จะนำไป

ตั้งยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทาง

ประเด็นส่วนที่ 4 คือ ลักษณะทางกายภาพของถนนและระบบโครงสร้างพื้นฐานที่อำนวยความสะดวกสบายในการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยยังขาดการปรับปรุงแก้ไข จากผลสรุปนี้จะนำไปตั้งยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

5.2 กรอบแนวคิดระบบการขนส่งแบบยั่งยืนและปลอดภัย

ระบบการขนส่งแบบยั่งยืนที่เป็นส่วนหนึ่งของแนวคิดในการพัฒนาอย่างยั่งยืนได้มีการจำกัดความไว้ดังนี้ “การพัฒนาที่ตอบสนองความต้องการในปัจจุบันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคนรุ่นหลัง” ระบบการขนส่งแบบยั่งยืนนั้นมีจุดประสงค์เพื่อ ลดการปล่อยมลพิษทางอากาศ ดูแลรักษาสิ่งแวดล้อม นิเวศวิทยา และสุขภาพของคน โดยยังคงรักษาไว้ซึ่งความจำเป็นในการเคลื่อนที่ของคน โดยพื้นฐานแล้วก็คือการเน้นการลดบทบาทการใช้รถยนต์ส่วนบุคคลเป็นวิธีการขนส่งหลักทั้งนี้เพื่อลดความจำเป็นในการนำเข้าพลังงานจากภายนอก และยกระดับการเคลื่อนที่โดยใช้ ระบบขนส่งสาธารณะ ระบบจักรยาน และระบบการเดินเท้าซึ่งเป็นระบบการเดินทางซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างระบบขนส่งที่ยั่งยืน

ระบบขนส่งที่ปลอดภัย คือ ระบบขนส่งที่ให้ความสำคัญกับการจัดการกับ คน ยานพาหนะ ถนน และสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นตัวแปรเหตุปัจจัย Proximal Determinant ควบคู่ไปกับตัวแปรเชิงโครงสร้างซึ่งประกอบด้วย โครงสร้าง วัฒนธรรม พฤติกรรม ซึ่งเป็น Distal Determinant โดยมีการบูรณาการนำยุทธศาสตร์ทั้ง 5 E มาประยุกต์ใช้ คือ

1. ด้านวิศวกรรม (Engineering)
2. ด้านการให้ความรู้ การประชาสัมพันธ์ (Education)
3. การช่วยเหลือฉุกเฉิน (Emergency Medical Service)
4. การบังคับใช้กฎหมาย (Law Enforcement)
5. การติดตามและประเมินผล (Evaluation and Information)

5.3 การกำหนด เป้าประสงค์ และวิสัยทัศน์

1. เป้าประสงค์

- เป็นระบบขนส่งที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
- เป็นระบบขนส่งและการสัญจรที่ปลอดภัย
- เป็นระบบขนส่งที่ยั่งยืนและมีความเสมอภาค
- เป็นระบบซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาเป็นชุมชนที่น่าอยู่มีกาใช้พื้นที่ถนนอย่างมีประสิทธิภาพ

2. กระบวนการในการกำหนดยุทธศาสตร์

- ใช้โครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่เดิมอย่างมีประสิทธิภาพ
- ส่งเสริมการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะ และลดบทบาทการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล เพื่อลดการใช้พลังงานที่ต้องนำเข้าอย่างฟุ่มเฟือย
- ให้ความสำคัญกับรูปแบบการเดินทาง ที่หลากหลาย และเน้นความปลอดภัย
- สนับสนุนการมีส่วนร่วม/สร้างความรู้สึกร่วมเป็นเจ้าของ

3. ยุทธศาสตร์การจัดทำแผนงานด้านการขนส่งและจราจร

- วางแผนด้านการขนส่งและจราจรอย่างบูรณาการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาด้านการขนส่งและจราจรอย่างมีระบบ
- ส่งเสริมการพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะ
- ให้ความสำคัญกับรูปแบบการเดินทาง รวมทั้งมาตรการ เทคโนโลยีที่สนับสนุนด้านความปลอดภัย

4. ตัวบ่งชี้ที่วัดการดำเนินงานให้ประสบผลสำเร็จ ได้แก่

- จำนวนผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น

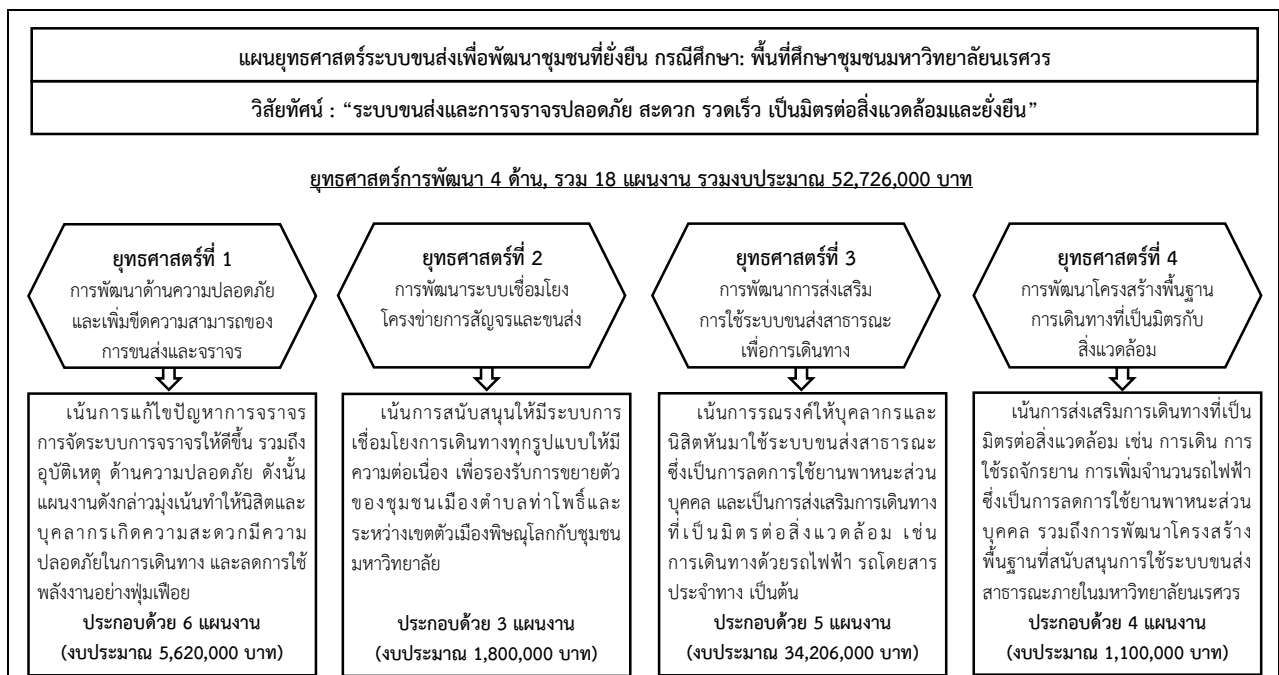
- จำนวนผู้ใช้รถจักรยานเพิ่มมากขึ้น
- จำนวนสถิติอุบัติเหตุลดลง
- สภาพคล่องของการจราจรมีความสะดวก รวดเร็ว
- ความพึงพอใจของผู้ใช้ถนนที่มีต่อความปลอดภัย

5. กำหนดวิสัยทัศน์ในการพัฒนาแผนยุทธศาสตร์

“ระบบขนส่งและการจราจรปลอดภัย สะดวก รวดเร็ว เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยั่งยืน”

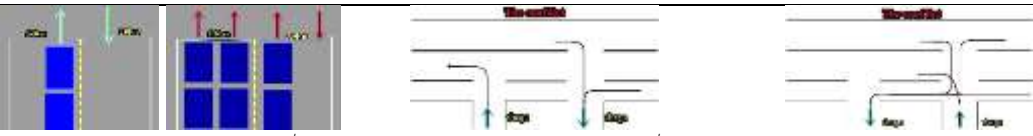
6. แผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน

จากข้อมูลที่ได้จากการศึกษา สํารวจ และวิเคราะห์ รวมถึงการกำหนดกรอบแนวคิดของการจัดทำแผนยุทธศาสตร์ และการกำหนด เป้าประสงค์ และวิสัยทัศน์ ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำมากำหนดแผนยุทธศาสตร์ที่ได้ออกมาเป็น 4 ยุทธศาสตร์ รวม 18 แผนงาน ดังรูปที่ 10 และตารางที่ 4 ประกอบด้วย ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาด้านความปลอดภัยและเพิ่มขีดความสามารถของการขนส่งและจราจร ยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาระบบเชื่อมโยงโครงข่ายการสัญจรและขนส่ง ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทาง ยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รวมงบประมาณ 52,726,000 บาท โดยงบประมาณนี้จะได้จากการบริหารจัดการของมหาวิทยาลัยนเรศวรที่จะสนับสนุนและการพัฒนาตามแผนยุทธศาสตร์ดังกล่าว เพื่อให้ได้ผลสู่เป้าหมายที่วางไว้

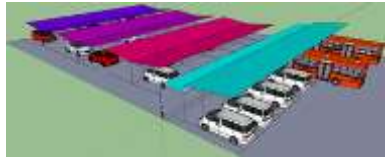


รูปที่ 10 กรอบแผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน

ตารางที่ 4 แผนงานด้านการขนส่งและจราจรตามแผนยุทธศาสตร์ระบบขนส่งเพื่อพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืน

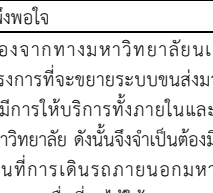
แผนงาน	สภาพปัญหาในปัจจุบัน	วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	วิธีการดำเนินงาน
ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาด้านความปลอดภัยและเพิ่มขีดความสามารถของการขนส่งและจราจร			
1.1 การสวมใส่หมวกนิรภัยเพื่อการขับขี่ปลอดภัย	ปัจจุบันนิสิต/บุคลากรภายในมหาวิทยาลัยมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยนิสิต/บุคลากรมีจำนวนการครอบครองพาหนะอย่างน้อย 1 คัน ดังนั้นจึงก่อให้เกิดปัญหาอุบัติเหตุบนท้องถนนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากนิสิตโดยส่วนใหญ่ใช้รถจักรยานยนต์เป็นยานพาหนะที่ใช้เดินทางและจากสถิติการเกิดอุบัติเหตุในมหาวิทยาลัยทำให้เกิดการสูญเสียชีวิต การบาดเจ็บหรือพิการเป็นสาเหตุที่สำคัญประการหนึ่งคือผู้ขับขี่ไม่สวมหมวกนิรภัย	- เพื่อเป็นการเชิญชวนให้นิสิตและบุคลากรในมหาวิทยาลัยตระหนักถึงประโยชน์ ข้อดีของการสวมหมวกนิรภัย - เพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่รุนแรงหรือการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุด้านการจราจร - เพื่อให้เกิดเป็นนิสัยในการสวมหมวกนิรภัยทุกครั้งที่ใช้รถจักรยานยนต์ - เพื่อสร้างจิตสำนึกให้เกิดการเคารพในกฎจราจรและปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด	- ประชาสัมพันธ์โครงการทางป้ายประกาศ สื่อสิ่งพิมพ์ ผ่านทางสโมสรนิสิตของแต่ละคณะ - จัดดำเนินการอบรมและให้ความรู้ โดยเชิญเจ้าหน้าที่ผู้ชำนาญการเป็นวิทยากร - การณรงค์โดยให้ตัวแทนนิสิตกลุ่มหนึ่งสวมใส่หมวกนิรภัยและขับซิ่งรถจักรยานยนต์ตรงดิ่งไปรอบๆ มหาวิทยาลัย เพื่อเป็นการจูงใจให้ผู้ขับขี่ตระหนักในข้อดีของการสวมหมวกนิรภัย - จัดทำป้ายรณรงค์ส่งเสริมการสวมใส่หมวกนิรภัย
ดัชนีชี้วัด :	ลดการสูญเสียเนื่องจากอุบัติเหตุ	งบประมาณ : 100,000 บาท/ปี	ระยะเวลา : ต่อเนื่องทุกปี
1.2 การปรับเปลี่ยนทิศทางการสัญจรเข้า-ออก ประตู 1-2	ปัจจุบันประตูหน้ามหาวิทยาลัยมี 2 ประตู และในชั่วโมงเร่งด่วนเข้ามียานพาหนะเข้าประตู 1 มากกว่าประตู 2 (โดยประตู 2 จะใช้สำหรับรถที่เข้ามาใช้บริการโรงพยาบาลเท่านั้น) ในชั่วโมงเร่งด่วนเย็นบริเวณทางประตู 1 จะมีรถออกมากกว่าประตู 2 แต่เนื่องจากมีระบบสัญญาณไฟจราจรมีช่วงไฟเขียวสั้นไม่เพียงพอต่อจำนวนรถที่ต้องการออก จึงทำให้เกิดแถวคอยยาวมาก	- เพื่อลดปัญหาการจราจรหนาแน่นบริเวณทางเข้า-ออกประตู 1 (หน้ามหาวิทยาลัย) - เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจราจรเข้า-ออกมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อพิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงการสัญจรเข้า-ออก ประตู 1-2	- พิจารณาทางเลือกที่เหมาะสม เช่น จัดระบบการเดินรถทางเดียว โดยทางเข้ามหาวิทยาลัยให้ใช้ประตู 1 และทางออกให้ใช้ประตู 2 - ติดตั้งป้ายจราจรและประชาสัมพันธ์ให้นิสิต/นักศึกษาทราบลักษณะของทิศทางการเดินรถ - ตั้งแสดงแนวทางแก้ไขของทางเลือก 3 ทางเลือก ดังรูป
			
ดัชนีชี้วัด :	แนวทางการแก้ไขปรับปรุง ทางเลือกที่ 1	แนวทางการแก้ไขปรับปรุง ทางเลือกที่ 2	แนวทางการแก้ไขปรับปรุง ทางเลือกที่ 3
ดัชนีชี้วัด :	สภาพคล่องของการจราจร สะดวก รวดเร็ว	งบประมาณ : 20,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะสั้นในปีที่ 1-2
1.3 การติดตั้งปรับปรุงป้ายและการทาสีตีเส้นจราจรต่าง ๆ ให้ได้มาตรฐานและเหมาะสมตามหลักวิศวกรรมจราจร	เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ได้มีการส่งเสริมระบบการขนส่งและการจราจรที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อผลักดันให้เกิดเป็นระบบขนส่งและจราจรที่ยั่งยืนในอนาคต ประกอบกับป้ายเตือน สัญลักษณ์ต่าง ๆ ได้มีการชำรุดและเสียหาย ตัวหนังสือจางทำให้ไม่สามารถรู้ได้ว่าเป็นป้ายเตือนจราจรด้านใดจึงอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุและอาจทำให้เกิดความสับสนต่อผู้ขับขี่	- เพื่อเป็นการลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดอุบัติเหตุบนท้องถนนขึ้นได้ - เพื่อการมองเห็นที่ชัดเจนและสามารถปฏิบัติตามกฎจราจรได้อย่างถูกต้อง - เพื่อปรับปรุงสัญลักษณ์ด้านการจราจรให้มีความถูกต้องเหมาะสมตามหลักวิชาการวิศวกรรมจราจร	- เก็บข้อมูลป้ายเตือนจราจรที่ชำรุด เสียหาย และสีเส้นของถนนหรือทางเดินที่ไม่ถูกต้อง - ดำเนินการจัดทำป้ายเตือนจราจรใหม่ ให้มีขนาดและลักษณะที่ถูกต้อง พร้อมกันกับติดตั้งให้ตำแหน่งที่ถูกต้องตามกฎหมายมาตรฐาน ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่สามารถมองเห็นได้อย่างชัดเจน - ดำเนินการทาสีเส้นถนน เส้นทางจอดรถ ให้ถูกต้องเหมาะสม
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจของผู้ใช้ถนนมีความมั่นใจในความปลอดภัย	งบประมาณ : 100,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะกลางในปีที่ 3-4
1.4 การก่อสร้างปรับปรุงลักษณะทางกายภาพแก้ไขปัญหาดูแลอันตรายของถนนให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม	ความปลอดภัยในการสัญจรเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้รถใช้ถนน ลักษณะของถนนในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์นั้น จากการสำรวจพบว่ามีจุดอันตรายซึ่งปัญหาโดยมากจะมาจากสองปัจจัยหลักด้วยกัน คือ ปัจจัยอันเนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพทางถนนและพฤติกรรมของผู้ใช้รถใช้ถนนเอง	- เพื่อลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในบริเวณจุดอันตราย - ลดความรุนแรงของอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นบริเวณจุดอันตราย - ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของถนนให้ให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม	- สำรวจลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายถนนและจุดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง - ศึกษารูปแบบการแก้ปัญหาจุดอันตรายของถนนในประเทศและต่างประเทศ เพื่อการแก้ปัญหาจุดอันตรายของถนนที่เหมาะสม - นำเสนอรูปแบบการแก้ปัญหาจุดอันตราย - แก้ปัญหาให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
ดัชนีชี้วัด :	ลดสถิติการเกิดอุบัติเหตุ	งบประมาณ : 5,000,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะยาวในปีที่ 5-10
1.5 การจัดระเบียบการจราจรบริเวณชุมชนหลังมหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ชุมชนบริเวณรอบๆ มหาวิทยาลัย เป็นชุมชนที่มีความหลากหลายของผู้ที่อยู่อาศัย และเป็นศูนย์รวมของการค้า ธุรกิจ และบริการต่าง ๆ ส่งผลให้มีสภาพการจราจรที่แออัด (Traffic flow) สัญจรไปมาติดขัด ปัญหารถติดและอุบัติเหตุปัญหานี้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและทวีขึ้นตามความเติบโตของธุรกิจ	- เพื่อแก้ไขปัญหาดูแลจราจรบริเวณชุมชนหลังมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อจัดระเบียบการจราจรในบริเวณชุมชนหลังมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อปลูกจิตสำนึกด้านการจราจรให้ผู้อาศัยภายในชุมชน	- ประสานกับองค์การบริหารส่วนตำบลท่าโพธิ์ ดำเนินการขยายพื้นที่จอดรถข้างทาง - ขอความร่วมมือกับผู้ประกอบการธุรกิจ ห้างร้านไม่ให้วางป้ายอุกถ่วงพื้นที่ถนน
ดัชนีชี้วัด :	สภาพคล่องของการจราจร สะดวก รวดเร็ว	งบประมาณ : 100,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะยาวในปีที่ 5-10

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แผนงาน	สภาพปัญหาในปัจจุบัน	วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	วิธีการดำเนินงาน
1.6 การปรับปรุงจุดหยุดรถไฟฟ้า/ป้าย/ทาสีขอบฟุตบาท	จากการที่มหาวิทยาลัยนครสวรรค์มีเป้าหมายมุ่งสู่การเป็นมหาวิทยาลัยปลอดมลพิษจากระบบขนส่งมวลชน (GREEN TRANSIT) ซึ่งเป็นแนวคิดแห่งการลดการใช้พลังงานและใช้อย่างคุ้มค่าที่สุด ควบคู่ไปกับการคำนึงถึงการอยู่อาศัยของนิสิตและบุคลากรภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ดี จึงทำให้เกิดรถไฟฟ้าระบบขนส่งมวลชนมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ (ขสมน.) ขึ้น เพื่อรองรับการใช้บริการของนิสิต บุคลากร และลดปัญหาด้านการจราจรภายในมหาวิทยาลัย	- เพื่อจัดการพื้นที่รองรับการจอดรถไฟฟ้า และออกแบบพื้นที่จอดรถไฟฟ้า - เพื่อปรับปรุงป้ายหยุดรถไฟฟ้าที่ชำรุดและขีดจาง และทาสีขอบฟุตบาท  แนวทางการแก้ไขปรับปรุง	- ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับจุดหยุดรถไฟฟ้าที่เหมาะสม - ออกแบบพื้นที่จอดรถไฟฟ้าอย่างเหมาะสมกับสภาพแวดล้อม  แนวทางการแก้ไขปรับปรุง
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจ	งบประมาณ : 300,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะกลางในปีที่ 3-4
ยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาระบบเชื่อมโยงโครงข่ายการสัญจรและขนส่ง			
2.1 การก่อสร้างจุดเชื่อมต่อบรรณขส่ง (ย้ายท่ารถเมล์สาย 12)*- ดำเนินการแล้ว	ปัจจุบันระบบขนส่งภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ยังขาดการเชื่อมต่อระหว่างระบบไม่ว่าจะเป็นรถไฟฟ้า รถโดยสารประจำทางสาย 12 จากการวางระบบขนส่งภายในมหาวิทยาลัยเพื่อให้มีการเชื่อมต่อที่เป็นระบบมากขึ้น ทั้งนี้ควรมีจุดศูนย์กลางของระบบขนส่งภายในมหาวิทยาลัย (NU Terminal) ซึ่งเป็นศูนย์รวมของรถจักรยานยนต์ รถยนต์ จุดจอดรถไฟฟ้า จุดจอดรถตู้ และควรรายการโดยสารประจำทางสาย 12 มาอยู่ในจุดเดียวกัน	- เพื่อเป็นการรวมศูนย์ระบบการขนส่งภายในมหาวิทยาลัยและภายนอกมหาวิทยาลัย - เพื่อลดเวลาในการเดินทางของระบบเชื่อมต่อในแต่ละระบบของการเดินทาง  สถานีที่รับ-ส่งรถโดยสาร	การก่อสร้างสถานี ที่รับ-ส่งรถโดยสารประจำทางแห่งใหม่โดยปรับปรุงโครงสร้างจุดจอดรถไฟฟ้าปัจจุบันเดิมที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และรวมเป็นจุดศูนย์กลางของระบบขนส่งทั้งหมด  NU Terminal
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจ/สภาพคล่องของการจราจร	งบประมาณ : 1,000,000 บาท	ระยะเวลา : -
2.2 การก่อสร้างอาคารจอดรถโรงพยาบาลที่รองรับผู้ป่วยเป็น 400 เตียง ทำให้มีประชาชนมาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกิดปัญหาที่จอดรถของผู้มาใช้บริการไม่เพียงพอ	ปัจจุบันโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์เพิ่มจำนวนเป็นโรงพยาบาลที่รองรับผู้ป่วยเป็น 400 เตียง ทำให้มีประชาชนมาใช้บริการเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกิดปัญหาที่จอดรถของผู้มาใช้บริการไม่เพียงพอ	- เพื่อเป็นการจัดระเบียบการจอดรถของผู้ที่มาใช้บริการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อลดปัญหาการจราจรบนถนนเอกาทศรถ และเพิ่มประสิทธิภาพของถนน	- ออกแบบอาคารจอดรถให้สามารถจอดได้ประมาณ 500 คัน - ขออนุมัติงบประมาณแผ่นดินให้การก่อสร้างอาคารจอดรถ
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจ	งบประมาณ : ***	ระยะเวลา : -
2.3 การพัฒนาและปรับปรุงโครงข่ายถนนภายในมหาวิทยาลัย	ในโครงข่ายการเดินทางภายในมหาวิทยาลัยยังมีเส้นทางที่ยังไม่ได้รับปรับปรุงให้มีความเหมาะสมและชัดเจนในการใช้ถนน ตัวอย่างเช่น ถนนบริเวณ Green Area จากคณะวิทยาศาสตร์ผ่านบริเวณด้านข้างคณะวิศวกรรมศาสตร์ ไปยังหอสมุด ซึ่งมีป้ายจราจรห้ามเข้าถนนดังกล่าว แต่มีนิสิตที่ขี่รถจักรยานยนต์จำนวนมากไม่น้อยยังฝ่าฝืนเป็นการใช้ถนนเส้นดังกล่าว	- เพื่อเพิ่มเส้นทางในการเดินทาง - เพื่อพัฒนาโครงข่ายถนนให้มีประสิทธิภาพ  แนวทางการแก้ไขปรับปรุง	- ปรับปรุงให้เป็นเส้นทางจักรยานและทางเดินเท้า - ห้ามใช้รถจักรยานยนต์ รถยนต์ในเส้นทางดังกล่าว  แนวทางการแก้ไขปรับปรุง
ดัชนีชี้วัด :	สภาพคล่องของการจราจร สะดวก	งบประมาณ : 800,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะยาวในปีที่ 7-8
ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทาง			
3.1 การพัฒนารถไฟฟ้าขนส่งมวลชน 16 คัน* ดำเนินการแล้ว	เนื่องจากมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ในปัจจุบันมีจำนวนนิสิต อาจารย์ และบุคลากรค่อนข้างมาก และต้องการเดินทางในการประกอบกิจกรรมในชีวิต ทั้งการเรียน การทำงาน การประกอบกิจกรรมทางสังคม จึงทำให้เกิดปัญหาทางด้านปริมาณการจราจรที่เพิ่มมากขึ้น	- เพื่อลดปริมาณการขนส่งและการจราจรรูปแบบอื่นๆในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อลดปริมาณการขนส่งและการจราจรที่ติดขัดและการเดินทางที่ล่าช้า - เพื่อเป็นการส่งเสริมการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม	- ดำเนินการจัดหารถขนส่งมวลชน ที่ใช้พลังงานสะอาดและปลอดภัยในการให้บริการ - วางแผนเส้นทางในการเดินทางให้บริการ - จัดอบรมให้รายละเอียด ขั้นตอน แก่ผู้ขับขี่รถไฟฟ้า - เริ่มดำเนินการให้บริการของรถขนส่งมวลชน
ดัชนีชี้วัด :	จำนวนผู้ใช้รถส่วนบุคคลลดลง/จำนวนผู้ใช้บริการรถไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น	งบประมาณ : 17,300,000 บาท	ระยะเวลา : -

ตารางที่ 4 (ต่อ)

แผนงาน	สภาพปัญหาในปัจจุบัน	วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	วิธีการดำเนินงาน
3.2 การพัฒนา NU Green Transit รถจักรยานให่ยืมฟรีจำนวน 500 คัน* ดำเนินการแล้ว	ในปัจจุบันได้มีการรณรงค์มากมายทางด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นทางมหาวิทยาลัยนเรศวรจึงได้มีแนวคิดที่จะส่งเสริมนโยบายการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จึงได้จัดทำ “โครงการ NU Green Transit รถจักรยานให่ยืมฟรี จำนวน 500 คัน”	- เพื่อเป็นการส่งเสริมแนวคิดการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม - เพื่อส่งเสริมให้นักศึกษาได้ออกกำลังกายซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพร่างกายและจิตใจ - เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน เนื่องจากการใช้ยานพาหนะส่วนตัวในการเดินทางลดลง	- ทำการจัดซื้อรถจักรยานเป็นจำนวน 500 คัน - ทำระบบ/ดำเนินการให้บริการยืม-คืนจักรยาน  การพัฒนา NU Green Transit
ดัชนีชี้วัด :	จำนวนผู้ใช้รถส่วนบุคคลลดลง/จำนวนผู้ใช้รถจักรยานเพิ่มมากขึ้น	งบประมาณ : 856,000 บาท	ระยะเวลา : -
3.3 การรณรงค์ลดการใช้ยานพาหนะส่วนบุคคล	จากสัดส่วนยานพาหนะการใช้รถนิสิตและบุคลากรพบว่าส่วนใหญ่ ใช้ยานพาหนะส่วนบุคคลคิดเป็นร้อยละ 92 ซึ่งนิสิต/นักศึกษาและบุคลากรในมหาวิทยาลัยนเรศวรยังไม่เห็นความสำคัญกับการใช้บริการรถขนส่งสาธารณะเท่าที่ควรและสาเหตุหนึ่งเกิดจากค่านิยมของนิสิต/นักศึกษา	- เพื่อลดปริมาณจราจรในชั่วโมงเร่งด่วนเช้าและในชั่วโมงเร่งด่วนเย็น - เพื่อสร้างค่านิยมและวัฒนธรรมการใช้บริการรถขนส่งสาธารณะ - เพื่อให้นักศึกษา และบุคลากรใช้บริการรถขนส่งสาธารณะมากขึ้น	- พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวก เพื่อรองรับผู้ใช้รถจักรยานและรถไฟฟ้า - รณรงค์ให้นักศึกษา/นักศึกษาและบุคลากรในมหาวิทยาลัย หันมาใช้บริการรถขนส่งสาธารณะ เช่น การประชาสัมพันธ์ผ่านทางวิทยุ, แผ่นโปสเตอร์, การจัดกิจกรรมให้เข้ามามีส่วนร่วม เป็นต้น
ดัชนีชี้วัด :	จำนวนผู้ใช้รถส่วนบุคคลลดลงส่งผลทำให้สถิติอุบัติเหตุลดลง	งบประมาณ : 50,000 บาท/ปี	ระยะเวลา : ต่อเนื่องทุกปี
3.4 การเพิ่มจำนวนและปรับขนาดรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในมหาวิทยาลัย	จากการสำรวจข้อมูลสถิติจำนวนของนิสิต อาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัย ในปีที่ผ่านมา พบว่าจำนวนของประชากรมีจำนวนเพิ่มขึ้นทุกปี ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณของการขนส่งและจราจรภายในมหาวิทยาลัยก็มีจำนวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย	- เพื่อให้มีปริมาณรถขนส่งมวลชนที่เพียงพอต่อจำนวนประชากรภายในบริเวณมหาวิทยาลัย - เพื่อเป็นการสร้างระบบการขนส่งและจราจรที่ยั่งยืนในมหาวิทยาลัยและบริเวณโดยรอบ	- สำรวจข้อมูลสถิติจำนวนของนิสิต อาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยนเรศวรในปีที่ผ่านมา - ทำการคาดการณ์ในอนาคตถึงจำนวนประชากรภายในมหาวิทยาลัยที่เพิ่มขึ้น - เพิ่มจำนวนและปรับขนาดรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนให้เพียงพอต่อปริมาณความต้องการ
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจ/สภาพคล่องของการจราจร	งบประมาณ : 16,000,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะกลางในปีที่ 3-4
3.5 การเพิ่มจำนวนของรถจักรยานให่ยืมฟรี	แนวคิดโครงการรถจักรยานในมหาวิทยาลัยนเรศวร ที่จะสามารถปรับใช้ภายในมหาวิทยาลัย โดยจะให้นักศึกษาสามารถยืมจักรยานได้จากทางมหาวิทยาลัย ทั้งนี้ต้องไม่มีการมัดจำ และจ่ายค่าเช่าจักรยาน เพื่อเป็นจุดที่สามารถดึงดูดให้มีผู้เข้าร่วมโครงการ และมีระบบการยืม-คืน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้โครงการรถจักรยานในมหาวิทยาลัยนเรศวรจะสามารถเกิดประโยชน์กับนิสิต และเป็น การส่งเสริมให้นักศึกษาใช้จักรยานเดินทางในระยะสั้นภายในมหาวิทยาลัย	- เพื่อลดปัญหามลพิษด้าน เสียง และมลพิษ - เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเดินทางเพื่อการสัญจรภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร - เพื่อสร้างระบบการยืม-คืน รถจักรยานที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมกับนิสิตและบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร  รถจักรยานในมหาวิทยาลัยนเรศวร	- ศึกษารูปแบบการจราจรของรถจักรยานในประเทศและต่างประเทศ - นำเสนอรูปแบบรถจักรยาน การให้บริการ และที่จอดรถจักรยานตามพื้นที่ต่างๆ รวมถึงแผนการปรับปรุงเส้นทางตามความเหมาะสม - สำรวจจำนวนความต้องการของนิสิต/นักศึกษาและบุคลากร ต่อการใช้บริการรถจักรยาน - เพิ่มจำนวนรถจักรยานเพื่อให้บริการตามความเหมาะสมและความต้องการของนิสิต/บุคลากร - นำเสนอแผนการประชาสัมพันธ์ให้ทราบถึงการให้บริการรถจักรยานและเส้นทางจักรยาน
ดัชนีชี้วัด :	จำนวนผู้ใช้รถจักรยานเพิ่มมากขึ้น	งบประมาณ : ***	ระยะเวลา : ระยะยาวในปีที่ 6-7
ยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม			
4.1 การก่อสร้างจุดจอดรถจักรยาน 16 จุด	ในการที่มหาวิทยาลัยนเรศวรมีความมุ่งมั่นที่จะแก้ไขปัญหาการจราจรและลดปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงนั้น โดยในปัจจุบันได้มีการส่งเสริมด้านสวัสดิการแก่นิสิตของมหาวิทยาลัยนเรศวร ด้วยการจัดทำโครงการรถจักรยานให่ยืมฟรี เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเดินทางเพื่อการสัญจรภายในมหาวิทยาลัย	- เพื่อสร้างความเป็นระเบียบในการจัดการที่จอดรถจักรยานภายในมหาวิทยาลัย - เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้บริการรถจักรยาน - เพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกในด้านโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อให้มีแรงดึงดูดให้มีผู้เข้าร่วมเพิ่มขึ้น	- สำรวจพฤติกรรมและบริเวณจอดรถจักรยานของนิสิต/นักศึกษา ภายในมหาวิทยาลัย - ศึกษารูปแบบที่จอดรถของรถจักรยานในประเทศและต่างประเทศ เพื่อจัดทำรูปแบบการให้บริการจักรยานที่เหมาะสมกับมหาวิทยาลัย - เสนอรูปแบบที่จอดรถจักรยานตามพื้นที่ต่างๆ
ดัชนีชี้วัด :	ความพึงพอใจ	งบประมาณ : 800,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะกลางในปีที่ 3-4
4.2 การจัดทำสิ่งอำนวยความสะดวกโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure)	สิ่งอำนวยความสะดวกโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น ได้แก่ การก่อสร้างช่องทางรถจักรยานและรถจักรยานยนต์ การปรับปรุงป้าย จุดหยุดรับ-ส่งรถไฟฟ้าและรถประจำทาง การจัดทำแผนที่คนเดินเท้า และทางเดินเท้า และจัดทำแผนที่การเดินทางภายในมหาวิทยาลัย	- เพื่อส่งเสริมแนวความคิด/สร้างรูปแบบการเดินทางที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด - เพื่อเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำมันพาหนะ - เพื่อให้ระบบขนส่งที่สามารถให้บริการครอบคลุมได้ทุกพื้นที่ภายในมหาวิทยาลัย - เพื่อให้เกิดการเดินทางได้หลายรูปแบบ	- สำรวจและปรับปรุงป้ายจราจรที่ชำรุดเสียหายให้ได้มาตรฐานตามหลักวิศวกรรมจราจร - ออกสำรวจพื้นที่เส้นทางการทางเดินเท้า และวางแผนการดำเนินงานในการสร้างทางเดินเท้า - กำหนดเส้นทางที่สามารถเดินรถ พร้อมจัดทำแผนที่ที่จะใช้เป็นเส้นทางในการเดินรถ

แผนงาน	สภาพปัญหาในปัจจุบัน	วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	วิธีการดำเนินงาน
ดัชนีชี้วัด : ความพึงพอใจ/สภาพคล่องของการจราจร	 การปรับปรุงช่องทางจราจร/รถจักรยานยนต์	 การปรับปรุงเส้นทางเดินเท้า Cover Way	 การปรับปรุงแผนที่เส้นทางที่เหมาะสม
4.3 การนำร่องในการก่อสร้างศาลาที่พักรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้า	ปัญหาที่พักรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ในปัจจุบันมีจำนวนที่พักรถไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้โดยสาร และบริเวณจุดรับ-ส่งบริเวณต่าง ๆ ของรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย พบว่า ยังไม่มีที่พักรถสำหรับผู้โดยสาร 	- เพื่ออำนวยความสะดวกและความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้า - เพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกเพื่อให้มีแรงดึงดูดให้ผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น - เพื่อพัฒนาระบบขนส่งให้มีประสิทธิภาพ 	- สำรวจพฤติกรรม จำนวนผู้ใช้บริการรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้าภายในมหาวิทยาลัย - ศึกษารูปแบบที่จอดรถของรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้าในประเทศและต่างประเทศ เพื่อจัดทำรูปแบบที่จอดรถที่เหมาะสม - นำเสนอรูปแบบที่จอดรถของรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้าตามความเหมาะสม - มีการนำร่องในการก่อสร้างศาลาที่พักรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้า ที่มีตารางเวลาการเดินรถและป้ายแสดงผลระบบติดตามรถไฟฟ้าด้วยระบบ GPS - ประชาสัมพันธ์ให้ทราบถึงบริเวณที่จอดรถของรถโดยสารประจำทาง/รถไฟฟ้า ตามพื้นที่ต่างๆ
ดัชนีชี้วัด : ความพึงพอใจ	 แนวทางการแก้ไขปรับปรุง	 แนวทางการแก้ไขปรับปรุง	 แนวทางการแก้ไขปรับปรุง
4.4 การจัดทำแผนที่/เส้นทางเดินรถไฟฟ้า	เนื่องจากทางมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ได้มีโครงการที่จะขยายระบบขนส่งมวลชน โดยจะมีการให้บริการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดทำแผนที่การเดินทางภายนอกมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ เพื่อที่จะได้ให้ระบบขนส่งมวลชนสามารถให้บริการได้ทั่วถึงทุกพื้นที่ ซึ่งในการจัดทำโครงการนี้จะเกิดประโยชน์ต่อนิสิตและบุคคลอื่น ๆ ที่พักอาศัยอยู่บริเวณโดยรอบพื้นที่ภายนอกของมหาวิทยาลัย	- เพื่อเป็นการลดปริมาณการขนส่งและจราจรในบริเวณรอบมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ - เพื่อส่งเสริมระบบขนส่งและจราจรที่ยั่งยืน - เพื่อเป็นการลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ช่วยประหยัดพลังงาน เพิ่มพื้นที่สาธารณะ - เพื่อที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรที่จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต	- สำรวจเส้นทางที่สามารถใช้งานได้ในปัจจุบัน เพื่อได้จัดทำแผนที่เส้นทางเดินรถใหม่ - ดำเนินการจัดทำเส้นทางที่จะให้รถขนส่งมวลชนสามารถให้บริการได้ทั่วถึง - วางระบบการเดินทาง เพื่อความเป็นระเบียบ และกำหนดระยะเวลาการออกให้บริการที่เหมาะสม และเพียงพอต่อผู้ใช้บริการ
ดัชนีชี้วัด : ความพึงพอใจ	งบประมาณ : 100,000 บาท	ระยะเวลา : ระยะกลางในปีที่ 3-4	

ที่มา: คณะผู้วิจัยและรายละเอียดแผนงานบางส่วนอ้างอิงจากผลการศึกษาในอดีต (Pengpitak, 2006; Sriphetch et al., 2007; Kadmun & Kotcharid, 2007; Chuenchom et al., 2007; Puaklar et al., 2011; Office of Transport and Traffic Policy and Planning, 2011)

7. สรุปผลการศึกษา

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พบว่า ปริมาณจราจรในช่วงที่มีปริมาณจราจรสูงสุดคือ ในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนเย็น (16:00-17:00 น.) มีปริมาณจราจรเข้า-ออกพื้นที่มหาวิทยาลัย จำนวน 6 จุด เข้า 1,323 Pcu/hr และขาออก 2,087 Pcu/hr, ปริมาณจราจรบริเวณทางแยก จำนวน 8 ทางแยก พบว่า ทางแยกที่มีปริมาณจราจรสูงสุดคือ สี่แยก NU Plaza มีปริมาณจราจรบริเวณทางแยกรวม 2,934 Pcu/hr, ความเร็วบนถนน ณ ความเร็วของยานพาหนะที่ 85 เปอร์เซ็นไทล์นั้น ความเร็วจะ

เกินกำหนดที่ควบคุมไว้ ซึ่งภายในมหาวิทยาลัยกำหนดความเร็วไว้ที่ 40 กม./ชม. โดยถือว่ามีความเสี่ยงและอาจก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้ และผลสำรวจข้อมูลการเดินทาง พบว่า จากกลุ่มตัวอย่าง 878 ครั้วเรือน (ร้อยละ 4 ของครั้วเรือนทั้งหมด) ในปี พ.ศ.2555 พบว่า มีจำนวนการเดินทางรวมทั้งหมด (ภายในพื้นที่ และเข้า-ออกพื้นที่) เท่ากับ 166,155 เที่ยว-คน/วัน ($P = 4.7$ Pop) โดยการเดินทางส่วนใหญ่จะใช้รถจักรยานยนต์สูงถึง ร้อยละ 75 รองลงมาคือ รถยนต์ส่วนบุคคลร้อยละ 20 โดยปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ พบว่า กลุ่มพื้นที่หน้ามหาวิทยาลัยกับพื้นที่โรงพยาบาลมีความต้องการการเดินทางมากที่สุดเนื่องจากมีโรงพยาบาลเป็นจุดดึงดูดการเดินทาง

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางการแก้ไขปัญหของระบบขนส่งและจราจรในพื้นที่ภายในและโดยรอบมหาวิทยาลัยนเรศวร พบว่า จากการคาดการณ์การเจริญเติบโตของมหาวิทยาลัย จะส่งผลต่อการเติบโตของธุรกิจในพื้นที่และอาจก่อให้เกิดปัญหาความแออัดและขาดการควบคุมหากยังไม่มีการวางแผนอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีแผนปฏิบัติการที่ชัดเจน เพื่อที่จะสามารถแก้ไขปัญหาต่างๆ ได้ เช่น ปัญหาระเบียบวินัยจราจร ปัญหาด้านการบำรุงรักษาและการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมจราจร ปัญหาความไม่เสมอภาคของผู้ใช้ถนนทุกประเภท ปัญหาด้านลักษณะทางกายภาพของถนนและโครงสร้างพื้นฐาน เป็นต้น และจะทำให้การขนส่งและจราจรภายในมหาวิทยาลัยพะเยามีการขนส่งที่ปลอดภัย และมีความสามารถในการเข้าถึงที่สะดวก รวดเร็ว และการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

ผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 การแปรผลข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การกำหนดประเด็นยุทธศาสตร์และแผนงานด้านระบบขนส่งเพื่อการพัฒนาชุมชนที่ยั่งยืนพบว่า แผนยุทธศาสตร์ที่ได้ประกอบด้วย 4 ยุทธศาสตร์ รวม 18 แผนงาน รวม 18 แผนงาน งบประมาณ 52,726,000 บาท ประกอบด้วย ยุทธศาสตร์ที่ 1 การพัฒนาด้านความปลอดภัยและเพิ่มขีดความสามารถของการขนส่งและจราจร ยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาระบบเชื่อมโยงโครงข่ายการสัญจรและขนส่ง ยุทธศาสตร์ที่ 3 การพัฒนาการส่งเสริมการใช้ระบบขนส่งสาธารณะเพื่อการเดินทาง ยุทธศาสตร์ที่ 4 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานการเดินทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ แหล่งทุนวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ที่ได้ให้การสนับสนุนการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ดร.ดุชนิ สติเรศฐทวี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาแนวทางและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาดำเนินการวิจัย ตลอดจนหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านข้อมูลและคำปรึกษา เพื่อให้งานวิจัยในครั้งนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

Chuenchom, C., Konjunthes, C., & Khamtan, Y. (2007). *Contentment Education in Using Electrical Vehicle Transportations within Naresuan University* [Bachelor's thesis]. Naresuan University.

- Kadmun, T., & Kotcharid, P. (2007). *The Study Suitable of Car Parking in Naresuan University* [Bachelor's thesis]. Naresuan University.
- Meyer, M.D. & Miller, E.J. (2001). *Urban Transportation Planning* (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Ministry of Transport. (2017). *Strategic plan Ministry of Transport (2017 - 2021)*. <http://www.mot.go.th/>
- Naresuan University. (2017). *10 years Naresuan University development plan (2017 - 2026)*. <https://www.nu.ac.th>
- Office of the National Economic and Social Development Board. (2018). *National Strategy. 2018 - 2037*. <https://www.nesdb.go.th>
- Office of the National Economic and Social Development Board. (2017). *12th National Economic and Social Development Plan, 2017-2021*. <https://www.nesdb.go.th>
- Office of Transport and Traffic Policy and Planning. (2011). *Master Plan for Transportation and Traffic of Muang District, Phichit Province* (Research report). Ministry of Transport.
- Pengpitak, S. (2006). *The study knowledge about efficiency and appropriate of road hump in Naresuan University area* [Bachelor's thesis]. Naresuan University.
- Phitsanulok Municipality. (2014). *Strategic Development Plan for Phitsanulok Municipality (2014 - 2023)*. <http://www.phismun.go.th>
- Phitsanulok Provincial Office. (2018). *Phitsanulok Provincial Development Plan (2018 - 2021)*. <http://www.phitsanulok.go.th>
- Phitsanulok Provincial Office. (2019). *Phitsanulok 2020 Plan (2020)*. <http://www.phitsanulok.go.th>
- Puaklar, J., kaewkard, T., & Kaewsawan, H. (2011). *The Study and Development of Transportation and Traffic Within The Naresuan University Community* [Bachelor's thesis]. Naresuan University.
- Rujopakarn, W. (2001). *Urban transportation planning*. Kasetsart University.
- Sripetch, N., Rootrakarn, P., & Khamphuang, R. (2007). *The Trip Production Model by Trip Rate Method The Case Study is the 1st Year Student of Naresuan University* [Bachelor's thesis]. Naresuan University.
- Taekeatok, T., & Meechaiyo, B. (2004). *Trip generation model of the Naresuan University's neighboring community*. Naresuan University.

การวิเคราะห์ทางสถิติของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำบริเวณแม่น้ำน่านตอนล่างของประเทศไทย Statistical analysis of water quality parameters in downstream of Nan river, Thailand

พิชพงษ์ พิทักษ์วินัย^{1,2}, วิลาวลัย คณิตชัยเดชา^{1*,3}, คณางค์ รัตนานิคม⁴, อูปถัมภ์ นาครักษ์^{3,5}
Pichapong Pitakwinai^{1,2}, Wilawan Khanitchaidecha^{1*,3}, Khakhanang Ratananikom⁴, Auppatham Nakaruk^{3,5}

¹ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

²กองระบบผลิตและควบคุมคุณภาพน้ำ การประปาส่วนภูมิภาค เขต 10 จังหวัดนครสวรรค์

³สถานวิจัยเพื่อความเป็นเลิศด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยีเพื่อการบำบัดน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

⁴สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุโขทัย มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์

⁵ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok

²Water Production and Quality Control Division, Provincial Waterworks Authority Regional Office 10, Nakhonsawan

³Centre of Excellence for Innovation and Technology for Water Treatment, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok

⁴Department of Science and Mathematics, Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University, Kalasin

⁵Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok

*Corresponding author e-mail: wilawank1@gmail.com

(Received May 02, 2019, Revised: September 24, 2019, Accepted: October 30, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างในระหว่างปี พ.ศ. 2555 - 2559 โดยใช้ข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ 15 พารามิเตอร์ (ข้อมูลทุติยภูมิ) จากสถานีเก็บตัวอย่างน้ำ 4 จุด ได้แก่ สถานี NA07, NA05, NA03 และ NA02 ของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้ได้คำนวณค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (WQI) จาก 5 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด แบคทีเรียฟัลโคลิฟอร์ม และแอมโมเนีย ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติต่าง ๆ (เช่น ANOVA, *t*-test, SPSS) พบว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามระยะทางโดยสถานี NA07 เป็นพื้นที่ติดกับแม่น้ำน่านตอนกลาง มีค่าประมาณ 70 สถานี NA05 เป็นพื้นที่ถัดลงไป มีค่าประมาณ 66 และสถานี NA03 และ NA02 เป็นพื้นที่ไกลที่สุด มีค่าประมาณ 62 และ 61 แม้ว่าค่าเฉลี่ยของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของทุกสถานีจะอยู่ในเกณฑ์พอใช้ อย่างไรก็ตาม ค่าต่ำสุดของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของสถานี NA05, NA03 และ NA02 อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม แม่น้ำน่านตอนล่างจึงจัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อปัญหามลพิษทางน้ำ โดยพารามิเตอร์ที่ควรเฝ้าระวัง ได้แก่ บีโอดี แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียฟัลโคลิฟอร์ม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก พบว่าบีโอดีมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับพารามิเตอร์ความขุ่น ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย ขณะที่แบคทีเรียทั้งสองมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับพารามิเตอร์กับพารามิเตอร์ความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้น พารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์คุณภาพเบื้องต้น เพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างได้อย่างทัน่วงที

คำสำคัญ: แม่น้ำน่านตอนล่าง คุณภาพน้ำผิวดิน ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป การวิเคราะห์เชิงกลุ่ม การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก

Abstract

The water quality analysis of the downstream of Nan river during 2012 to 2016 was carried out in this study. The secondary water quality data of 15 parameters in four station sites of NA07, NA05, NA03 and NA02 was provided by Pollution Control Department, Ministry of Natural Resource and Environment. The water quality index (WQI), which was calculated from 5 main parameters of dissolved oxygen, BOD, total coliform bacteria, fecal

coliform bacteria and ammonia, was used to evaluate and monitor the water quality and together with statistical programmes (i.e., ANOVA, t-test, SPSS). The results presented that the average WQI was significantly decreasing by station sites; the value was around 70 at Station NA07 which is close to the midstream of Nan river, the value was 67 at Station NA05 which are the latter area, and the values were 62 and 61 at Stations NA03 and NA02 which are the furthest. Although the average WQI of all stations was categorized in moderate quality, the minimal WQIs of Stations NA05, NA03 and NA02 were categorized in poor quality. Nan river is potential area for water pollution. The significant parameters affecting the poor water quality were BOD, total coliform bacteria, fecal coliform bacteria. According to HCA analysis, the BOD was classified in the same component of turbidity, total solids and suspended solids which are easily measured. In the meanwhile, both bacteria were classified in the same component of pH. Therefore, the latter parameters can be used as primary parameters for pollution prevention in downstream of Nan river.

Keywords: Downstream of Nan river, Surface water quality, Water quality index (WQI), Hierarchical cluster analysis (HCA), Principle components analysis (PCA).

1. บทนำ

น้ำถือเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าอย่างมาก เนื่องจากสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ และมนุษย์ต่างต้องการน้ำในการดำรงชีวิต นอกจากนี้แล้วยังถือเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งต่อการเกษตร อุตสาหกรรม การท่องเที่ยว และการเพาะเลี้ยงสัตว์ ทั้งนี้ผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร กิจกรรมทางเศรษฐกิจต่าง ๆ การปล่อยของเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพแย่ลง และประสบปัญหามลพิษทางน้ำในที่สุด (Liang & Yang, 2019; Yang et al., 2018; Yaqub & Lee, 2019)

สาเหตุหลักของการลดลงทางด้านคุณภาพและปริมาณของน้ำผิวดิน ก็คือ การจัดการด้านทรัพยากรแหล่งน้ำที่ไม่ดีพอ รวมถึงการป้องกันปัญหามลพิษที่ไม่ประสบผลสำเร็จ โดยเฉพาะในประเทศกำลังพัฒนา พบว่า หลายพื้นที่ได้รับผลกระทบจากการขยายตัวของเมือง และการเกษตรเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งสิ่งเหล่านี้นำไปสู่การลักลอบทิ้ง การรั่วไหลของของเสียและน้ำเสียสู่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น การลักลอบทิ้งกากของเสียอุตสาหกรรมในพื้นที่ตำบลหนองแห่น อำเภอนมสาร จันทบุรี ในปี พ.ศ. 2556 (Auppaman, 2019) และการตรวจพบสารปนเปื้อนในน้ำบาดาลในจังหวัดกาญจนบุรีจากการใช้ปุ๋ยปริมาณมาก (Greenpeace, 2007) ทั้งนี้คุณภาพของน้ำผิวดินมีความสำคัญอย่างมากต่อระบบนิเวศในแหล่งน้ำ กล่าวคือ การเสื่อมสภาพของคุณภาพน้ำผิวดินจะส่งผลกระทบต่อในระยะสั้นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์ และพืช นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบในระยะยาวอีกมากมาย เช่น ปัญหาการปนเปื้อนในน้ำใต้ดิน และปัญหาสุขภาพ ดังนั้น การวิเคราะห์คุณภาพน้ำผิวดินจึงมีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะในพื้นที่

เสี่ยงต่อปัญหามลพิษทางน้ำ นอกจากนี้หลายงานวิจัยให้การสนับสนุนว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลมีผลต่อคุณภาพน้ำในแต่ละพื้นที่ (Gu et al., 2019; Carstens & Amer, 2019; Abd-Elwahed, 2018)

บริเวณภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย แม่น้ำน่านถือเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่มีความสำคัญมาก ซึ่งไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมและชุมชนในจังหวัดอุตรดิตถ์ พิษณุโลก และพิจิตร ทั้งนี้ในปี พ.ศ. 2542-2543 จากการตรวจวัดพารามิเตอร์อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ออกซิเจนละลายน้ำ และออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ (บีโอดี) พบว่า แม่น้ำน่านมีคุณภาพน้ำแย่ลงเมื่อไหลผ่านชุมชน โดยจัดอยู่ในประเภท 3-4 (คุณภาพพอใช้-เสื่อมโทรม) ในพื้นที่ชุมชน และอยู่ในประเภท 2-4 (คุณภาพดี-เสื่อมโทรม) ในพื้นที่เกษตรกรรม (Sonklin & Photong, 2005) ในปี พ.ศ. 2556 พบว่า ค่าบีโอดีของแม่น้ำน่านในจังหวัดพิษณุโลกส่วนใหญ่มีค่าเกินมาตรฐานของคุณภาพน้ำผิวดินประเภท 3 (ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร) โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.34-2.44 มิลลิกรัม/ลิตร อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำโดยทั่วไปจัดอยู่ในประเภท 2-4 (Soithong et al., 2013)

จะเห็นได้ว่า แม่น้ำน่านตอนล่างถือเป็นหนึ่งในพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหามลพิษทางน้ำของประเทศไทย เนื่องจากการขยายตัวของเมืองและเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญ นอกจากนี้ข้อมูลคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านที่มีอยู่เดิมค่อนข้างเก่า และขาดความต่อเนื่อง เพื่อประโยชน์ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำที่เป็นปัจจุบัน งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่าง โดยใช้ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากกรมควบคุมมลพิษ และนำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำจากค่าดัชนี

คุณภาพน้ำทั่วไป รวมถึงการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติต่าง ๆ (ANOVA, *t*-test) การหาความสัมพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์จะเป็นประโยชน์ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์สำคัญ (เช่น บีโอดี และแบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม) โดยใช้พารามิเตอร์อื่นที่มีความสัมพันธ์กันสูงทดแทน ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลา และประเมินคุณภาพน้ำเบื้องต้นได้อย่างทัน่วงที

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 พื้นที่ที่ศึกษาและแหล่งข้อมูล

พื้นที่ที่ศึกษาของงานวิจัยนี้จะครอบคลุมเพียงแม่น้ำน่านตอนล่างเท่านั้น โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากสถานีเก็บตัวอย่างน้ำของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ NA07, NA05, NA03 และ NA02 (ดังรูปที่ 1 และตารางที่ 1) ในช่วงปี พ.ศ. 2555-2559 โดยกรมควบคุมมลพิษได้ทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำในพารามิเตอร์ต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ จำนวน 4 ครั้งต่อปี ได้แก่ เดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม มิถุนายน และพฤศจิกายน (Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department, 2018) ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ข้อมูลในช่วงเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนแสดงถึงคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน และข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และพฤศจิกายนแสดงถึงคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง

จากข้อมูลคุณภาพน้ำแบบทุติยภูมิที่ได้จากกรมควบคุมมลพิษประกอบด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ 15 พารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้ อุณหภูมิ (Temperature) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความกระด้าง (Hardness) การนำไฟฟ้า (Conductivity) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids; TDS) ความขุ่น (Turbidity) ของแข็งทั้งหมด (Total solids; TS) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids; SS) ไนเตรท (Nitrate; NO_3^-) ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total phosphorus; TP) ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen; DO) ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biological oxygen demand; BOD) แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total coliform bacteria; TCB) แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม (Fecal coliform bacteria; FCB) และแอมโมเนีย (NH_3)

2.2 การประเมินคุณภาพน้ำและการวิเคราะห์ทางสถิติ

การประเมินคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างจะใช้ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (Water quality index: WQI) ของกรมควบคุมมลพิษ โดยพิจารณาจาก 5 พารามิเตอร์หลัก ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด แบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม และแอมโมเนีย (Pollution Control Department, 2011) โดยหลักการคำนวณคะแนนของแต่ละพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 2 และสมการที่ 1 สำหรับการพิจารณาค่าคะแนนพิเศษเป็นดังนี้ คะแนนพิเศษเท่ากับ 0 เมื่อเกณฑ์

คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ไม่ต่างกัน คะแนนพิเศษเท่ากับ 10 เมื่อเกณฑ์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ต่างกัน 1 ระดับ คะแนนพิเศษเท่ากับ 15 เมื่อเกณฑ์คุณภาพน้ำในแต่ละพารามิเตอร์ต่างกัน 2 ระดับ และคะแนนพิเศษเท่ากับ 20 เมื่อเกณฑ์คุณภาพน้ำของแต่ละพารามิเตอร์ต่างกัน 3 ระดับ (Pollution Control Department, 2011; Pitakwinai et al., 2019) สำหรับเกณฑ์ประเมินคุณภาพน้ำตามค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป สรุปดังตารางที่ 3

$$\text{คะแนนรวม} = \text{ค่าเฉลี่ยของคะแนนทั้ง 5 พารามิเตอร์} - \text{คะแนนพิเศษ} \quad (1)$$

การวิเคราะห์ข้อมูลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ และค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป จะใช้โปรแกรมทางสถิติ One-way ANOVA และ Independent *t*-test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($p = 0.05$) เพื่อหาความแปรปรวนของข้อมูลในแต่ละสถานีและฤดูกาล ตามลำดับ และใช้โปรแกรมทางสถิติ SPSS version 23 ในการวิเคราะห์จัดกลุ่มตามลำดับชั้น (Hierarchical cluster analysis : HCA) และวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก Principle components analysis (PCA) ทั้งนี้จำนวนองค์ประกอบหลักจะพิจารณาจากค่าไอเกน (Eigenvalues > 1) ซึ่งเป็นค่าความผันแปรของตัวแปรทั้งหมดในแต่ละองค์ประกอบ ดังนั้นองค์ประกอบหลักที่มีตัวแปรร่วมอยู่มาก จึงมีค่าไอเกนมากตามด้วย

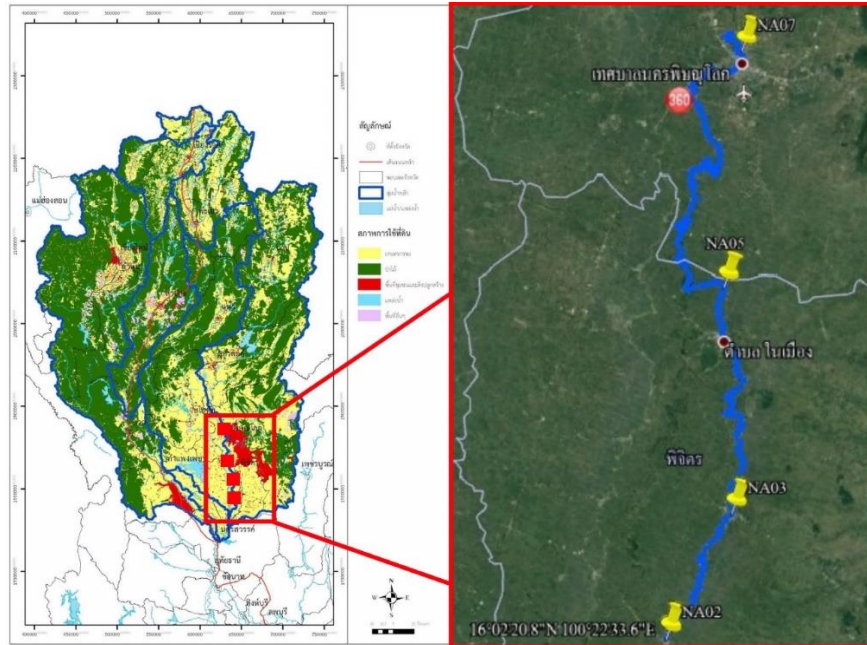
3. ผลการวิจัย

3.1 พารามิเตอร์และคุณภาพน้ำ

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างจากข้อมูลทุติยภูมิของกรมควบคุมมลพิษ โดยใช้หลักสถิติพื้นฐาน แสดงในตารางที่ 4 ซึ่งแสดงถึงค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้ง 15 พารามิเตอร์ ในฤดูกาลต่าง ๆ จากข้อมูลชี้ให้เห็นว่า ความเป็นกรด-ด่าง มีค่าประมาณ 7.3 ถึง 8.5 การนำไฟฟ้า อยู่ระหว่าง 118 ถึง 184 ไมโครซีเมน/ตารางเซนติเมตร ความขุ่น อยู่ในช่วง 11 ถึง 267 เอ็นทียู อุณหภูมิประมาณ 26 ถึง 36 องศาเซลเซียส ความกระด้าง มีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 89 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งทั้งหมด อยู่ในช่วง 97 ถึง 317 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งแขวนลอย อยู่ระหว่าง 6 ถึง 198 มิลลิกรัม/ลิตร ของแข็งละลายน้ำ มีค่าอยู่ระหว่าง 38 ถึง 171 มิลลิกรัม/ลิตร ไนเตรต ประมาณ 0.1 ถึง 1.9 มิลลิกรัม/ลิตร ฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ 0 ถึง 0.8 มิลลิกรัม/ลิตร ออกซิเจนละลายน้ำ มีค่าประมาณ 4.9 ถึง 7.4 มิลลิกรัม/ลิตร บีโอดี อยู่ในช่วง 0.8 ถึง 5.6 มิลลิกรัม/ลิตร แอมโมเนียประมาณ 0 ถึง 0.4 มิลลิกรัม/ลิตร แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด อยู่ในช่วง 330 ถึง 92,000 เอ็มเอ็นพี/100 มิลลิลิตร และแบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม มีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 35,000 เอ็มเอ็นพี/100 มิลลิลิตร ซึ่งในแต่ละพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามฤดูกาล (*t*-test, $p = 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลมีการกระจายตัวมากทั้งในฤดูฝนและ

ฤดูแล้ง จึงส่งผลในช่วงปี พ.ศ. 2555-2559 ปริมาณน้ำฝน และอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นในฤดูฝนไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างอย่างเด่นชัด เมื่อเปรียบเทียบค่าของแต่ละพารามิเตอร์ตามมาตรฐานน้ำผิวดินประเภท 3 ที่ใช้ประโยชน์เพื่อการเกษตร และอุปโภคบริโภค โดยต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อน พบว่า ปีโอติ

แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียฟัลโคลิฟอร์ม มีค่าบางส่วนเกินมาตรฐาน 2 มิลลิกรัม/ลิตร 20,000เอ็มเอ็นพี/100 มิลลิกรัม และ 4,000 เอ็มเอ็นพี/100 มิลลิกรัม ตามลำดับ (Pollution Control Department, 2019) ดังนั้น พารามิเตอร์เหล่านี้ควรเฝ้าระวังและตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษา

ที่มา ส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department, 2018)

ตารางที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่างน้ำและจุดพัก

สถานี	ที่ตั้ง	พิกัด	ลักษณะทั่วไป/การใช้ประโยชน์
NA07	จุดสูบน้ำประปาเทศบาลเมืองพิษณุโลกหน้าวัดโพธิญาณ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิษณุโลก	16°50'18.5"N 100°15'39.1"E	มีสีแดงชุ่มตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเกษตร และการอุปโภค-บริโภค
NA05	สะพานถนนสายพิจิตร-อ.เนินมะปราง ต.ในเมือง อ.เมือง จ.พิจิตร	16°30'45.5"N 100°19'32.5"E	มีสีแดงชุ่มตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเกษตร และการอุปโภค-บริโภค
NA03	สะพานรัฐราษฎร์รังสรรค์ ต.ห้วยเกตุ อ.ตะพานหิน จ.พิจิตร	16°13'02.6"N 100°25'11.1"E	มีสีแดงชุ่มตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเกษตร และการอุปโภค-บริโภค
NA02	สะพานตำบลบางมูลนาก อ.บางมูลนาก จ.พิจิตร	16°02'01.2"N 100°22'37.6"E	มีสีแดงชุ่มตลอดทั้งปี ส่วนใหญ่ใช้เพื่อเกษตร และการอุปโภค-บริโภค

ที่มา ส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department, 2018)

ตารางที่ 2 สูตรสมการการคิดคะแนนของทั้ง 5 พารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่า	สมการ
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO; มิลลิกรัม/ลิตร)	0.0 – 4.0	คะแนน = $15.25 \times (DO) + 0.1667$
	4.1 – 6.0	คะแนน = $5 \times (DO) + 41$
	6.1 – 8.4	คะแนน = $12.083 \times (DO) - 1.5$
	8.5 – 8.9	คะแนน = $-78 \times (DO) + 755.2$
	9.0 – 11.2	คะแนน = $-13.043 \times (DO) + 177.09$
	11.3 – (≥ 15.3)	คะแนน = $-7.561 \times (DO) + 115.68$
ออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ย่อย สลายสารอินทรีย์ (BOD; มิลลิกรัม/ลิตร)	0.0 – 1.5	คะแนน = $-19.333 \times (BOD) + 100$
	1.6 – 2.0	คะแนน = $-20 \times (BOD) + 101$
	2.1 – 4.0	คะแนน = $-15 \times (BOD) + 91$
	4.1 – (≥ 8.8)	คะแนน = $-6.4583 \times (BOD) + 56.833$
แอมโมเนีย (NH_3 -N; มิลลิกรัม/ลิตร)	0.0 – 0.22	คะแนน = $-131.82 \times (NH_3) + 100$
	0.23 – 0.50	คะแนน = $-35.714 \times (NH_3) + 78.857$
	0.51 – 1.83	คะแนน = $-22.556 \times (NH_3) + 72.278$
	>1.83	คะแนน = $-6.1024 \times (NH_3) + 42.167$
แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (TCB; เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร)	0.0 – 5,000	คะแนน = $-0.0058 \times (TCB) + 100$
	5,001 – 20,000	คะแนน = $-0.0007 \times (TCB) + 74.333$
	20,001–160,000	คะแนน = $-0.0002 \times (TCB) + 65.286$
	$>160,000$	คะแนน = $-8E-06 \times (TCB) + 32.292$
แบคทีเรียฟัลโคลิฟอร์ม (FCB; เอ็มพีเอ็น/100 มิลลิลิตร)	0.0 – 1,000	คะแนน = $-0.029 \times (FCB) + 100$
	1,001 – 4,000	คะแนน = $-0.0033 \times (FCB) + 74.333$
	4,001 – 90,000	คะแนน = $-0.0003 \times (FCB) + 62.395$
	$>90,000$	คะแนน = $-1E-05 \times (FCB) + 32.208$

ที่มา ส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2011)

ตารางที่ 3 เกณฑ์ประเมินคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินตามค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป

คะแนนรวม	เกณฑ์คุณภาพน้ำ	มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภท
≥ 71	ดี	2
≥ 61	พอใช้	3
≥ 31	เสื่อมโทรม	4
≥ 0	เสื่อมโทรมมาก	5

ที่มา ส่วนแหล่งน้ำจัด สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department, 2011)

ตารางที่ 3 ข้อมูลทุติยภูมิของพารามิเตอร์ทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2555-2559 (ค่าพิสัย ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

สถานี	ฤดูกาล	ความเป็นกรด-ด่าง	การนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	ความขุ่น (mg/L)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ความกระด้าง (mg/L)	ของแข็งทั้งหมด (mg/L)	ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (mg/L)	ไนเตรต ($\text{mg-N}/\text{L}$)	ฟอสฟอรัสทั้งหมด (mg/L)	ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	บีโอดี (mg/L)	แอมโมเนีย ($\text{mg-N}/\text{L}$)	แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด (MPN/100 mL)	แบคทีเรียฟีคัล โคลิฟอร์ม (MPN/100 mL)
NA07	ฤดูแล้ง	7.8 ± 0.1 (7.7-8.1)	157 ± 16 (133-184)	52 ± 22 (25.2-87)	29 ± 1.3 (25.8-30.3)	72 ± 5.9 (61.2-79.4)	159 ± 33 (114-222)	41 ± 12 (29-66)	103 ± 26 (50-145)	0.3 ± 0.1 (0.2-0.6)	0.3 ± 0.2 (0.1-0.6)	6.2 ± 0.9 (5-7.4)	1.8 ± 0.5 (1.1-2.5)	0.2 ± 0.1 (0-0.4)	$3,184 \pm 4,637$ (330-16,000)	$656 \pm 1,058$ (130-3,500)
	ฤดูฝน	7.7 ± 0.2 (7.4-8.1)	156 ± 12 (134-169)	98 ± 68 (26.4-175)	30 ± 2.3 (27.5-34.7)	75 ± 12 (54.4-88.6)	184 ± 42 (131-237)	59 ± 32 (28-109)	114 ± 26 (75-153)	0.4 ± 0.3 (0.1-1)	0.4 ± 0.3 (0-0.8)	6.1 ± 0.5 (5.2-7.2)	1.5 ± 0.4 (0.8-2.2)	0.2 ± 0.1 (0-0.4)	$6,499 \pm 7,758$ (790-24,000)	$1,056 \pm 1,119$ (170-3,500)
NA05	ฤดูแล้ง	7.8 ± 0.2 (7.3-8.1)	152 ± 13 (127-176)	51 ± 30 (20.5-106)	30 ± 2.2 (26.1-33.3)	74 ± 12 (51.6-92)	166 ± 37 (97-230)	42 ± 17 (6-64)	110 ± 27 (78-171)	0.5 ± 0.5 (0.1-1.9)	0.4 ± 0.2 (0.1-0.7)	6.2 ± 0.7 (5.3-7.2)	1.9 ± 0.5 (1.3-2.9)	0.2 ± 0.1 (0-0.4)	$1,0280 \pm 6,387$ (1,300-16,000)	$1,989 \pm 2,504$ (500-9,000)
	ฤดูฝน	7.7 ± 0.3 (7.4-8.1)	148 ± 15 (118-161)	105 ± 88 (27.4-267)	31 ± 2.0 (28.2-34.9)	70 ± 8.1 (54.8-81)	212 ± 42 (149-276)	89 ± 33 (48-143)	95 ± 34 (38-148)	0.4 ± 0.3 (0.1-0.9)	0.4 ± 0.2 (0.2-0.8)	5.8 ± 0.6 (4.8-6.6)	1.9 ± 0.8 (1-3.6)	0.1 ± 0.1 (0-0.3)	$4,524 \pm 4,809$ (350-1,6000)	$1,136 \pm 773$ (40-2,400)
NA03	ฤดูแล้ง	7.7 ± 0.3 (7.3-8.1)	152 ± 10 (134-166)	57 ± 30 (27.9-118)	30 ± 1.4 (27.8-31.3)	68 ± 6.8 (54.6-77.4)	165 ± 27 (142-226)	50 ± 13 (33-72)	103 ± 26 (77-166)	0.4 ± 0.4 (0.2-1.4)	0.3 ± 0.1 (0.2-0.4)	6.0 ± 0.7 (5-7.2)	2.2 ± 0.6 (1.2-3.4)	0.2 ± 0.1 (0.1-0.2)	$3,995 \pm 4,487$ (470-16,000)	$1,136 \pm 972$ (220-2,400)
	ฤดูฝน	7.8 ± 0.2 (7.5-8.1)	146 ± 13 (122-163)	96 ± 54 (42.5-174)	32 ± 2.4 (29.2-36.1)	68 ± 9.0 (50-79)	225 ± 46 (155-290)	94 ± 39 (49-162)	102 ± 25 (56-140)	0.5 ± 0.4 (0.2-1.3)	0.5 ± 0.2 (0.2-1)	5.6 ± 0.6 (4.8-7)	1.9 ± 0.6 (1.3-3.4)	0.2 ± 0.1 (0.1-0.3)	$19,910 \pm 25,850$ (1,700-92,000)	$5,692 \pm 10,409$ (790-35,000)
NA02	ฤดูแล้ง	7.8 ± 0.3 (7.3-8.0)	153 ± 11 (137-170)	54 ± 34 (11.1-116)	30 ± 1.4 (27.2-31.7)	73 ± 9.5 (60.6-88.2)	174 ± 32 (136-250)	51 ± 17 (18-71)	113 ± 22 (90-165)	0.3 ± 0.1 (0.1-0.6)	0.3 ± 0.1 (0.1-0.4)	5.9 ± 0.6 (4.9-6.8)	2.1 ± 0.7 (1-3.6)	0.2 ± 0.2 (0-0.4)	$3,859 \pm 2,642$ (490-9,200)	$1,396 \pm 1,698$ (110-5,400)
	ฤดูฝน	7.8 ± 0.3 (7.5-8.5)	152 ± 14 (132-167)	117 ± 89 (29.5-272)	32 ± 1.5 (29.1-33.2)	68 ± 8.2 (54-78.8)	234 ± 49 (156-317)	95 ± 44 (54-198)	106 ± 26 (60-144)	0.5 ± 0.4 (0.2-1.2)	0.6 ± 0.3 (0.3-1.2)	5.7 ± 0.6 (4.9-6.6)	2.1 ± 1.4 (0.9-5.6)	0.1 ± 0.1 (0-0.4)	$11,029 \pm 7,269$ (790-22,000)	$2,864 \pm 4,072$ (170-14,000)

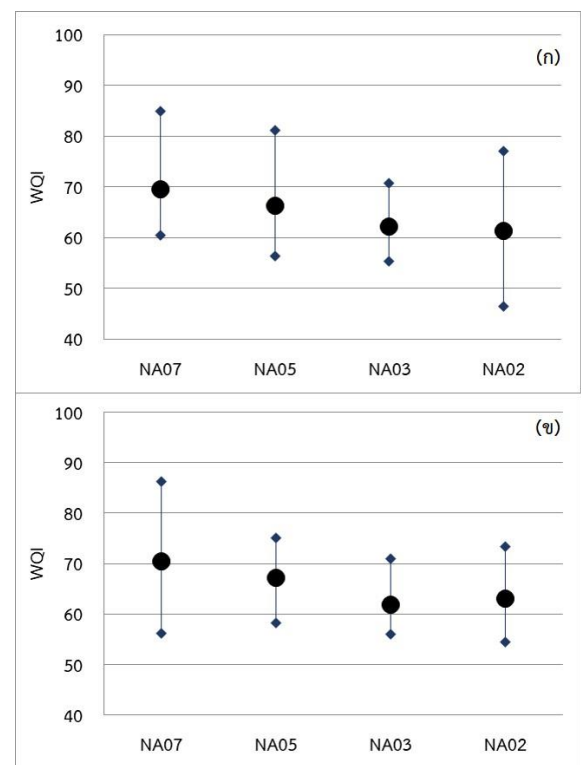
ที่มา ข้อมูลทุติยภูมิจากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (Pollution Control Department, 2019)

3.2 ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปและคุณภาพน้ำ

หากพิจารณาคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างในภาพรวม การคำนวณค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปถือว่ามีความสำคัญมาก เพื่อบ่งชี้คุณภาพน้ำว่าอยู่ในเกณฑ์ใด (ดังตารางที่ 3) ทั้งนี้การใช้ดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (WQI) เป็นมาตรฐานสากลที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำผิวดินของแต่ละประเทศ (Adimalla & Qian, 2019; Sener et al., 2017; Wang et al., 2019) จากรูป 2ก ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปของสถานี NA07, NA05, NA03 และ NA02 ในช่วงฤดูฝน มีค่าเท่ากับ 69.5, 66.3, 62.2 และ 61.3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปมีแนวโน้มลดลง แม้ว่าค่าเฉลี่ยของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปจะอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (คะแนน WQI อยู่ในช่วง 61-70) เช่นเดียวกับในอดีต (Sonklin & Photong, 2005) อย่างไรก็ตาม ค่าต่ำสุดของดัชนีคุณภาพน้ำที่สถานี NA05, NA03 และ NA02 จัดอยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรม (คะแนน WQI ต่ำกว่า 60) เช่นเดียวกับคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง (รูปที่ 2ข) ค่าเฉลี่ยของดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปก็มีแนวโน้มลดลงในแต่ละสถานีเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.5, 67.1, 61.9 และ 63.1 ที่สถานี NA07, NA05, NA03 และ NA02 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไปที่ได้จากการคำนวณกับข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี พ.ศ. 2555 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงสอดคล้องกัน (Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department, 2013) ขณะเดียวกัน ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี พ.ศ. 2556-2559 ไม่พบการระบุค่าดัชนีทั่วไปแยกเป็นแต่ละสถานี แต่ระบุเพียงคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (พ.ศ. 2556, 2557 และ 2559) และเกณฑ์ดี (พ.ศ. 2558) (Pollution Control Department, 2016)

เมื่อทดสอบความแปรปรวนของค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (ANOVA, $p = 0.05$) พบว่า คุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละสถานีหรือตามระยะทาง กล่าวคือ สถานี NA07 และ NA05 ซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนต้นของแม่น้ำน่านตอนล่าง จะมีคุณภาพน้ำดีกว่าสถานี NA03 และ NA02 เล็กน้อย ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียฟิโคลิฟอร์ม ซึ่งมีค่าสูงบริเวณสถานี NA03 และ NA02 จึงส่งผลให้คะแนนที่ได้จากการคำนวณของ 2 พารามิเตอร์ดังกล่าวมีค่าต่ำกว่า (ANOVA, $p = 0.05$) ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป ในทางตรงกันข้าม ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของผลคะแนนที่ได้คำนวณของ 3 พารามิเตอร์ที่เหลือ ได้แก่ ออกซิเจนละลายน้ำ บีโอดี และแอมโมเนีย (ANOVA, $p = 0.05$)

เมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ดังรูปที่ 1 พบว่า บริเวณสถานี NA07 และ NA05 เป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัยและมีชุมชนอยู่หนาแน่น ขณะที่บริเวณสถานี NA03 และ NA02 เป็นพื้นที่เกษตรกรรม ดังนั้น จึงอาจกล่าวได้ว่า การปล่อยของเสียและน้ำเสีย ตลอดจนกิจกรรมต่าง ๆ จากชุมชนที่อยู่อาศัยบริเวณต้นแม่น้ำน่านตอนล่าง ส่งผลต่อการปนเปื้อนของปลายแม่น้ำน่านตอนล่าง สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ ที่รายงานการปนเปื้อนของพารามิเตอร์ (เช่น ไนโตรเจนทั้งหมด และซีโอดี) มีแนวโน้มสูงขึ้นที่ปลายแม่น้ำ โดยมีชุมชนตั้งอยู่ที่ต้นแม่น้ำ (Mainali & Chang, 2018) และพบปริมาณแบคทีเรียฟิโคลิฟอร์มสูงขึ้นไปในแม่น้ำที่ไหลชุมชน และเกษตรกรรม (Kacar, 2011) นอกจากนี้ปริมาณแบคทีเรียฟิโคลิฟอร์มยังสัมพันธ์กับความเร็วในการตกตะกอน และปริมาณตะกอนของแม่น้ำด้วย (Chen & Liu, 2017)

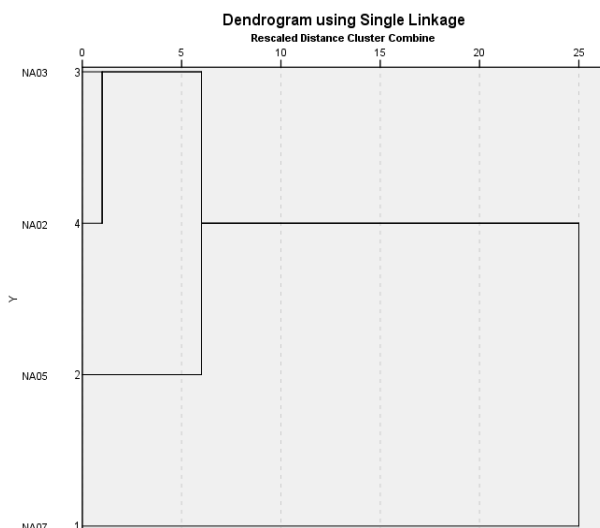


รูปที่ 2 ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (ก) ฤดูฝน และ (ข) ฤดูแล้ง

3.3 ความสัมพันธ์เชิงกลุ่มและองค์ประกอบหลัก

การวิเคราะห์จัดกลุ่มตามลำดับชั้น (HCA) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสถานี NA07, NA05, NA03 และ NA02 ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง เพื่อประโยชน์ในการเฝ้าระวังคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่าง และการป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำที่อาจเกิดขึ้น โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิทั้ง 15 พารามิเตอร์ ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ความสัมพันธ์เชิงกลุ่มของคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่าน

ตอนล่าง ประกอบด้วย 3 กลุ่ม (Cluster) ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ สถานี NA07 ที่เป็นพื้นที่รับน้ำต่อน้ำจากแม่น้ำตอนกลาง และเป็นพื้นที่ชุมชนหนาแน่น กลุ่มที่ 2 ได้แก่ สถานี NA05 เป็นพื้นที่ถัดจากพื้นที่ชุมชนหนาแน่น ส่วนกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย สถานี NA03 และ NA02 เป็นพื้นที่ที่อยู่ไกลออกไป ซึ่งถือเป็นพื้นที่ที่มีคุณภาพน้ำแย่ที่สุด (มีค่าดัชนีคุณภาพน้ำต่ำที่สุด) ทั้งนี้เนื่องจากแม่น้ำน่านได้ไหลผ่านหลายพื้นที่ เช่น พื้นที่เกษตรกรรม และชุมชน ประกอบกับกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณริมฝั่งแม่น้ำตอนล่าง ทำให้การปล่อยของเสียและน้ำเสียสะสมในแม่น้ำน่านมากขึ้น (Mainali & Chang, 2018; Sun et al., 2016) อย่างไรก็ตาม การฟอกตัวตามธรรมชาติของแม่น้ำน่านยังคงเกิดขึ้นอยู่ แต่อาจไม่เพียงพอต่อการกำจัดสารปนเปื้อนจำนวนมากที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำ ดังนั้น การบำบัดเบื้องต้นก่อนปล่อยสู่แม่น้ำน่านจึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ

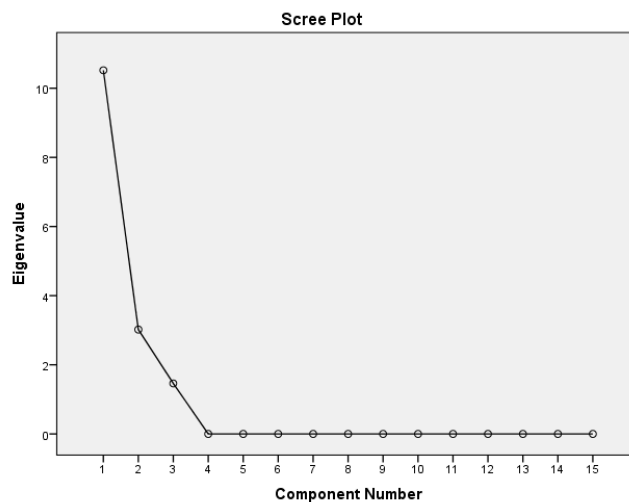


รูปที่ 3 แผนภูมิเดนโดแกรมแสดงความสัมพันธ์ของทั้ง 15 พารามิเตอร์ระหว่างสถานีต่าง ๆ

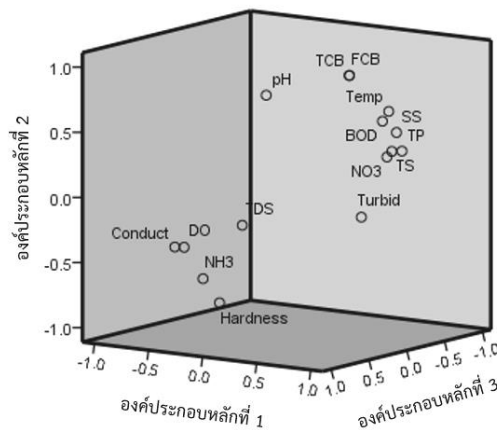
สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เป็นการหาความสัมพันธ์ของแต่ละพารามิเตอร์ โดยจำแนกตามองค์ประกอบของพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กัน ทั้งนี้หากค่าที่ได้มีค่า > 0.75 แสดงว่าความสัมพันธ์ในองค์ประกอบหลักอยู่ในระดับสูง หากค่าที่ได้อยู่ระหว่าง $0.75-0.50$ แสดงว่าความสัมพันธ์ในองค์ประกอบหลักอยู่ในระดับปานกลาง และหากค่าที่ได้อยู่ระหว่าง $0.50-0.30$ แสดงว่าความสัมพันธ์ในองค์ประกอบหลักอยู่ในระดับต่ำ (Liu et al., 2003) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4 และรูปที่ 4 พบว่า 15 พารามิเตอร์ทั้งทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา สามารถแบ่งได้เป็น 3 องค์ประกอบ (PC) ที่มีค่า Eigenvalues มากกว่า 1 ได้แก่

PC1 (Eigenvalues = 10.519), PC2 (Eigenvalues = 3.020) และ PC3 (Eigenvalues = 1.461) สำหรับองค์ประกอบหลักที่ 1 คิดเป็นความแปรปรวน 41.791% โดยพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูงทางบวกภายในองค์ประกอบนี้ ได้แก่ ความขุ่น ของแข็งทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย และบีโอดี โดยค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงสูงขึ้นหรือต่ำลงสอดคล้องกัน ทั้งนี้หากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สูงจะบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำแย่ลง พารามิเตอร์ในองค์ประกอบหลักนี้เกี่ยวข้องกับกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ และของเสียจากชุมชน นอกจากนี้ยังมีความสัมพันธ์ระดับสูงทางลบกับออกซิเจนละลายน้ำ กล่าวคือ ค่าออกซิเจนละลายน้ำสูงขึ้นจะบ่งชี้ถึงคุณภาพน้ำดีขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับพารามิเตอร์อื่น ๆ ในองค์ประกอบหลักที่ 1 สำหรับองค์ประกอบหลักที่ 2 มีค่าความแปรปรวน 34.212% โดยพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์ระดับสูงทางบวกภายในองค์ประกอบนี้ ได้แก่ แบคทีเรียฟัลคิลีฟอรัม แบคทีเรียโคลิฟอรัมทั้งหมด และความเป็นกรด-ด่าง พารามิเตอร์ในองค์ประกอบหลักนี้มีความเกี่ยวข้องกับจุลชีพและแบคทีเรียต่าง ๆ และมีความสัมพันธ์ระดับสูงทางลบกับความกระด้าง สำหรับองค์ประกอบหลักที่ 3 มีค่าความแปรปรวน 23.998% ภายในองค์ประกอบนี้มีความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในระดับสูงทางบวกมี 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และการนำไฟฟ้า ซึ่งพารามิเตอร์ในองค์ประกอบหลักนี้จะมีผลมาจากสารอนินทรีย์ และไอออนต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะเป็นประโยชน์ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น บีโอดี และแบคทีเรีย (ซึ่งจำเป็นต้องตรวจวัดในห้องปฏิบัติการและใช้เวลานานในการตรวจวิเคราะห์) จากพารามิเตอร์ที่สามารถตรวจวัดได้ทันที เช่น ความขุ่น และความเป็นกรด-ด่าง ทำให้สามารถใช้เป็นตัวแทนพารามิเตอร์บีโอดี และแบคทีเรีย ตามลำดับ เพื่อบ่งชี้คุณภาพน้ำเบื้องต้น

เมื่อนำองค์ประกอบหลักทั้ง 3 มาสร้างเป็นแผนภูมิ 3 มิติประกอบด้วยแกน X, Y และ Z (PC1, PC2 และ PC3) ดังรูปที่ 5 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ในแต่ละองค์ประกอบหลัก โดยพบว่าพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ได้แก่ ความขุ่น ของแข็งทั้งหมด ฟอสฟอรัสทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย บีโอดี แบคทีเรียฟัลคิลีฟอรัม แบคทีเรียโคลิฟอรัมทั้งหมด ไนเตรต และอุณหภูมิ



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงค่า Eigenvalue และ Component Number



รูปที่ 5 Component plot

ตารางที่ 4 องค์ประกอบหลักพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ

Variable Factor loadings (varimax normalized)	PC1	PC2	PC3
Eigenvalues	10.519	3.020	1.461
Variance(%)	41.791	34.212	23.998
Cumulative(%)	41.791	76.002	100.000
Turbidity	0.935	0.000	0.350
TS	0.919	0.387	0.000
TP	0.901	0.365	-0.236
DO	-0.857	-0.499	0.131
SS	0.826	0.494	-0.271
BOD	0.790	0.597	-0.136
Temperature	0.684	0.628	-0.372
FCB	0.362	0.879	-0.309

Hardness	-0.429	-0.861	0.275
TCB	0.251	0.847	-0.469
pH	0.180	0.831	0.527
NH ₃	-0.679	-0.721	0.135
TDS	0.262	0.000	0.960
NO ₃	0.260	0.151	-0.954
Conductivity	-0.471	-0.360	0.806

4. สรุปผล

จากการวิเคราะห์ทางสถิติของข้อมูลทุติยภูมิของพารามิเตอร์และคุณภาพน้ำในระหว่างปี พ.ศ. 2555-2559 จากกรมควบคุมมลพิษ พบว่า บริเวณแม่น้ำน่านตอนล่าง ค่าของพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญตามระยะทางและฤดูกาล ขณะที่ค่าดัชนีคุณภาพน้ำทั่วไป (WQI) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในสถานี่ต่าง ๆ กล่าวคือ สถานี่ NA07 จะมีแนวโน้มคุณภาพน้ำดีกว่าสถานี่ NA05, NA03 และ NA02 ตามลำดับ แม้ว่าคุณภาพน้ำของทั้ง 4 สถานี่ก็อยู่ในเกณฑ์เดียวกันก็ตาม (คุณภาพพอใช้) อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์ที่ควรเฝ้าระวังต่อการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ ได้แก่ บีโอดี แบคทีเรียโคลิฟอร์มทั้งหมด และแบคทีเรียฟีคัลโคลิฟอร์ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณท้ายแม่น้ำน่านตอนล่าง ทั้งนี้ บีโอดีมีความสัมพันธ์ระดับสูงกับพารามิเตอร์ความขุ่น ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย ขณะที่แบคทีเรียโคลิฟอร์มมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์ความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้น จึงสามารถเลือกตัวแทนพารามิเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กันเป็นตัวแทนในการบ่งชี้คุณภาพน้ำเบื้องต้น สำหรับเฝ้าระวังและป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำในอนาคตได้ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพื้นที่บริเวณลุ่มแม่น้ำน่านตอนล่างถูกนำมาใช้เพื่อการเกษตรเป็นสำคัญ ดังนั้น จึงควรศึกษาการปนเปื้อนของปุ๋ย สารเคมีและสารปราบศัตรูพืช รวมถึงอนุพันธ์ของสารเคมีดังกล่าวในแม่น้ำน่านตอนล่างเพิ่มเติม เพื่อเป็นการต่อยอดงานวิจัยนี้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลคุณภาพน้ำของแม่น้ำน่านตอนล่างในระหว่าง ปี พ.ศ. 2555-2559

6. เอกสารอ้างอิง

Abd-Elwahed, M.S. (2018). Influence of long-term wastewater irrigation on soil quality and its spatial distribution. *Annals of Agriculture Science*, 63, 191-199.

- Adimalla, N., & Qian, H. (2019). Groundwater quality evaluation using water quality index (WQI) for drinking purposes and human health risk (HHR) assessment in an agricultural region of Nanganur, south India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 176, 153-161.
- Auppaman, S. (2019). *Illegal dumping of industrial waste at Nong Nae sub-district, Phanom Sarakham district, Chachoengsao*. Waste and Hazardous Substance Management Bureau. www.pcd.go.th
- Carstens, D., & Amer, R. (2019). Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. *Journal of Hydrology*, 569, 720-734.
- Chen, W., & Liu, W. (2017). Investigating the fate and transport of fecal coliform contamination in a tidal estuarine system using a three-dimensional model. *Marine Pollution Bulletin*, 116, 365-384.
- Greenpeace. (2007). *Groundwater crisis from intensive fertilizer use in Thailand*. www.greenpeace.org/archive-thailand
- Gu, Q., Hu, H., Ma, L., Sheng, L., Yang, S., Zhang X., Zhang, M., Zheng, K., & Chen, L. (2019). Characterizing the spatial variation of the relationship between land use and surface water quality using self-organizing map approach. *Ecological Indicators*, 102, 633-643.
- Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department. (2018). *Practical guide for surface water quality monitoring*. www.pcd.go.th
- Inland Water Quality, Water Quality and Management, Pollution Control Department. (2013). *Water quality annual report 2012*. <http://infofile.pcd.go.th/mgt/WaterQuality.pdf>
- Kacar, A. (2011). Analysis of spatial and temporal variation in the level of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey. *Ecological Indicators*, 11, 1360-1365.
- Liang, W., & Yang, M. (2019). Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and System*, 21, 1-9.
- Liu, C., Lin, K., & Kuo, Y. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a Blackfoot Disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313, 77-89.
- Mainali, J., & Chang, H. (2018). Landscape and anthropogenic factors affecting spatial patterns of water quality trends in a large river basin, South Korea. *Journal of Hydrology*, 564, 26-40.
- Pitakwinai, P., Khanitchaidecha, W., & Nakaruk, A. (2019). Spatial and seasonal variation in surface water quality of Nan river, Thailand. *Naresuan University Engineering Journal*, 14, 1-6.
- Pollution Control Department. (2011). *Calculation of water quality index with 5 parameters*. Inland Water Quality Sub-Division, Water Quality Management Division. www.pcd.go.th
- Pollution Control Department. (2016). *Water Quality and Management annual report 2016*. <https://www.stkc.go.th/sites/default/files/ebook/1507797423.pdf>
- Pollution Control Department. (2019). *Secondary data of downstream of Nan River during 2012- 2016*. <https://www.pcd.go.th>
- Pollution Control Department. (2019). *Surface water quality*. www.pcd.go.th
- Sener, S., Sener, E., & Davraz A. (2017) Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of The Total Environment*, 584-585, 131-144.
- Soithong, P., Youngsai, P., & Wachirawongsakorn, P. (2013, December 19-20). *Quality aspects of domestic wastewater and Nan river in Phitsanulok*. The 7th Rambhai Barni Rejabhat University Research Conference, Buriram Rajabhat University, Thailand.
- Sonklin, W., & Photong, C. (2005). Water quality of Nan river flowing through agricultural and urban areas of Phitsanulok Province. *Naresuan University Journal*, 13, 37-44.
- Sun, W., Xia, C., Xu, M., Guo, J., & Sun, G. (2016). Application of modified water quality indices as indicators to assess the spatial and temporal trends of water quality in the Dongjiang River. *Ecological Indicators*, 66, 306-312.
- Wang, J., Fu, Z., Qiao, H., & Liu, F. (2019). Assessment of eutrophication and water quality in the estuarine area of Lake Wuli, Lake Taihu, China. *Science of The Total Environment*, 650, 1392-1402.
- Yang, X., Warren, R., He, Y., Ye, J., Li, Q., & Wang, G. (2018). Impacts of climate change on TN load and its control in a River Basin with complex pollution sources. *Science of The Total Environment*, 615, 115-1163.
- Yaqub, M., & Lee, W. (2019). Zero-liquid discharge (ZLD) technology for resource recovery from wastewater: A review. *Science of The Total Environment*, 681, 551-563.

การออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตขนมไทย Design of Production Planning Process for Thai Dessert Factory

กฤษดา พัวสกุล^{1*}, สิริวิชญ์ สว่างนพ², ธีรภัทร์ อนุภาพพันธุ์², จีรณา จันทร์สีขาว²
Kritsada Puasakul^{1*}, Siravit Swangnop², Teerapat Anuphabpan², Jeerana Junsikaw²

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
Rajamangala University of Technology Thanyaburi Patumthani

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering
King Monkut's University of Technology North Bangkok

*Corresponding author e-mail : kritsada.p2525@gmail.com

(Received : July 22, 2019, Revised: September 18, 2019, Accepted: November 12, 2019)

บทคัดย่อ

การผลิตขนมไทยเป็นที่ยอมรับว่ามีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนและมีข้อจำกัดจำนวนมาก กระบวนการผลิตมีลักษณะทั่วไปเป็นแบบผลิตตามงาน (job shop production) โรงงานตัวอย่างที่ผู้วิจัยเลือกเข้าไปศึกษาเป็นโรงงานที่ดำเนินกิจการด้านการผลิตขนมไทยมาแล้วกว่า 30 ปี มีผลิตภัณฑ์ขนมไทยที่ทำการผลิตมากกว่า 30 ชนิด โดยมีปัญหาหลักที่พบคือ ภายใต้อุปสรรคของระบบการผลิตที่ซับซ้อนดังกล่าวข้างต้น การวางแผนการผลิตจะอาศัยเพียงประสบการณ์ของผู้วางแผนเป็นหลัก ซึ่งส่งผลให้เวลาเสร็จงานของระบบค่อนข้างสูง มีผลต่อเนื่องให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตที่สอดคล้องกับลักษณะการดำเนินงานและข้อจำกัดหรือข้อกำหนดของโรงงานตัวอย่าง โดยกระบวนการที่ออกแบบนี้เป็น การผสมผสานและปรับปรุงยุคเพิ่มเติมของกฎการจ่ายงานหลายกฎด้วยกัน จากการทดลองนำเอากระบวนการวางแผนการผลิตและโปรแกรมสนับสนุนการวางแผนไปใช้กับข้อมูลจริงของโรงงานพบว่า สามารถช่วยให้เวลาเสร็จงานของระบบลดลงจากวิธีการของโรงงาน 113 นาที หรือคิดเป็น 12.18% และยังช่วยให้งานที่มีเวลาในการผลิตนาน สามารถเริ่มงานได้เร็วกว่าเดิม

คำสำคัญ : การวางแผนการผลิต, โรงงานผลิตขนมไทย, การผลิตแบบตามสั่ง, เวลาเสร็จงานของระบบ, การผลิตแบบตามงาน

Abstract

Thai dessert production process is recognized as a very complicated process which contains many constraints. Generally, this process is classified as a job shop production. The selected factory has operated for more than 30 years. Furthermore, over 30 types of Thai dessert are produced. The major problem found relates with a current production planning process which strongly relies on planner's experience. This planning method results in a relatively high makespan, which also causes a high production cost. The main objective of this research is to design a production planning process corresponding to a major characteristics and constraints of the selected factory. Moreover, this planning process is a combination and modification of many dispatching rules. To prove a performance of the designed production planning process, an experiment is conducted based on real demand data of the selected factory. A result of the experiment shows that the designed planning process can reduce a makespan by 113 minutes or 12.18% comparing with factory method. Additionally, this planning process can help long-processing time job to start earlier.

Keywords: Production planning, Thai dessert factory, Make to order, Makespan, Job shop production

1.บทนำ

การผลิตขนมไทย เช่น ขนมชั้น ขนมทองหยิบ ขนมปุยฝ้าย เป็นต้น ได้รับการยอมรับว่ามีกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากซับซ้อน มีข้อกำหนดที่ละเอียดอ่อน และประกอบด้วยขั้นตอนการผลิตที่ต่อเนื่องกันหลายขั้นตอน การวางแผนการผลิตและการดำเนินการผลิตให้เป็นไปตามแผนเป็นสิ่งท้าทายต่อโรงงานผู้ผลิตขนมไทยอย่างมาก

โรงงานที่ได้ทำการศึกษานี้เป็นโรงงานที่ดำเนินธุรกิจด้านการผลิตและจำหน่ายขนมไทย เป็นโรงงานที่ดำเนินธุรกิจด้านนี้มากกว่า 30 ปี มีผลิตภัณฑ์ขนมไทยที่ทำการผลิตมากกว่า 30 ชนิด โดยจะเป็นการผลิตตามคำสั่งซื้อ (Made-to-order) คือจะเริ่มผลิตเมื่อมีความต้องการเข้ามาและผลิตเท่ากับปริมาณความต้องการเท่านั้น ทั้งนี้การผลิตแบบตามคำสั่งซื้อมีความเหมาะสมกับโรงงานที่ทำการศึกษา สืบเนื่องมาจากบริบทในการดำเนินงาน ที่ลูกค้าของโรงงานไม่ใช่ลูกค้าขั้นสุดท้าย (end customer) แต่ลูกค้าที่สั่งผลิตขนมจะเป็นกลุ่มของร้านค้าปลีกที่ขายขนมไทยและร้านขายขนมไทยของโรงงานเอง ทำให้ภาระการเก็บสต็อกขนมจะถูกผลักไปให้กับร้านขายข้างต้นแทน ซึ่งร้านเหล่านี้จะต้องมีขนมพร้อมอยู่เสมอเวลาลูกค้ามีความต้องการที่จะซื้อ

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลพบว่า กระบวนการผลิตขนมไทยของโรงงานตัวอย่างมีลักษณะในการผลิตแบบตามงาน (job shop) ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการผลิต การจัดวางเครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิตของโรงงาน และสอดคล้องกับลักษณะสำคัญของการผลิตแบบตามงานคือ มีการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ร่วมกันของหลายผลิตภัณฑ์ และทิศทางในการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ระหว่างผลิตไม่จำเป็นต้องไปในทิศทางเดียวกัน (Arisha et al., 2001)

ในปัจจุบันโรงงานจะวางแผนการผลิตเป็นรายวันและใช้ประสบการณ์ของหัวหน้างานเป็นหลัก โดยกระบวนการวางแผนจะเริ่มขึ้นเมื่อมีความต้องการหรือคำสั่งซื้อเข้ามาสู่ระบบ ความต้องการเหล่านั้นจะถูกแปลงด้วยสูตรการผลิตเป็นปริมาณขององค์ประกอบ ตลอดจนผลิตภัณฑ์ขนมสำเร็จรูปที่ต้องทำการผลิต ลำดับการผลิตในแต่ละขั้นตอนในแต่ละเครื่องจักรและอุปกรณ์จะใช้ประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงานเป็นตัวกำหนด อีกทั้งเวลาในการเริ่มต้นผลิตจะเริ่มที่เวลาเดียวกันทุกวัน โดยไม่สนใจต่อภาระงานที่แตกต่างกัน ที่สำคัญ ยังไม่มีการติดตามข้อมูลผลลัพธ์ในการผลิต ทำให้ไม่ทราบถึงสถานะปัจจุบันของการผลิตว่าเป็นไปตามแผนหรือไม่ ทั้งยังไม่สามารถแก้ไขเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นได้อย่างทันท่วงที ส่งผลให้

เวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan) ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ผู้ผลิตคำนึงถึง มีค่าสูง

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการออกแบบกระบวนการในการวางแผนการผลิต (production planning process) ที่ให้ผลลัพธ์เป็นลำดับในการผลิตของผลิตภัณฑ์ขนมที่ต้องการ สอดคล้องกับข้อกำหนด (constraint) ของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อลดเวลาเสร็จงานของระบบ (makespan)

ในหัวข้อที่ 2 จะนำเสนอถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้อง ในหัวข้อที่ 3 จะอธิบายถึงปัญหาวิจัยโดยชัดเจน จากนั้นในหัวข้อที่ 4 จะนำเสนอแนวคิดในการออกแบบและขั้นตอนของกระบวนการวางแผนการผลิต ขั้นตอนที่ออกแบบนี้จะถูกนำไปทดสอบและสรุปผลการทดสอบในหัวข้อที่ 5 ส่วนหัวข้อที่ 6 จะเป็นการสรุปผลงานวิจัย ในหัวข้อที่ 7 และ 8 จะเป็นกิตติกรรมประกาศและเอกสารอ้างอิง

2.ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดตารางการผลิต

วิธีการหาคำตอบให้กับปัญหาการจัดตารางการผลิตสามารถแบ่งวิธีการหาคำตอบออกได้เป็น 2 วิธีการได้แก่ วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) และวิธีที่ให้คำตอบที่เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด หรือเรียกว่า วิธีการหาคำตอบแบบประมาณ (Approximate Method) (Chance, 1945; Graves, 1981)

1.วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method)

วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดจะแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ วิธีการแจงนับบริบูรณ์ วิธีการแจงนับโดยนัย และวิธีการกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

วิธีที่ 1 วิธีการแจงนับบริบูรณ์ (Complete Enumeration)

เป็นวิธีการหาคำตอบโดยทำการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้น วิธีการนี้จะเหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ต้องใช้เวลานานในการหาคำตอบ เนื่องจากจะมีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้มากขึ้นตามไปด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการจัดตารางการผลิตให้กับงานจำนวน 100 งาน แต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน จะมีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ 100! ซึ่งการค้นหาคำตอบที่ต้องการจากคำตอบทั้งหมดจะใช้เวลานานมาก

วิธีที่ 2 วิธีแจงนับโดยนัย (Implicit Enumeration) เป็นวิธีการหาคำตอบที่คล้ายกับวิธีการแจงนับบริบูรณ์ แต่วิธีการนี้

จะมีขั้นตอนการตัดทอนคำตอบออกไปบางส่วน ทำให้เซตของคำตอบที่จะต้องพิจารณามีขนาดเล็กลง ซึ่งจะทำให้วิธีการนี้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้รวดเร็วขึ้น ตัวอย่างของวิธีการแฉ่งนับโดยนัย เช่น โปรแกรมพลวัต (Dynamic Programming) วิธีการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound: B&B) เป็นต้น

วิธีที่ 3 วิธีการกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming) เป็นการจำลองปัญหาด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) และหาคำตอบโดยการใชโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ตัวอย่างของวิธีการนี้ ได้แก่ กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) กำหนดการแบบจำนวนเต็ม (Integer Programming) กำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming) และกำหนดการแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Programming) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาและคำตอบที่ต้องการ

2. วิธีการหาคำตอบแบบประมาณ (Approximate Method) ในกรณีที่มีปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เช่น มีจำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนงานเพิ่มมากขึ้น การใช้วิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดมักจะใช้เวลาในการหาคำตอบนานจนไม่สามารถรอคอยได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงได้มีการคิดวิธีที่สามารถหาคำตอบได้เร็วมากขึ้น เพื่อใช้กับปัญหาที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะ ซึ่งคำตอบที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด หรือในบางครั้งอาจจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเลยก็ได้ เราเรียกวิธีการดังกล่าวว่า วิธีการหาคำตอบแบบประมาณ วิธีการนี้จะเริ่มจากการกำหนดคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution) จากนั้นทำการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบและหยุดค้นหาภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เช่น จำนวนรอบในการค้นหา เวลาที่ใช้ในการค้นหา คุณภาพของคำตอบที่ต้องการ เป็นต้น วิธีการหาคำตอบแบบประมาณสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี ได้แก่ วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic) แต่ละวิธีมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 ฮิวริสติก (Heuristic) (Ruiz, 2015) เป็นวิธีการหาคำตอบที่ให้ค่าของคำตอบเข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด (optimum solution) โดยใช้เวลาในการคำนวณไม่นานนัก วิธีฮิวริสติกจะเป็นวิธีการที่ใช้เฉพาะกลุ่ม กล่าวคือ จะไม่สามารถนำวิธีการแก้ปัญหาที่ออกแบบสำหรับปัญหาในกลุ่มหนึ่ง ไปแก้ปัญหาในกลุ่มอื่นได้ เนื่องจากได้ออกแบบให้ใช้งานเฉพาะเรื่องเท่านั้น เช่น การใช้กฎ EDD (Earliest Due Date) กับระบบเครื่องจักรเดียว (Single Machine) จะทำให้ค่าความล่าช้าที่มากที่สุดมีค่าน้อยที่สุด (Minimize Maximum Tardiness) ถ้านำกฎนี้มาประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตที่แตกต่างออกไป ก็อาจจะไม่ได้ผลลัพธ์ในลักษณะเดียวกัน ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติก เช่น กฎ

การจ่ายงาน (Dispatching Rule) กฎการสุ่ม (Random Rule) เป็นต้น

วิธีที่ 2 เมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic) (Xhafa & Abraham, 2008) จะเป็นวิธีการหาคำตอบที่ใช้ได้ในวงกว้างมากกว่าวิธีการแบบฮิวริสติก นั่นคือ เราสามารถนำขั้นตอนการหาคำตอบของวิธีเมตาฮิวริสติกไปประยุกต์ใช้งานกับปัญหาลักษณะอื่นได้ วิธีเมตาฮิวริสติกจะมีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อนมากกว่าวิธีการฮิวริสติก หรืออาจเป็นการนำวิธีการแบบฮิวริสติกมาปรับปรุงต่อยอดเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีขึ้น ตัวอย่างของวิธีการเหล่านี้ เช่น วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search: LS) วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) วิธีการขั้นตอนเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีการ Particle swarm optimization และวิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu search) วิธีการแบบผสมผสาน (Hybrid method) เป็นต้น

2.1.2 การจัดตารางการผลิตแบบตามงาน (Job Shop)

ระบบการผลิตแบบตามงาน (Job Shop production system) เป็นระบบการผลิตที่ประกอบด้วยงานที่มีขั้นตอนการผลิตมากกว่า 1 ขั้นตอน มีเงื่อนไขก่อน-หลังในการทำงาน และมีจำนวนเครื่องจักรจำนวนหนึ่งที่นำมาใช้ในการผลิต แต่ทุกงานไม่จำเป็นต้องมีทิศทางเดียว และยอมให้จำนวนกลับมาทำที่เครื่องจักรเดิมได้ (Mellor, 1966) ซึ่งทำให้การจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบนี้จะมีความซับซ้อนมากขึ้น เครื่องมือที่สำคัญสำหรับการจัดตารางการผลิตในระบบนี้ ได้แก่ การเลือกเครื่องจักรที่เป็นคอขวด และการใช้ Disjunctive Graph โดยเครื่องมือเหล่านี้จะถูกนำมาผนวกใช้ในวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด และการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก โดยตัวชี้วัดที่นิยมใช้ในระบบการผลิตแบบนี้จะเป็นค่าเวลาปิดงาน (completion time) หรือเวลาเสร็จงานของระบบ (makespan) อย่างไรก็ตาม เรายังสามารถใช้ตัวชี้วัดอื่นๆ ในการวัดประสิทธิภาพของการจัดตารางการผลิตในระบบการผลิตแบบนี้ได้เช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้จัดการและบริบทในการดำเนินงานเป็นหลัก

ระบบการผลิตแบบตามงานจะแบ่งย่อยได้อีก 3 แบบคือ ระบบการผลิตตามงานแบบทั่วไป ระบบการผลิตตามงานแบบวนซ้ำ และระบบการผลิตตามงานแบบยืดหยุ่น โดยแต่ละแบบจะมีลักษณะที่สำคัญดังนี้

แบบที่ 1 ระบบการผลิตตามงานแบบทั่วไป (General Job Shop)

ระบบการผลิตตามงานแบบทั่วไปจะมีทิศทางไหลของงานได้หลายทิศทาง แต่จะไม่มีมารวนกลับมาทำงานซ้ำบนเครื่องจักรเดิม

แบบที่ 2 ระบบการผลิตตามงานแบบวนซ้ำ (Recirculating Job Shop)

ระบบการผลิตตามงานแบบวนซ้ำจะมีทิศทางการไหลของงานได้หลายทิศทาง แต่สามารถวนกลับมาทำการผลิตซ้ำบนเครื่องจักรเดิมได้

แบบที่ 3 ระบบการผลิตตามงานแบบยืดหยุ่น (Flexible Job Shop)

ระบบการผลิตตามงานแบบยืดหยุ่นในแต่ละขั้นตอนการผลิตจะมีเครื่องจักรที่ขนานกันได้หลายเครื่องและมีลักษณะการไหลได้หลายทิศทาง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดตารางการผลิต (production scheduling) เป็นปัญหาที่มีการศึกษาและประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในหลากหลายอุตสาหกรรม หลากหลายรูปแบบการผลิต พัทธราลัย (sangarun, 2002) ศึกษาการจัดตารางการผลิต กรณีศึกษาโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง (Job Shop) โดยใช้วิธีการแบบฮิวริสติก 7 วิธีคือ SPT (Shortest Processing Time), LPT (Longest Processing Time), WSPT (Weighted Shortest Processing Time), SDT (Smallest Ratio by Dividing Total Processing Time), LDT (Longest Ratio by Dividing Total Processing Time), SMT (Smallest Ratio by Multiplying Total Processing Time) และ LMT (Longest Ratio by Multiplying Total Processing Time) นำมาทดลองจัดตารางการผลิตกับข้อมูลการผลิตจริงของหน่วยงาน Press Shop ซึ่งมีเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วน 7 เครื่อง เพื่อจัดท่าระบบการจัดลำดับการผลิตชิ้นส่วนโลหะชิ้นรูป เพื่อส่งไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์คอมพิวเตอร์ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยวัดผลจาก 1. เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time), 2. เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Lateness), 3. ค่าเฉลี่ยของงานสาย (Mean Tardiness) และ 4. จำนวนงานที่สาย (Number of Tardy Jobs) พบว่าการจัดตารางการผลิตด้วยวิธีการฮิวริสติกแบบ LPT มีค่าประสิทธิภาพการจัดตารางการผลิตที่ดีที่สุด ขณะที่ ฉัตรชัย (ประจันตะเสน, 2003) ศึกษาการจัดตารางการผลิตสินค้าตามใบสั่งซื้อ (made to order, MTO) ในอุตสาหกรรมทอผ้า โดยในปัจจุบันการวางแผนการผลิตจะใช้ดุลยพินิจและประสบการณ์ของผู้วางแผนเป็นเกณฑ์ตัดสินใจในการวางแผนการผลิต วิธีการคือ ใช้การเรียงลำดับจากกำหนดส่งที่ใกล้ที่สุดไปยังกำหนดส่งที่ไกลที่สุด โดยไม่มีการนำเอาปัจจัยอื่น เช่น การตั้งเครื่อง (Set up), ปริมาณการผลิต เป็นต้น มาร่วมวิเคราะห์ในการจัดตารางการผลิต ผู้วิจัยจึงออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตในโรงงานทอผ้า เพื่อแก้ปัญหาการส่งมอบสินค้าไม่ทันตามกำหนดส่ง ที่

ครอบคลุมลักษณะของโรงงานตัวอย่าง ที่มีความต้องการสินค้าที่หลากหลาย ทั้งชนิดและปริมาณ ตลอดจนมีเวลาการตั้งค่าเครื่องจักรที่สูง โดยผู้วิจัยได้นำเอาทฤษฎีการจัดตารางการผลิตแบบนอนติเลย์ร่วมกับฮิวริสติกส์ ได้แก่ (Earliest Due Date First - EDD), (Shortest Processing Time - SPT), (Longest Processing Time - LPT), AVPRO, Slack (Slack Time) และ Slack/ TP (Smallest Ratio of Slack Time to Total Processing Time) มาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบโปรแกรม เพื่อลดเวลาในการจัดตารางการผลิตและตอบสนองความต้องการที่ไม่แน่นอน ระบบที่ออกแบบนี้สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าของโรงงานตัวอย่าง โดยวัดประสิทธิภาพของแผนการผลิตจากเวลาเฉลี่ยของงานที่อยู่ในระบบ (Mean Flow Time), เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Lateness), เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness), และจำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) ซึ่งผลการทดลองพบว่าการจัดตารางการผลิตแบบนอนติเลย์ โดยใช้เกณฑ์ (Earliest Due Date First - EDD) เหมาะสมกับโรงงานตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบกับ การจัดตารางการผลิตแบบเดิมพบว่า จำนวนงานล่าช้าโดยเฉลี่ยลดลง 75.92% นฤมล (tansuwannarat, 2548) ศึกษาการจัดตารางการผลิตอาหารสำเร็จรูป เพื่อเสนอแนะแนวทางในการวางแผนความต้องการวัสดุที่ใช้ในการผลิตให้เหมาะสม คณะผู้จัดทำได้เข้าไปศึกษาระบบการวางแผนและการสั่งซื้อ โดยใช้การศึกษาจากแผนการผลิตหลัก ใบรายการวัสดุ แล้วนำมาวิเคราะห์และวางแผนความต้องการวัสดุเพื่อจะได้ทราบปริมาณการสั่งซื้อ และ lead time ในการสั่งซื้อสินค้าแต่ละชนิด เพื่อให้สามารถผลิตได้ทันตามความต้องการจากการนำวิธีการวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) มาใช้ในกระบวนการผลิตส่งผลให้กระบวนการผลิตมีระบบมากขึ้น สามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการนำวิธีการวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP, Material requirement planning) ไปใช้ ทางผู้วิจัยจึงนำเอาโปรแกรม Microsoft Excel มาเป็นเครื่องมือในการช่วยวางแผนความต้องการวัสดุ (MRP) ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว และใช้งานง่ายมากยิ่งขึ้น ประกิต (Pattanacharoen, 1998) ศึกษาการวางแผนการผลิตโดยการจัดลำดับและจัดตารางการผลิต สำหรับโรงงานผลิตแม่พิมพ์เจาะ ด้วยกฎการจัดลำดับงานคือ (First in First out-FIFO), (Last in First out-LIFO), (Earliest Due Date First- EDD), (Shortest Processing Time-SPT), (Longest Processing Time-LPT) ผลการทดลองปรากฏว่า SPT ให้ผลการจัดตารางที่ดีที่สุด อีกตัวอย่างที่สำคัญในการประยุกต์ใช้วิธีการวางแผนและจัดตารางการผลิตกับสภาวะการทำงานจริงจะเห็นได้จากงานวิจัยของ ปัญจพร (Pairyai, 2006) ที่ศึกษาการจัดตารางการผลิตแบบท่า

ตามสั่งโดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบผสมผสานกับกรณีศึกษาโรงงานผลิตเฟือง โดยงานวิจัยนี้จะเลือกกฎที่เหมาะสมในการจัดตาราง 6 วิธีคือ EDD (Earliest Due Date), SPT (Shortest Processing Time), LPT (Longest Processing Time), AVPRO ที่จะเลือกงานที่เวลาการทำงานหารด้วยจำนวนเครื่องที่ใช้มีค่าน้อยที่สุด, Slack Time, Slack/TP (Smallest Ratio of Slack Time to Total Processing Time) โดยใช้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพคือ เวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan), เวลาการไหลของงานในระบบโดยเฉลี่ย (Mean Flow time), เวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Lateness), เวลาล่าช้าของงานที่สูงที่สุด (Max Tardiness), เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness), เวลารวมทั้งหมดของงานล่าช้าในระบบ (Total Tardiness), จำนวนงานล่าช้า (Number of Tardy Jobs) ผลการทดลองพบว่าวิธีฮิวริสติกที่เหมาะสมกับโรงงานตัวอย่างที่สุดคือ การจัดตารางแบบ EDD อันดับรองลงมาคือ การจัดตารางการผลิตแบบ LPT นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองการจัดตารางการผลิตโดยวิธีฮิวริสติกแบบผสมผสาน (Hybrid Heuristic) ซึ่งเป็นวิธีที่นำเอาการจัดตารางการผลิตแบบฮิวริสติกที่อันดับหนึ่งและสองมาให้คะแนน โดยสัดส่วนการให้คะแนนจะได้มาจากผลรวมของเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยผลการวัดสมรรถนะการผลิต ซึ่งสัดส่วนการให้คะแนนในครั้งนี้อยู่ที่ 70/30 หลังจากที่ได้วิธีฮิวริสติกแบบผสมผสานแล้ว นำมาจัดตารางการผลิตและวัดประสิทธิภาพใหม่ พบว่าการจัดตารางการผลิตแบบผสมผสานเป็นการจัดตารางที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด งานวิจัยของ Conway et al. (2003) และคณะ ถือได้ว่าเป็นพื้นฐานของการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rule) ในปัจจุบัน ข้อสรุปจากงานวิจัยนี้คือ SPT จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่งานอยู่ในระบบมีค่าน้อยที่สุดสำหรับระบบผลิตแบบเครื่องจักรเดียว นอกจากนั้นยังพบว่า ในกรณีระบบผลิตแบบตามงาน SPT ยังทำให้จำนวนงานที่ผลิตได้จากระบบมีค่ามากที่สุดอีกด้วย Haupt (1989) ศึกษาสมรรถนะของ 10 กฎการจ่ายงานภายใต้วิธีการกำหนดเวลาส่งมอบ 5 แบบที่แตกต่างกัน พบว่าเมื่อตั้งค่าของกำหนดส่งมอบไว้ที่ 6 เท่าหรือน้อยกว่าของเวลาดำเนินการทั้งหมด จะทำให้สมรรถนะของ SPT ดีมาก ในขณะที่กฎที่ให้ลำดับความสำคัญกับงานโดยพิจารณาจากกำหนดส่งมอบมีสมรรถนะที่ด้อยกว่า นอกจากนั้น FIFO มีสมรรถนะที่ด้อยกว่า SPT (shortest processing time), MST (minimum slack time) และ SCR (smallest critical ratio) ต่อมาในปี 1989 Baker (1974) ได้พัฒนาฮิวริสติก CEXSET ขึ้นมาจากกฎ SPT พื้นฐาน และพบว่ากฎนี้มีสมรรถนะที่ดีกว่า SPT ในระบบผลิตแบบตามงาน

จะเห็นว่า การนำเอากฎการจ่ายงาน (dispatching rule) ไปใช้งานกับอุตสาหกรรมใดๆ มีความจำเป็นที่จะต้องปรับประยุกต์ให้สอดคล้องกับบริบทในการดำเนินงานและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ผู้วางแผนต้องการ ในบางกรณีจะต้องมีการผสมผสานกฎการจ่ายงานหลายๆกฎเข้าด้วยกัน จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะนำเอากฎการจ่ายงานแต่ละกฎมาใช้แยกกัน แต่จะนำเอาผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในภายหลัง ที่สำคัญยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเอากฎการจ่ายงานหรือ scheduling heuristic มาประยุกต์ใช้กับโรงงานผลิตขนมไทย ที่มีกระบวนการทำงานที่ซับซ้อน และยังมีข้อกำหนดในการผลิตอีกจำนวนมาก จึงเป็นช่องว่างให้เกิงานวิจัยฉบับนี้

3.กรณีศึกษา

ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการวางแผนการผลิตและการจัดตารางการผลิต โดยใช้ประสบการณ์ของผู้ดูแลการบริหารการผลิต การวางแผนการผลิตจะใช้ยอดรวมการส่งมอบคุณค่าเป็นปริมาณสูตรที่ต้องผลิตแล้วบันทึกลงในแผนปริมาณการผลิตขนมไทยดังตารางที่ 1 และจะเริ่มผลิตตามกำหนดเวลาการผลิตขนมไทยของทุกวันที่มีการกำหนดไว้แล้วดังตารางที่ 2 โดยไม่มีการจัดลำดับการผลิตให้กับเครื่องจักรและไม่มีการติดตามว่าการผลิตเป็นไปตามแผนที่วางไว้หรือไม่ ซึ่งจากการจัดตารางการผลิตแบบนี้จึงเป็นปัญหาในปัจจุบันส่งผลให้ระยะเวลาทำงานเกินกว่าเวลาทำงานปกติ (regular working time) ต้องเปิดการทำงานในช่วงนอกเวลา (over time) อยู่เป็นประจำ ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น การกำหนดเวลาในการเริ่มงานดังกล่าว ยังส่งผลให้อุปกรณ์ที่มีภาระงานสูงสุด สามารถเริ่มงานได้ช้า ทำให้เวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan) มีค่าสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผนการสั่งผลิตขนมไทย

รายการ	ยอดการผลิต	หน่วย	น้ำหนัก	หน่วย
ลูกชุบ	1330	ชิ้น	7890	กรัม
ขนมบ้าบิ่น	510	ชิ้น	17	กก.
ขนมหม้อแกงใหญ่	78	ถาด	49280	กรัม
ขนมหม้อแกงถ้วยฟอยด์	166	ถ้วย		
ขนมหม้อแกงถ้วยถาดเล็ก	94	ถ้วย	31840	กรัม
ขนมหม้อแกงถ้วยถาดใหญ่	38	ถ้วย		
สังขยาฟักทอง	32	ลูก	32	ลูก

ตารางที่ 2 ตัวอย่างกำหนดการสั่งผลิตขนมไทย

กำหนดเวลาการผลิตขนมไทย (เริ่มผลิต-ผลิตเสร็จ) ของทุกวัน			
ผลิตภัณฑ์	ตีผสม	เริ่มผลิต	ผลิตเสร็จ
ขนมชั้นใบเตย	12.20.น.-13.10.น.	14.00.น.	19.00.น.
ขนมชั้นโรตซ์เบอร์รี่	-	-	-
ขนมชั้นดอกกุหลาบ	12.20.น.-13.20.น.	13.30.น.	17.30.น.
ขนมพายฝ้าย	12.20.น.-12.30.น.	12.40.น.	13.00.น.
ตัวตะโก้	12.30.น.	13.00.น.	17.00.น.
หน้าตะโก้	19.40.น.	20.00.น.	20.30.น.
ลูกชุบ	13.00.น.-13.30.น.	14.00.น.	18.00.น.

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้วิจัยและนำมาวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน ทำให้สามารถที่จะสรุปประเด็นปัญหาที่สำคัญได้ดังนี้

โรงงานผลิตขนมไทยยังขาดกระบวนการวางแผนการผลิตที่มีขั้นตอนในการวางแผนที่ชัดเจน มีความสอดคล้องกับข้อกำหนดของการผลิตขนมไทยซึ่งประกอบด้วย

□ ข้อกำหนดด้านวัตถุดิบ เช่น ขนมไทยบางชนิดต้องใช้กะทิสดเท่านั้น ห้ามใช้กะทิพาสเจอร์ไรซ์ ทำให้ขนมกลุ่มนี้ต้องเริ่มทำหลังจากเตรียมกะทิสดเสร็จแล้ว

□ ข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมไทยที่มีลักษณะเป็นขนมน้ำและมีส่วนผสมของกะทิ จะมีอายุการเก็บเมื่อเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่สั้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มนี้จะเริ่มการผลิตในช่วงเย็นเท่านั้นหรือประมาณ 18.00.น. เป็นต้นไป ข้อกำหนดที่สำคัญอีกอันหนึ่งคือ การที่ขนมทุกชนิด เมื่อเริ่มทำการผลิตแล้วจะต้องผลิตจนเสร็จเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ห้ามไม่ให้มีการแทรกการผลิต (non-preemption schedule) (Artigues et al., 2008) เป็นต้น

□ ข้อกำหนดด้านกระบวนการผลิต เช่น กระบวนการผลิตจะมีลำดับการผลิตที่ชัดเจน (precedence constraint) และแตกต่างกันไปตามแต่ละผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต เป็นต้น

จากการไม่มีกระบวนการวางแผนการผลิตที่ชัดเจนดังกล่าว ส่งผลให้ต้นทุนค่าแรงงานในการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องมาจากการที่โรงงานต้องเปิดทำการผลิตนอกเวลาปกติ (overtime) อยู่เสมอๆ อีกทั้งการที่โรงงานมีกำหนดเวลาเริ่มต้นการทำงานที่เท่ากันทุกวันและทุกเครื่องจักรอุปกรณ์ ทำให้เครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีภาระงานสูงเริ่มงานได้ช้า และมีเวลาเสร็จงานที่ช้าตามไปด้วย ที่สำคัญ เมื่อไม่มีการวางแผนจัดตารางการผลิต ทำให้พบว่า มีเวลาว่างงาน (idle time) เกิดขึ้นอยู่เสมอระหว่างวัน อันมีสาเหตุมาจากการรองานที่ค้างอยู่ในขั้นตอนก่อนหน้า

ตัวอย่างของตารางการผลิตในปัจจุบันแสดงดังรูปที่ 1 – 3

รายการ	12.00-13.00น.				13.00-14.00น.			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ขนมชั้นใบเตย								
ขนมชั้นโรตซ์เบอร์รี่								
ขนมชั้นดอกกุหลาบ								
ขนมพายฝ้าย								
ตัวตะโก้								
หน้าตะโก้								
ลูกชุบ								

รูปที่ 1 ตารางการผลิตในปัจจุบันส่วนที่ 1

รายการ	18.00-19.00น.				19.00-20.00น.				20.00-21.00น.				21.00-22.00น.			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ขนมชั้นใบเตย																
ขนมชั้นโรตซ์เบอร์รี่																
ขนมชั้นดอกกุหลาบ																
ขนมพายฝ้าย																
ตัวตะโก้																
หน้าตะโก้																
ลูกชุบ																

รูปที่ 2 ตารางการผลิตในปัจจุบันส่วนที่ 2

รายการ	22.00-23.00น.				23.00-00.00น.				00.00-01.00น.				01.00-02.00น.			
	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
ขนมชั้นใบเตย																
ขนมชั้นโรตซ์เบอร์รี่																
ขนมชั้นดอกกุหลาบ																
ขนมพายฝ้าย																
ตัวตะโก้																
หน้าตะโก้																
ลูกชุบ																

รูปที่ 3 ตารางการผลิตในปัจจุบันส่วนที่ 3

รูปที่ 1 – 3 ตัวอย่างแผนภูมิแกนต์แสดงตารางการผลิตรายวันของโรงงานที่ทำการศึกษา (แสดงเพียงงานบางส่วน ของงานที่ต้องทำทั้งหมด) โดยในแนว row จะแสดงถึงขั้นตอนการผลิต ส่วนในแนว column จะแสดงถึงช่วงเวลาในการผลิต จากรูปจะเห็นว่าตารางการผลิตแบบปัจจุบัน ก่อให้เกิดเวลาเริ่มงานที่ล่าช้าเนื่องจากขั้นตอนก่อนหน้า ช่องว่างในการจัดตารางการผลิต (วงกลมสีแดง) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องจักรไม่มีการทำงานและยังแสดงถึงเวลาที่งานอยู่ในระบบ เวลาปิดงาน เวลาที่งานเสร็จล่าช้า และยังแสดงให้เห็นถึงเครื่องจักรที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดหรือเป็นจุดวิกฤตของระบบได้อีกด้วย

ทั้งนี้จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารของโรงงานทำให้ทราบว่า ประเด็นสำคัญที่ทางโรงงานคำนึงถึงในการผลิตคือ เวลาที่ใช้ในการผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อทั้งหมดจนเสร็จวันต่อวัน ซึ่งก็คือเวลาเสร็จงานของระบบ (makespan)

4.การออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิต

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอถึงการออกแบบกระบวนการในการวางแผนการผลิตที่สอดคล้องกับปัญหาดังอธิบายแล้วข้างต้น โดยเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนที่ 1 แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิต และส่วนที่ 2 ขั้นตอนการวางแผนการผลิต

4.1 แนวคิดที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิต

แนวคิดที่ 1 การแบ่งงานออกเป็นกลุ่ม แนวคิดนี้จะทำการแบ่งย่อยงานการผลิตจากคำสั่งซื้อทั้งหมดออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้เวลาในการผลิต (processing time) ของแต่ละคำสั่งซื้อเป็นเกณฑ์ในการแบ่ง

□ **กลุ่มที่ 1 งานพิเศษ** เกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 เป็นงานที่ระยะเวลาทำงานรวมของทุกขั้นตอนเกินเวลาทำงานปกติ (480 นาที หรือ 8 ชั่วโมง) จัดเป็นงานพิเศษ เนื่องจากเป็นงานที่มีระยะเวลาการผลิตที่นาน หากไม่นำมาจัดลงแผนการผลิตก่อน จะยิ่งทำให้เวลาปิดงานล่าช้ากว่าเดิม กรณีที่ 2 พิจารณาจากอุปกรณ์ที่มีการใช้งานมากที่สุด จากนั้นพิจารณางานทั้งหมดที่ต้องเข้าสู่อุปกรณ์นี้ เลือกงานที่มีเวลาก่อนหน้าที่จะถึงอุปกรณ์นี้น้อยที่สุด จัดเป็นงานในกรณีพิเศษเช่นกัน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้งานมาก จึงนำมาจัดลงในแผนการผลิตก่อน เพื่อให้อุปกรณ์ที่มีการใช้งานมากนี้เริ่มงานได้เร็วที่สุด งานพิเศษทั้ง 2 กรณีนี้เป็นงานที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก

□ **กลุ่มที่ 2 งานปกติ** เป็นงานอื่นที่นอกเหนือจากเงื่อนไขของการเป็นงานพิเศษ งานในกลุ่มนี้จะได้รับการจัดลำดับการผลิตเป็นลำดับถัดจากงานพิเศษ

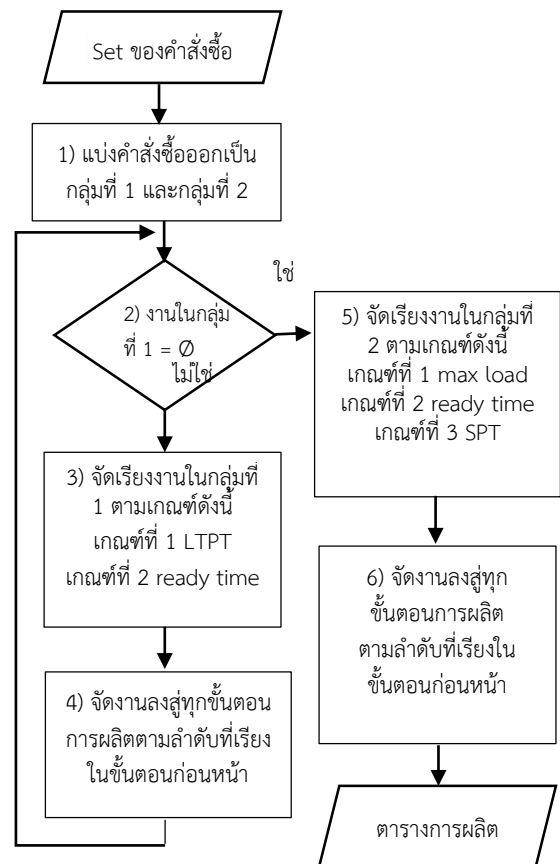
แนวคิดที่ 2 เวลาที่เริ่มงานได้ ผลผลิตภัณฑ์ขนมไทยบางชนิดจะมีข้อจำกัดทั้งเรื่องวัตถุดิบและอายุของผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่สามารถเริ่มผลิตได้ตามเวลาที่ต้องการ แต่จะเริ่มผลิตได้ตามเวลาที่กำหนดเท่านั้น เช่น สาคุเปียกข้าวโพด ขนมชั้นใบเตย และขนมชั้นกุหลาบ เป็นต้น ดังนั้นการวางแผนการผลิตจะคำนึงถึงเวลาพร้อมสำหรับการผลิตด้วย

แนวคิดที่ 3 การนำเอากฎการจ่ายงาน (dispatching rule) มาประยุกต์ใช้ ในการออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิต ผู้ออกแบบได้นำเอากฎการจ่ายงานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาประยุกต์ใช้ในแต่ละขั้นตอนตามความเหมาะสมกับบริบทในการตัดสินใจ ณ ขณะนั้น ประกอบด้วย กฎการจ่ายงานแบบ LPT กฎการจ่ายงานแบบ SPT กฎการจ่ายงานที่ดูจากเวลา ready time กฎการจ่ายงานแบบ LTPT

4.2 ขั้นตอนการวางแผนการผลิต

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเอาแนวคิดในการวางแผนการผลิตมาใช้ในการออกแบบเป็นขั้นตอนการวางแผนการผลิต

ผลิต โดยจะนำเสนอทั้งในรูปแบบของ process flow และคำอธิบาย



รูปที่ 4 ขั้นตอนในการวางแผนการผลิต

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่ากระบวนการวางแผนการผลิตประกอบด้วยขั้นตอนหลักจำนวน 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ในขั้นตอนนี้คำสั่งซื้อที่เข้าสู่ระบบจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 งานพิเศษ และกลุ่มที่ 2 งานปกติ

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบว่ามีงานในกลุ่มที่ 1 หรือไม่ ถ้ามีให้ไปยังขั้นตอนที่ 3 ถ้าไม่มีให้ไปยังขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 3 จัดเรียงงานในกลุ่มที่ 1 ด้วยกฎการจ่ายงานแบบ longest total processing time (LTPT) คือ จัดตามลำดับของเวลาในการผลิตรวม (total processing time) จากมากไปหาน้อย ถ้ามีงานที่มีเวลาในการผลิตรวมเท่ากัน ให้เรียงลำดับจากงานที่มีความพร้อมในการทำงานก่อน คือเรียงจาก ready time จากน้อยไปมาก

ขั้นตอนที่ 4 จัดงานในกลุ่มที่ 1 ลงสู่ทุกขั้นตอนการผลิตตามลำดับที่จัดเรียงในขั้นตอนที่ 3 โดยในการจัดงานลงสู่ขั้นตอนการผลิตนี้ จะต้องเป็นไปตามลำดับของขั้นตอนการผลิต (precedence constraint) ของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อจัดงานในกลุ่มที่ 1 ลงสู่ขั้นตอนการผลิตจนครบทุกงานและครบทุกขั้นตอนการผลิตแล้ว ลำดับถัดมาจะ

เป็นการจัดลำดับการผลิตให้กับงานในกลุ่มที่ 2 โดยจัดเรียงงานในกลุ่มที่ 2 ตามเกณฑ์ดังนี้

□ เกณฑ์ที่ 1 Maximum load ขึ้นแรกให้เริ่มจัดงานบนเครื่องจักรที่คาดว่าจะมีการะงานสูงที่สุดก่อน จากนั้นไล่จัดให้กับเครื่องจักรที่มีการะงานในลำดับรองลงมาต่อไปจนครบทุกเครื่องจักร

□ เกณฑ์ที่ 2 เวลาที่พร้อมในการผลิต (ready time) บนเครื่องจักรที่มีการะงานสูงสุดที่พิจารณาอยู่ ณ.ขณะนั้น คัดเลือกงานที่มีความพร้อมในการผลิต หากงานไหนที่ยังไม่พร้อมที่จะทำการผลิตจะยังไม่พิจารณา

□ เกณฑ์ที่ 3 Shortest processing time (SPT) เมื่อผ่านเกณฑ์ที่ 2 มาแล้ว หากยังมีงานที่มีลำดับเดียวกันอยู่คือ มีเวลาในการผลิตเท่ากันและมีเวลาพร้อมสำหรับเริ่มการผลิตเท่ากันอีกด้วย จะจัดลำดับของงานเหล่านั้นด้วยเวลาที่ใช้ในการผลิตขั้นตอนแรกเท่านั้น โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

ทั้งนี้ในส่วนของเกณฑ์ที่ 3 ที่นำมาใช้นั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองความเหมาะสมของกฎการจ่ายงานที่จะนำมาใช้ ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกกฎการจ่ายงานแบบ shortest processing time (SPT) และ แบบ longest processing time (LPT) มาเปรียบเทียบกัน เหตุที่เลือกกฎการจ่ายงานทั้งสองนี้ก็เพราะ กฎทั้งสองจะพิจารณาจากเวลาในการผลิต (processing time) เท่านั้น โดยไม่คำนึงถึงเวลาในการส่งมอบ (due date) ซึ่งทุกงานถูกกำหนดว่า จะต้องเสร็จภายใน 1 วันเท่านั้นหมดอยู่แล้ว

การทดลองเพื่อหากฎการจ่ายงานที่เหมาะสมโดยใช้ข้อมูลยอดการผลิตของวันที่ 26 สิงหาคม 2561 เนื่องจากข้อมูลยอดการผลิตในทุกๆวันจะมียอดการผลิตใกล้เคียงกัน จึงสามารถนำเอาข้อมูลของวันที่ 26 มาเป็นข้อมูลต้นแบบในการทดลองได้จากผลการทดลองพบว่า วิธีการจัดแผนการผลิตแบบ SPT จะสามารถลดเวลาเสร็จงานของระบบได้มากกว่าวิธีการจัดแผนการผลิตแบบ LPT ดังผลลัพธ์ในตารางที่ 3

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการ SPT มาประยุกต์ใช้ในระบบการวางแผนการผลิตที่ออกแบบ

ตารางที่ 3 ผลการทดลองกฎการจ่ายงานระหว่าง SPT และ LPT

เวลา	กฎการจ่ายงาน	
	SPT	LPT
เวลาเริ่มงาน	10.00.น.	10.00.น.
เวลาเสร็จงาน	23.34.น.	1.08.น.(วันถัดไป)
Total	815 นาที	909 นาที

ขั้นตอนที่ 6 จัดงานในกลุ่มที่ 2 ลงสู่ทุกขั้นตอนการผลิตตามลำดับที่จัดเรียงในขั้นตอนที่ 5 จนครบทุกงาน โดยในการจัดงานลงสู่ขั้นตอนการผลิตนี้ จะต้องเป็นไปตามลำดับของ

ขั้นตอนการผลิต (precedence constraint) ของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา

4.3 กรณีศึกษาตัวอย่าง

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเอากระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบดังอธิบายข้างต้น มาประยุกต์ใช้กับโจทย์การวางแผนการผลิตอย่างง่าย โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจในขั้นตอนการวางแผนแต่ละขั้นตอนมากยิ่งขึ้น

ความต้องการในการผลิตแสดงดังตารางที่ 4 และ 5 จะเห็นว่า มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องทำการผลิตอยู่ 6 ชนิด คือ A, B, C, D, E และ F แต่ละผลิตภัณฑ์จะมีขั้นตอนการผลิต 2 ขั้นตอนคือ การเตรียมส่วนผสมกับขั้นตอนที่ 2 ซึ่งจะแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ ยกเว้นเพียงผลิตภัณฑ์ F เท่านั้นที่จะต้องผ่านขั้นตอนที่ 3 ด้วย

ตารางที่ 4 ข้อมูลความต้องการในการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอนที่ 1	นาที	ขั้นตอนที่ 2	นาที
A	เตรียมส่วนผสม	100	อุปกรณ์ 1	250
B	เตรียมส่วนผสม	130	อุปกรณ์ 1	150
C	เตรียมส่วนผสม	150	อุปกรณ์ 2	350
D	เตรียมส่วนผสม	160	อุปกรณ์ 2	100
E	เตรียมส่วนผสม	130	อุปกรณ์ 3	250
F	เตรียมส่วนผสม	100	อุปกรณ์ 3	100

ตารางที่ 5 ข้อมูลความต้องการในการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอนที่ 3	นาที	เวลาการผลิตรวม (นาที)
A	-	-	350
B	-	-	280
C	-	-	500
D	-	-	260
E	-	-	380
F	อุปกรณ์ 1	100	300

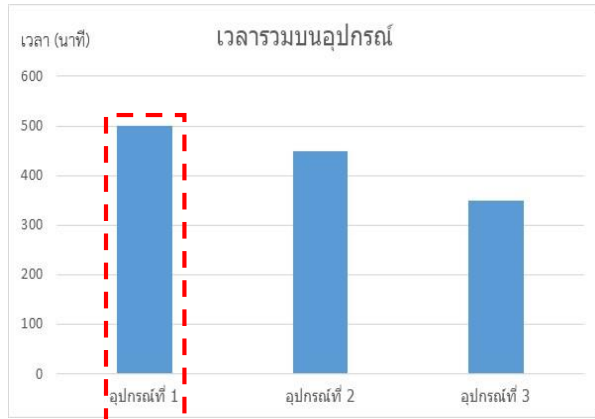
หมายเหตุ : ข้อมูลเวลาการผลิตรวม (นาที) ตามตาราง เป็นข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของพนักงานมาตลอดช่วงระยะเวลาหลายเดือน และผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 1 แบ่งผลิตภัณฑ์ตามเวลารวมที่ใช้ในการผลิตออกเป็น 2 กลุ่ม โดยการแบ่งกลุ่มจะมีได้ 2 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 จากตารางที่ 5 จะเห็นว่า มีเพียงผลิตภัณฑ์ C ที่ใช้เวลารวมในการผลิตมากกว่า 480 นาที (ช่วงเวลาดำเนินการปกติ) ทำให้ผลิตภัณฑ์ C จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 งานพิเศษ

กรณีที่ 2 จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า อุปกรณ์ที่ 1 มีการะงานการผลิตสูงที่สุด 500 นาที (250 + 150 + 100 นาที) ต่อมาพิจารณารางที่ 6 พบว่า งานการผลิตผลิตภัณฑ์ A มีเวลา

ก่อนหน้าอุปกรณ์ที่ 1 น้อยที่สุด คือสามารถเข้าทำงานบนอุปกรณ์ที่ 1 ได้รวดเร็วที่สุด ทำให้สรุปได้ว่า ในกรณีนี้ 2 นี้ผลิตภัณฑ์ A จะถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 งานพิเศษ



รูปที่ 5 ภาระในการผลิตรวมแยกตามอุปกรณ์

ตารางที่ 6 เวลาของหน้าของแต่ละอุปกรณ์

ผลิตภัณฑ์	เวลาก่อนหน้าอุปกรณ์ที่ 1	เวลาก่อนหน้าอุปกรณ์ที่ 2	เวลาก่อนหน้าอุปกรณ์ที่ 3
A	100		
B	130		
C		150	
D		160	
E			130
F	100+100 = 200		100

เพราะฉะนั้น ในขั้นตอนที่ 1 จะสามารถแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ผลิตภัณฑ์ A และ C

กลุ่มที่ 2 ผลิตภัณฑ์ B, D, E และ F

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบแล้วพบว่า มีงานในกลุ่มที่ 1 จำนวน 2 งานคือ ผลิตภัณฑ์ A และ C เพราะฉะนั้น ไปยังขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 จัดเรียงงานตามลำดับ LTPT โดยการผลิตผลิตภัณฑ์ C มีค่าเวลาในการผลิตรวมมากกว่าจึงอยู่ในลำดับก่อนหน้าผลิตภัณฑ์ A ลำดับในการจัดงานลงสู่สายการผลิตจึงเป็น A – C

ขั้นตอนที่ 4 จัดงานลงสู่สายการผลิตตามลำดับในขั้นตอนที่ 3 โดยเริ่มต้นการทำงานที่เวลา 12.00.น.ซึ่งจะได้แผนการผลิตดังตารางที่ 7-8

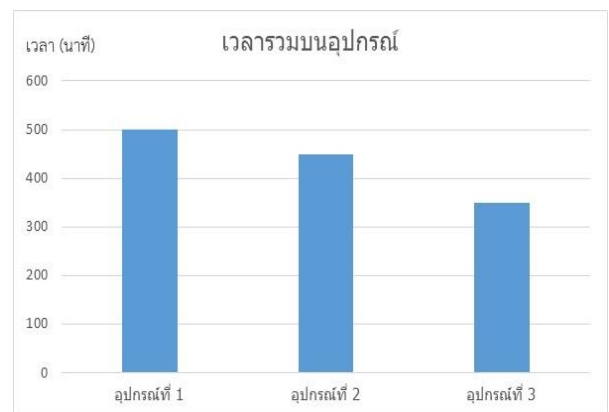
ตารางที่ 7 การจัดวางแผนงานในกลุ่มที่ 1 ลงสู่แผนการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอน	เริ่ม	เสร็จสิ้น
A	เตรียมส่วนผสม	12.00.น.	13.40.น.
C	เตรียมส่วนผสม	12.00.น.	14.30.น.

ตารางที่ 7 การจัดวางแผนงานในกลุ่มที่ 1 ลงสู่แผนการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอน	เริ่ม	เสร็จสิ้น
A	อุปกรณ์ 1	13.40.น.	17.50.น.
C	อุปกรณ์ 2	14.30.น.	20.20.น.

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อจัดงานในกลุ่มที่ 1 จนครบแล้ว จะเริ่มต้นการจัดงานในกลุ่มที่ 2 ลงสู่แผนการผลิต โดยจะมีลำดับในการผลิตต่อจากงานในกลุ่มที่ 1 โดยจะเลือกทำการจัดงานให้กับเครื่องจักรที่มีภาระงานมากที่สุดก่อน (max load) ซึ่งจากรูปที่ 6 จะเห็นว่า อุปกรณ์ที่ 1 มีภาระงานสูงที่สุดคือ 500 นาฬิกา เพราะฉะนั้นเลือกอุปกรณ์ที่ 1 มาจัดลำดับงานก่อน



รูปที่ 6 ภาระงานบนอุปกรณ์การผลิตแต่ละอัน

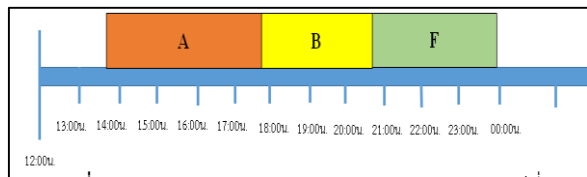
บนอุปกรณ์ที่ 1 มีงานที่รอจะผลิตอยู่ 2 งานคือ ผลิตภัณฑ์ B กับ F ซึ่งทั้งสองผลิตภัณฑ์มีค่าเวลาก่อนหน้าหรือ ready time และค่าเวลาที่ใช้ในการผลิต (processing time) ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 แสดง ready time และ processing time ของผลิตภัณฑ์ B และ F

ผลิตภัณฑ์	Ready time (นาท.)	Processing time (นาท.)
B	130 (14:10)	150
F	200 (15:20)	200

จากตารางที่ 9 จะพบว่า ทั้งสองผลิตภัณฑ์มีความพร้อมในการผลิตด้วยกันทั้งคู่ (อุปกรณ์ 1 เริ่มได้เร็วที่สุด 17:50 ดังนั้นทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์สามารถเริ่มได้ทันทีเมื่องาน A เสร็จ) จึงเลือกลำดับของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตก่อนด้วยกฎการจ่ายงานแบบ SPT จะได้ว่า ผลิตภัณฑ์ B มีเวลาในการผลิตที่น้อยกว่า จึงถูกจัดให้

ผลิตก่อนผลิตภัณฑ์ F ซึ่งสามารถสรุปเป็น Gantt's chart ได้ดังรูปที่ 7 และตารางที่ 10



รูปที่ 7 Gantt's chart แสดงลำดับการทำงานบนอุปกรณ์ที่ 1

ตารางที่ 9 ลำดับการผลิตบนอุปกรณ์ที่ 1

ผลิตภัณฑ์	เริ่ม	เวลาการผลิต	เสร็จสิ้น
A	13.40.น.	250	17.50.น.
B	17.50.น.	150	20.20.น.
F	20.20.น.	200	23.40.น.

ขั้นตอนที่ 6 จัดงานที่เหลือในกลุ่มที่ 2 ลงสู่ตารางแผนการผลิตจนครบทุกงาน

ซึ่งจากการจัดลำดับตามขั้นตอนข้างต้นให้ครบทุกเครื่องจักรทุกงานจะได้แผนการผลิตดังตารางที่ 11-13

ตารางที่ 10 แผนการผลิตตาราง 1

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอนที่ 1	เริ่ม	เสร็จสิ้น
A	เตรียมส่วนผสม	12.00.น.	13.40.น.
B	เตรียมส่วนผสม	15.40.น.	17.50.น.
C	เตรียมส่วนผสม	12.00.น.	14.30.น.
D	เตรียมส่วนผสม	18.10.น.	20.20.น.
E	เตรียมส่วนผสม	12.00.น.	14.10.น.
F	เตรียมส่วนผสม	17.00.น.	18.40.น.

ตารางที่ 11 แผนการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอนที่ 2	เริ่ม	เสร็จสิ้น
A	อุปกรณ์ 1	13.40.น.	17.50.น.
B	อุปกรณ์ 1	17.50.น.	20.20.น.
C	อุปกรณ์ 2	14.30.น.	20.20.น.
D	อุปกรณ์ 2	20.20.น.	22.00.น.
E	อุปกรณ์ 3	14.10.น.	18.20.น.
F	อุปกรณ์ 3	18.40.น.	20.20.น.

ตารางที่ 12 แผนการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ขั้นตอนที่ 3	เริ่ม	เสร็จสิ้น
A	-	-	-
B	-	-	-
C	-	-	-
D	-	-	-
E	-	-	-
F	อุปกรณ์ 1	20.20.น.	23.40.น.

5. การทดสอบกระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบเทียบกับวิธีของโรงงาน

การประเมินผลจะใช้ข้อมูลการผลิตขนมไทยของวันที่ 26 สิงหาคม 2561 มาทำการวางแผนการผลิต และเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบกับวิธีการปฏิบัติงานในปัจจุบันของโรงงาน โดยมีตัวชี้วัดคือ เวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan)

จากตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่าเวลาเสร็จงานของระบบลดลงจากวิธีการของโรงงาน 113 นาที หรือคิดเป็น 12.18% ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบกับวิธีการของโรงงานในประเด็นอื่นๆ เพื่อให้เห็นความแตกต่างของการวางแผนการผลิตได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นดังนี้

1. ด้วยวิธีการของโรงงาน อุปกรณ์ที่มีภาระงานมากที่สุดจากการวางแผนการผลิตจะไม่สามารถเริ่มงานตอน 12:00 น. ทำให้เวลาเสร็จงานของระบบยืดออกไป แต่วิธีการที่ผู้วิจัยออกแบบนั้น จะทำให้อุปกรณ์ที่มีภาระงานมากที่สุดสามารถเริ่มงานตอน 12:00 น.ได้ ส่งผลให้เวลาเสร็จงานของระบบสั้นลง

2. วิธีการวางแผนการผลิตที่ออกแบบจะผลักดันให้งานดำเนินการต่อเนื่องกัน จนมีผลให้เวลาว่าง (idle time) ลดลง ส่งผลโดยตรงให้เวลาเสร็จงานของระบบลดลงตามไปด้วย ต่างกับวิธีการของโรงงานที่ก่อให้เกิดเวลาว่างงานขึ้นจำนวนมาก

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากวิธีการของโรงงานกับวิธีการที่ผู้วิจัยทำการออกแบบ

การผลิตขนมไทย ในวันที่ 26 สิงหาคม 2561	
วิธีการวางแผนการผลิต	เวลาเสร็จงานของระบบ (นาที)
วิธีการของโรงงาน	928
วิธีการที่ออกแบบ	815
ผลต่างเวลาเสร็จงานของระบบ	113

ทั้งนี้ด้วยความที่ลูกค้าของโรงงานเป็นร้านขายปลีกและร้านค้าของโรงงานเองคงอธิบายแล้วข้างต้น ส่งผลให้โรงงานสามารถที่จะมีกระบวนการในการจัดการ เพื่อให้ปริมาณความต้องการขนมในแต่ละวันค่อนข้างจะคงที่ได้ ดังนั้นทั้งรูปแบบและปริมาณโดยรวมของความต้องการในแต่ละวันจึงค่อนข้างคงที่ โจทย์ปัญหาที่นำมาทดลองจึงเป็นเสมือนตัวแทนของความต้องการที่เข้ามาในทุกๆวันของโรงงาน

6. สรุปผลการวิจัย

กระบวนการผลิตขนมไทยเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน มีข้อกำหนดทั้งด้านวัตถุดิบ ด้านผลิตภัณฑ์ และด้านกระบวนการผลิตที่หลากหลาย การวางแผนการผลิตด้วย

ประสบการณ์ของพนักงานผู้คุมงานเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถสนองต่อความซับซ้อนและยุ่งยากที่วุ่นวายได้

การออกแบบกระบวนการวางแผนการผลิตสำหรับโรงงานผลิตขนมไทย มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการบริหารงาน ทราบลำดับในการผลิตบนแต่ละอุปกรณ์ และมีเวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan) ลดลง โดยกระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบนี้ประกอบด้วยขั้นตอนหลักจำนวน 6 ขั้นตอนด้วยกัน ซึ่งแต่ละขั้นตอนก็จะมีรายละเอียดดังได้อธิบายไปแล้วข้างต้น

จากการทดสอบกับข้อมูลความต้องการในการผลิตวันที่ 26 สิงหาคม 2561 พบว่า กระบวนการวางแผนการผลิตที่ออกแบบนั้น เมื่อเทียบกับแผนการผลิตจากวิธีการของโรงงาน สามารถช่วยให้เวลาเสร็จงานของระบบ (Makespan) ลดลงจาก 928 นาที เป็น 815 นาที ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 12.18

แนวทางการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปสามารถแยกได้เป็น 2 แนวทางคือ 1.การพัฒนาตัวแบบในการตัดสินใจจัดลำดับงานในแต่ละวันให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยอาจนำเอาแนวคิดของ meta-heuristic มาประยุกต์ใช้ และ 2.การนำเอากระบวนการวางแผนที่ออกแบบนี้ มาพัฒนาเป็นโปรแกรมที่มี user interface ที่ช่วยให้ผู้วางแผนการผลิตสามารถใช้งานได้ง่ายสะดวกมากยิ่งขึ้น

7.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัย จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ ENG-NEW-59-05

8.เอกสารอ้างอิง

- Arisha, A., Young, P., & Baradie, E. M. (2001). *Job Shop Scheduling Problem: an Overview*. Technological University Dublin. <https://arrow.tudublin.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=buschmarcon>
- Baker, K. R. (1974). *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons.
- Chance, M. R. A. (1945). HEURISTIC METHOD IN RESEARCH. *The Lancet*, 245(6357), 828-830. doi:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(45\)91921-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(45)91921-0)
- Artigues, C., Demasse, S., & Néron, E. (2008). *Resource-Constrained Project Scheduling : Models, Algorithms, Extensions and Applications*. wiley.
- Conway, R. W., Maxwell, W. L., & Miller, L. (2003). *Theory of Scheduling*. Addison-Wesley.
- Khafa, F., Abraham, A. (2008). *Metaheuristics for Scheduling in Industrial and Manufacturing Applications*. Springer Berlin Heidelberg.

- Graves, S. C. (1981). *A Review of Production Scheduling*. Operations Research, 29(4), 646-675.
- Haupt, R. J. O. -R. -S. (1989). A survey of priority rule-based scheduling. 11(1), 3-16. <https://doi.org/10.1007/bf01721162>
- Mellor, P. (1966). A Review of Job Shop Scheduling. *OR*, 17(2), 161-171. <https://doi.org/doi:10.2307/3007281>
- Pairyai, P. (2006). *Hybrid heuristic method scheduling for Job shop productions A case study : Gear factory* [Master's thesis]. King Mongkut's institute of technology north bangkok.
- Pattanacharoen, P. (1998). *Production planning by sequencing and scheduling for punch & dies factory* [Master's thesis]. Kasetsart University,
- Ruiz, R. (2015). *Scheduling Heuristics*. https://www.researchgate.net/publication/310486959_Scheduling_Heuristics
- Sangarun, P. (2002). *Production scheduling : the case study of compressor manufacturing* [Master's thesis]. Chulalongkorn university.
- Tansuwannarat, N. (2548). *Design of production scheduling method for food manufacturer A case study : Coca foods inter company* [Master's thesis]. King Mongkut's institute of technology north bangkok.
- Prachantasen, C. (2003). *Production scheduling for make to order textile industry* [Master's thesis]. King Mongkut's institute of technology north bangkok.

การทำนายค่าการสึกหรอด้านข้างคมตัดของมีดกลึงคาร์ไบด์ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม
แบบแพร่กระจายย้อนกลับ

Prediction Flank Wear of Carbide Cutting Tool Using Back Propagation
Artificial Neural Network

เฉลิมพล คล้ายนิล*, พงศกร หลีตระกูล
Chalermopol Klaynil*, Pongsakorn Leetrakul

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล
Department of Production Engineering Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin,
Wang Klai Kangwon Campus

*Corresponding author e-mail: chalermopol1@hotmail.com, chalermopol.kla@rmutr.ac.th

(Received: July 24, 2019, Revised: November 26, 2019, Accepted: December 13, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก เกรด AISI 420 ที่มีผลต่อการสึกหรอของมีดกลึงคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยวิธี CVD มีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยโปรแกรม Minitab และงานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึง ผักหัดด้วยวิธี Levenberg-Marquardt (trainlm) กำหนดให้ปัจจัยนำเข้า (Input) ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ส่วนผลลัพธ์ (Output) ได้แก่ การสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear ผลการทดลองพบว่าผลกระทบของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมส่งผลต่อค่าการสึกหรอของมีดกลึงอย่างมีนัยสำคัญ และผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึง พบว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดกำลังสองจากการฝึกหัดมีค่าเท่ากับ 1.23414×10^{-4} และการทดสอบมีค่า 1.50536×10^{-4} สำหรับการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 316 ส่วนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก เกรด AISI 420 มีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดกำลังสองจากการฝึกหัดมีค่าเท่ากับ 45619.1×10^{-4} และการทดสอบมีค่า 1.95559×10^{-4} ซึ่งสามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดต่ำ สามารถช่วยวางแผนและการผลิตขึ้นส่วนได้อย่างเหมาะสม เพื่อลดการสิ้นเปลืองเครื่องมือตัด ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต

คำสำคัญ: เหล็กกล้าไร้สนิม, เครื่องมือตัด, การสึกหรอด้านข้างคมตัด, โครงข่ายประสาทเทียม

ABSTRACT

This research aimed to study the Influence of turning parameters for AISI 316 austenitic stainless steel and AISI 420 martensitic stainless steel, which affected on flank wear of CVD coated carbide insert. Minitab was used for design of experiment and the statistics analysis. The study proposed the model to predict the flank wear values using artificial neural network with the back-propagation, and trained with Levenberg-Marquardt (trainlm). The input parameters were cutting speed, feed rate and depth of cut, Output was tool flank wear. The results showed that the main effect and interactions gave a significant effect on the flank wear. The result from using of back-propagation artificial neural network to predict the flank wear found that mean square error (MSE) from training equal 1.23414×10^{-4} , the testing was 1.50536×10^{-4} for the machining process of AISI 316 austenitic stainless steel. The MSE of machining process for AISI 420 martensitic stainless steel from training equal 45619.1×10^{-4} as the testing was

1.95559e-4. It can predict flank wear accurately and very low errors, which will be able to make production plan properly and to reduce cutting tools that affects the cost of production.

Keywords: Stainless Steel, Cutting Tool, Flank Wear, Artificial Neural Network

1. บทนำ

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) สามารถประยุกต์ไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ต้านทานต่อการกัดกร่อน การใช้งานที่อุณหภูมิสูง-ต่ำ ความสามารถในการขึ้นรูป และมีแข็งแรงสูง ซึ่งการนำไปใช้งานไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล อุตสาหกรรมปิโตรเคมี และอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น จำเป็นต้องผ่านกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่และมีความเที่ยงตรงสูงด้วยกระบวนการตัดเฉือน แต่มักพบปัญหาเสมอ นั่นก็คือการสึกหรอของเครื่องมือตัด ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญ ปัญหาหนึ่งของบริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่ามิดกิลิ่งที่ใช้มีการสึกหรอเร็วกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากการกำหนดสภาวะการตัดหรือปัจจัยที่ใช้ในการตัดเฉือนไม่เหมาะสมกับวัสดุ ประกอบไปด้วยความเร็วตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด การแก้ปัญหาของบริษัทคืออาศัยประสบการณ์และความชำนาญของพนักงานเป็นตัวกำหนดหรือการลองผิดลองถูกในขั้นตอนการผลิต ทำให้มีการปฏิบัติงานล่าช้า มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น เกิดการสิ้นเปลืองเครื่องมือตัด และต้นทุนในการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาและทดลองตัดเฉือนจากข้อมูลบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นชิ้นส่วนของสลักและเพลาลำสำหรับเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหาร ด้วยกระบวนการกลึงปอกอัตโนมัติ (CNC Lathe) วัสดุที่ใช้ทดลองแตกต่างกัน 2 เกรด คือเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก เกรด AISI 316 และเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก เกรด AISI 420 เพื่อเปรียบเทียบการสึกหรอแบบ Flank Wear (VB) จากอิทธิพลของปัจจัยในการทดลองที่แตกต่างกัน การออกแบบการทดลองใช้วิธีทางสถิติและวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab และการทำนายค่าการสึกหรอของมิดกิลิ่งด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง กำหนดให้ปัจจัยนำเข้า (Input) คือด้วยความเร็วตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัด ส่วนผลลัพธ์ (Output) คือการสึกหรอของมิดกิลิ่งแบบ Flank wear โดยการทำนายค่าของโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองมีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยวางแผนในการผลิตชิ้นส่วน

เนื่องจากการสึกหรอของมิดกิลิ่งมีความสำคัญมาก เพราะข้อมูลจากการศึกษาหรือทดลองนั้นสามารถช่วยวิศวกรในการทำนายค่าการสึกหรอในขั้นตอนการวางแผนและการผลิตชิ้นส่วน เพื่อลดการสิ้นเปลืองเครื่องมือตัด ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนการผลิต โดยรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตัดเฉือนและการทำนายค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียม Rao et al. (2014) ศึกษาการทำนายค่าการสึกหรอ ความขรุขระพื้นผิว และการสั่นสะเทือนของชิ้นงานด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ในการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316 ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Multilayer Perceptron วิธีฝึกสอนแบบแพร่กระจายย้อนกลับ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง และคำนวณเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากการทดลองมีความแม่นยำสูง Asilturk and Cunkas (2011) ได้ศึกษาการทำนายค่าความขรุขระพื้นผิวจากกระบวนการกลึงอัตโนมัติด้วยมิดดัตต์คาร์ไบด์ การใช้โครงข่ายประสาทเทียมและการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ถูกนำมาใช้กับการจำลองความขรุขระพื้นผิว ซึ่งความสามารถในการทำนายค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมมีความแม่นยำสูง Das et al. (2015) ได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรในการกลึงอัตโนมัติโลหะผสม Al-Cu-TiC ที่มีผลต่อความขรุขระพื้นผิว และทำนายค่าด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ ผลตอบสนองคือค่าความขรุขระพื้นผิวและผ่านการทำนายค่าด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม Ezugwu et al. (2005) แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมได้พัฒนาสำหรับการทำนายค่า ในกระบวนการกลึงโลหะผสมนิกเกิล Inconel718 ผลการทดลองใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการทำนายค่า ปรากฏว่ามีประสิทธิภาพดีมาก Ciftci (2006) ได้ศึกษาการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 และ AISI 316 ผลตอบสนองที่เกิดขึ้นคือความขรุขระพื้นผิวและแรงที่ใช้ในการตัด ผลที่ได้จากการทดลองคือเมื่อค่าความเร็วตัดเปลี่ยนแปลงจาก 120 m/min เป็น 180 m/min จะทำให้ค่าความขรุขระพื้นผิวลดลงและมิดดัตต์ที่เคลือบผิวด้วย TiC/TiCN/TiN จะใช้แรงในการตัดต่ำกว่าการเคลือบผิวด้วย TiCN/TiC/Al₂O₃ ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 จะใช้แรงในการตัดสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 304 ประมาณ 2% Kalidass et al. (2012) ได้ศึกษา

แบบจำลองที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบ สำหรับการทำนายค่าการสึกหรอของเครื่องมือตัด ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม ตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิม ออสเทนนิติก AISI 304 ซึ่งการทำนายค่าด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยและแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ปรากฏว่าสามารถทำนายค่าการสึกหรอได้อย่างแม่นยำ

จากการสำรวจงานวิจัยข้างต้นที่ผ่านมาพบว่าการศึกษาปัจจัยในการกลึงเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมทำให้ค่าการสึกหรอของมีดกลึงต่ำสุดจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลักอยู่ 3 ประการ คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนและความลึกในการตัด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในงานวิจัยนี้ โดยนำผลการทดลองผ่านการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้องและน่าเชื่อถือ และการทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึงด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง สำหรับเป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัยและการเลือกใช้สภาวะการกลึงให้มีความเหมาะสม

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ การทดลองในส่วนที่ 1 จะเป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear โดยการกลึงปอกด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติสำหรับชิ้นงานจริง และการทดลองในส่วนที่ 2 คือชุดข้อมูลฝึกหัด (Training data) และชุดข้อมูลการทดสอบ (Test data) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างการทำนายค่า (Predicted value) กับผลการทดลอง (Experimental value)

2.1 การออกแบบการทดลอง

ปัจจัยในการออกแบบการทดลอง คือความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัด ซึ่งค่าที่ได้จากคำแนะนำของบริษัทผลิตมีดกลึงและบริษัทกรณีศึกษา คือความเร็วตัดเริ่มต้นที่ 140 เมตรต่อนาที อัตราป้อนอยู่ในช่วง 0.2-0.5 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองให้แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ยกเว้นความลึกในการตัดมี 1 ระดับ ในการทดลองนี้จึงควบคุมปัจจัยความลึกในการตัดเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตร ซึ่งระดับของปัจจัยในการทดลองประกอบไปด้วยค่าต่ำ ค่ากลาง และค่าสูง ดังตารางที่ 1 การทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยจำนวน 9 การทดลองต่อหนึ่งเรปลิเคต ในแต่ละตัวแปรมีการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (Replicate) รวมการทดลองทั้งหมด 27 การ

ทดลอง โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (3^k Factorial design)

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

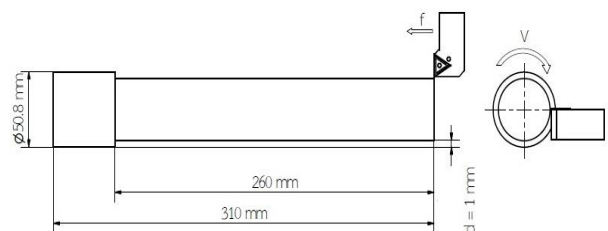
Factors	Level		
	Low	Medium	High
Cutting speed (m/min)	140	160	180
Feed rate (mm/rev)	0.2	0.4	0.6
Depth of cut (mm)	1.0		

2.2 การวางแผนการทดลองตัดเฉือนชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และ เกรด AISI 420

2.2.1 สร้างโปรแกรม G-Code สำหรับการกลึงปอกด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ (CNC Lathe) MORI SEIKI รุ่น NL1500 และมีดกลึงคาร์ไบด์ (Carbide Inserts Kennametal) ที่ใช้ทดลองผ่านการเคลือบผิวด้วยวิธี CVD (Tin/TiCN/TiC) มุมคมตัด 80° ยี่ห้อ Kennametal รหัสเม็ดมีด CNMG 120408 MN KU30T มีคมตัดจำนวน 2 คมตัดต่อ 1 เม็ดมีดกลึง

2.2.2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

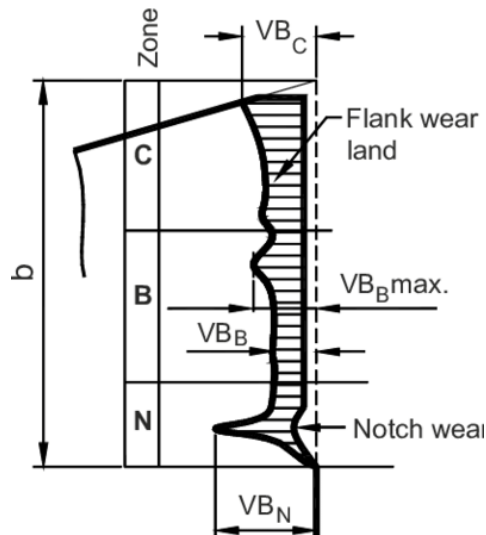
งานวิจัยนี้ได้กำหนดวัสดุชิ้นงานแตกต่างกัน 2 เกรด คือเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 (AISI 316 Austenitic stainless steel) และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420 (AISI 420 Martensitic stainless steel) ชิ้นงานทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 50.8 มิลลิเมตร ยาว 310 มิลลิเมตร ทำการกลึงปอกผิวชิ้นงานยาว 260 มิลลิเมตร จำนวน 4 รอบ ต่อ 1 การทดลอง ดังรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองกลึงปอกแบบต่อเนื่อง และใช้สารหล่อเย็นชนิด PTT HIKUT W10



รูปที่ 1 แสดงกระบวนการกลึงปอกชิ้นงาน

2.2.3 การวัดค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear (การสึกหรอด้านข้างคมตัด) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510LV โดยวัดระยะการสึกหรอของมีดกลึง

แบบ Flank wear จำนวน 3 จุด ตามมาตรฐาน ISO 3685-1997 การวัดระยะการสึกหรอแบ่งออกเป็นช่วงที่เท่าๆ กัน 3 ช่วง คือบริเวณ B เพื่อคำนวณหาระยะการสึกหรอเฉลี่ย (VB_B) ดังรูปที่ 2



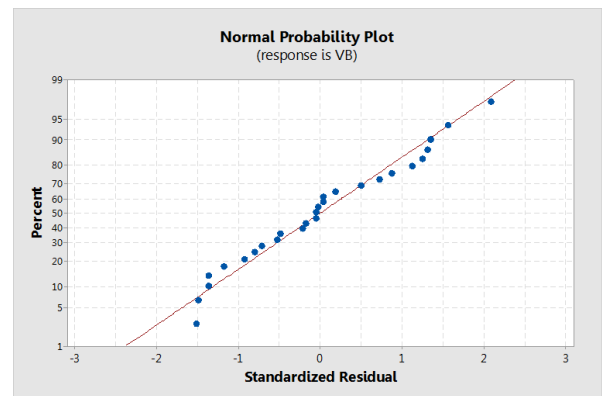
รูปที่ 2 แสดงการวัดระยะการสึกหรอ (มาตรฐาน ISO 3685-1997)

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

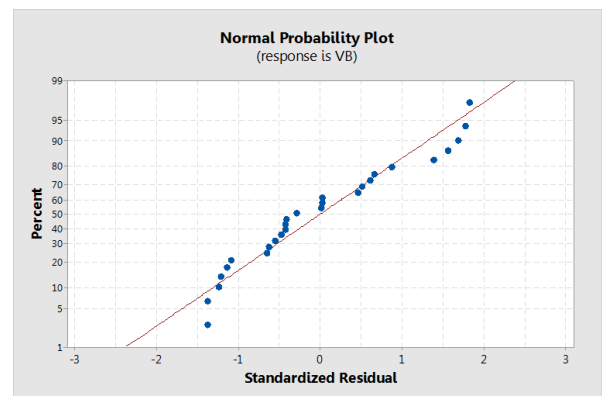
3.1 อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของมีดกลึง

เมื่อทำการตรวจสอบความเหมาะสมของผลการทดลองที่ได้ในเชิงสถิติ พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal probability) มีอิสระต่อกัน (Independence) ดังรูปที่ 3 (a-b) และรูปที่ 4 (a-b) ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA แสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3 พบว่าปัจจัยหลัก คือความเร็วตัด อัตราป้อน และปัจจัยร่วม ได้แก่ความเร็วตัดกับอัตราป้อน ส่งผลกระทบท่อค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น

95% ($\alpha = 0.05$) เนื่องจากค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองตัดเฉือนเหล็กกล้า ไร้สนิมเกรด AISI 316 พบว่ามีความน่าเชื่อถือที่ 96.27% และการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420 มีความน่าเชื่อถือที่ 95.99%

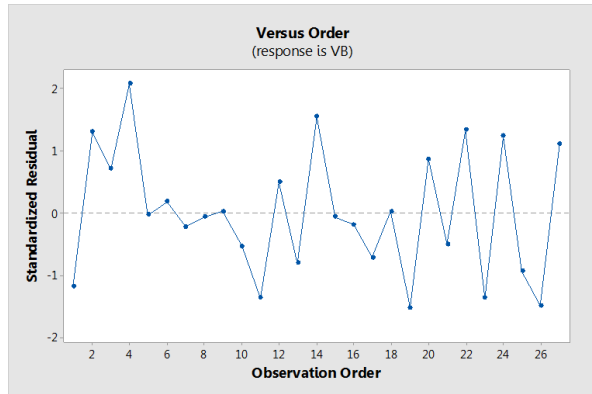


(a) เกรด AISI 316

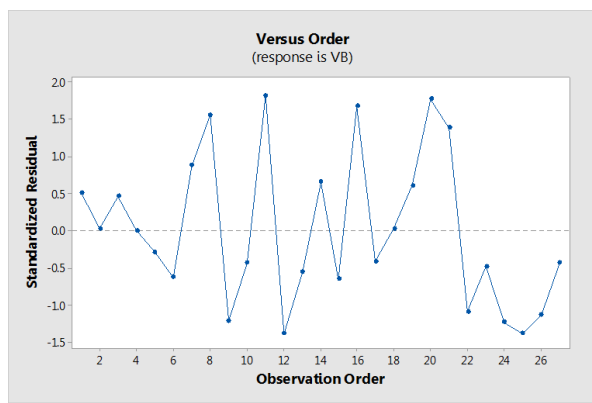


(b) เกรด AISI 420

รูปที่ 3 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ



(a) เกรด AISI 316



(b) เกรด AISI 420

รูปที่ 4 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เกรด AISI 316

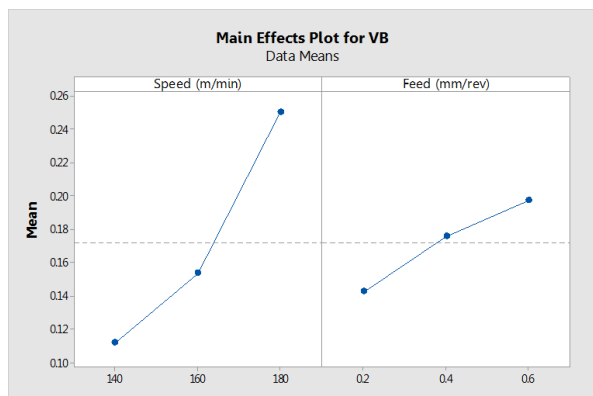
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Model	8	0.116664	0.014583	84.77	0.000
Linear	4	0.104248	0.026062	151.49	0.000
Speed	2	0.090541	0.045270	263.14	0.000
Feed	2	0.013707	0.006853	39.84	0.000
2-Way Interactions	4	0.012416	0.003104	18.04	0.000
Speed*Feed	4	0.012416	0.003104	18.04	0.000
Error	18	0.003097	0.000172		
Total	26	0.119761			
S=0.0131163 R-sq= 97.41% R-sq(adj) = 96.27%					

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เกรด AISI 420

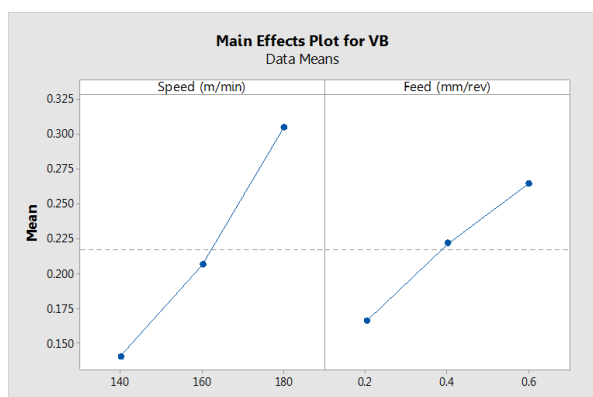
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
Model	8	0.17826	0.02228	78.88	0.000
Linear	4	0.16672	0.04168	147.55	0.000
Speed	2	0.12265	0.06132	217.10	0.000
Feed	2	0.04406	0.02203	78.00	0.000
2-Way Interactions	4	0.01154	0.00288	10.22	0.000
Speed*Feed	4	0.01154	0.00288	10.22	0.000
Error	18	0.00508	0.00028		
Total	26	0.18335			
S = 0.0168072 R-sq = 97.23% R-sq(adj) = 95.99%					

ผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Effect) จากสภาวะการตัดเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และเกรด AISI 420 ที่ส่งผลต่อการสึกหรอของมีดกลึงมากที่สุด คือความเร็วตัดและอัตราป้อน ตามลำดับ พบว่ามีผลแปรผันเมื่อปรับเพิ่มระดับความเร็วตัดจาก 140, 160 และ 180 เมตรต่อนาที ค่าการสึกหรอของมีดกลึงโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับการปรับเพิ่มระดับอัตราป้อน เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าจาก 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิเมตรต่อรอบ ดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่าเมื่อเพิ่มระดับความเร็วตัดและอัตราป้อนจะส่งผลให้คมตัดเกิดความร้อนขึ้นเนื่องจากการเสียดสีกันอย่างรุนแรงระหว่างชิ้นงานกับมีดตัดทำให้บริเวณคมตัดมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Filice et al., 2007; Özbek et al., 2016) โดยมีผลให้โครงสร้างและสมบัติทางกลของมีดกลึงเปลี่ยนแปลงไป คือค่าความแข็งและความต้านทานต่อการสึกหรอลดลง และอุณหภูมิในการตัดที่มีค่าสูง (Parida & Maity, 2019) ทำให้เกิดการอ่อนตัวลงและเกิดการแปรรูปถาวร (Plastic deformation) เป็นผลให้สูญเสียคมตัด ซึ่งเป็นสาเหตุให้มีความสึกหรอเพิ่มขึ้น โดยการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear มีลักษณะกว้างค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 7 จากกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด AISI 316 และรูปที่ 8

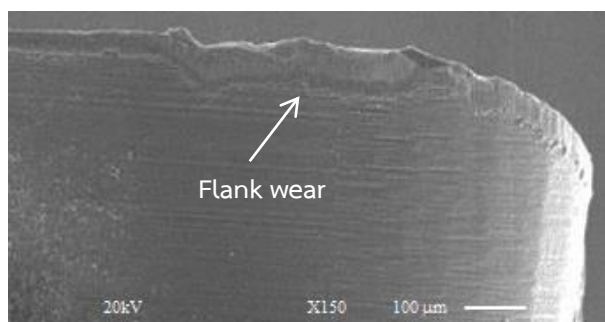
จากกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิม เกรด AISI 420 เมื่อมีการขยายตัวมากขึ้นที่บริเวณคมตัดจะทำให้การตัดเฉือนเป็นไปได้ยาก ต้องใช้แรงตัดมากและเกิดความเค้นกับคมตัดสูงขึ้น (Milton, 2005) ซึ่งสามารถสรุปค่าเฉลี่ยการสึกหรอของมีดกลึงดังตารางที่ 4



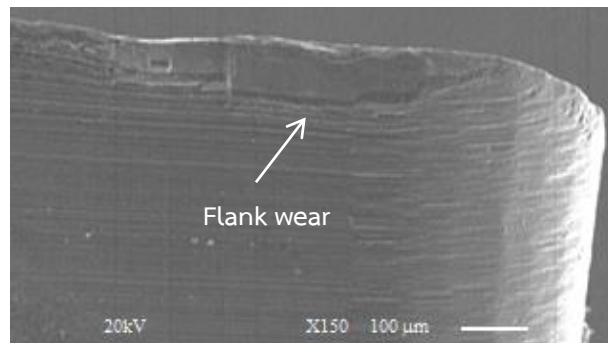
รูปที่ 5 ผลกระทบของปัจจัยหลัก เกรด AISI 316



รูปที่ 6 ผลกระทบของปัจจัยหลัก เกรด AISI 420



รูปที่ 7 แสดงการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear จากกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316

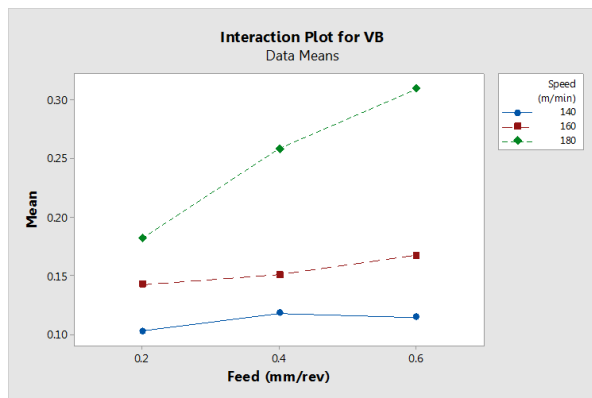


รูปที่ 8 แสดงการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear จากกระบวนการกลึงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420

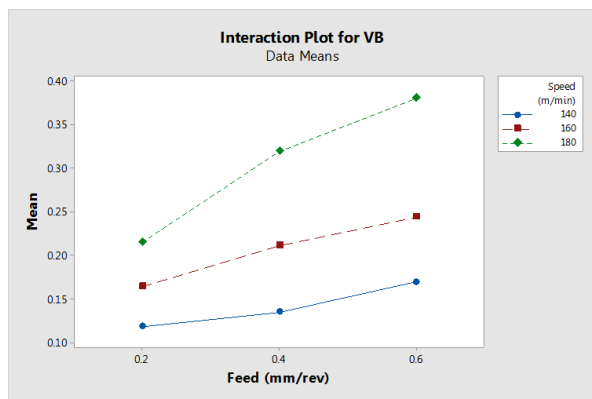
ตารางที่ 4 แสดงค่าเฉลี่ยการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear

Factors				AISI316 (VB)	AISI420 (VB)
No.	V (m/min)	f (mm/rev)	d (mm)		
1	180	6.0	1.0	0.309	0.380
2	140	4.0	1.0	0.118	0.134
3	140	2.0	1.0	0.102	0.118
4	140	6.0	1.0	0.114	0.169
5	160	4.0	1.0	0.150	0.210
6	180	2.0	1.0	0.182	0.215
7	160	6.0	1.0	0.167	0.243
8	180	4.0	1.0	0.258	0.319
9	160	2.0	1.0	0.142	0.164

จากรูปที่ 9 และรูปที่ 10 พบว่าปัจจัยร่วม (Interaction) คือความเร็วตัดกับอัตราป้อนจากการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และเกรด AISI 420 ส่งผลต่อการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะ Positive Interaction กล่าวคือเมื่อปรับระดับค่าทั้งสองให้เพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าการสึกหรอของมีดกลึงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าความเร็วตัดมีค่า 180 เมตรต่อนาที อัตราป้อนมีค่า 0.6 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear สูงสุด และจากผลการทดลองตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420 จะเกิดการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear สูงกว่าการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 เนื่องจากเกรด AISI 420 มีค่าความแข็งสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเกรด AISI 316 เนื่องจากปริมาณคาร์บอนที่สูงส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคเป็นมาร์เทนไซต์ที่มีความแข็ง ในขณะที่เกรด AISI 316 โครงสร้างจุลภาคเป็นออสเทนไนต์ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณนิเกิลที่สูง โดยนิเกิลเป็นธาตุที่ทำให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิห้อง (Smith, 1993) มีคุณสมบัติด้านความเหนียวง่ายในการขึ้นรูป



รูปที่ 9 ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วตัดและอัตราป้อน เกรด AISI 316



รูปที่ 10 ผลกระทบร่วมระหว่างความเร็วตัดและอัตราป้อน เกรด AISI420

รูปแบบของสมการเส้นตรงของค่าการสึกหรอในการทดลองจากตัวแปรของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear จากการทดลองตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และเกรด AISI 420 มีค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficients) แสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 สามารถเขียนสมการทำนายค่าการสึกหรอ (Y) ในรูปของปัจจัยเพื่อใช้พยากรณ์ค่าการสึกหรอ ดังสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA แบบ Coded units (AISI 316)

Term	Effect	Coef	P
Constant		0.028	
Speed (A)	0.001117	0.000558	0.401
Feed (B)	-2.046	-1.023	0.000
Speed*Feed (A*B)	0.01450	0.00725	0.000

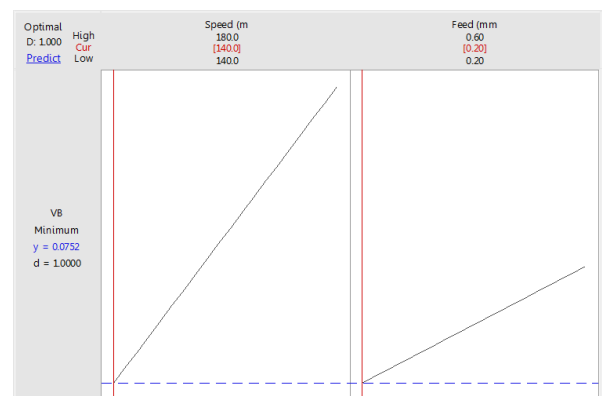
$$Y = 0.028 + 0.000558 A - 1.023 B + 0.00725 A*B \quad (1)$$

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ ANOVA แบบ Coded units (AISI 420)

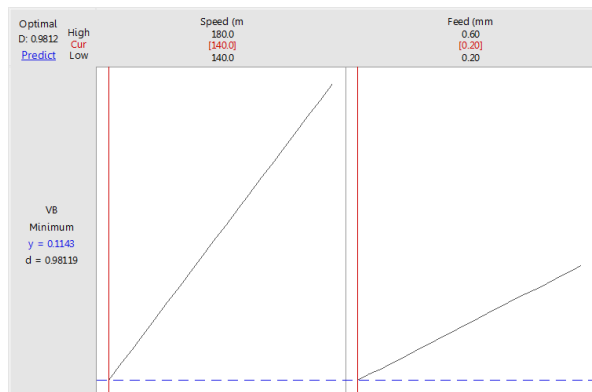
Term	Effect	Coef	P
Constant		0.21707	
Speed (A)	0.16400	0.08200	0.000
Feed (B)	0.09867	0.04933	0.000
Speed *Feed (A*B)	0.05717	0.02858	0.000

$$Y = 0.21707 + 0.08200 A + 0.04933 B + 0.02858 A*B \quad (2)$$

การทดลองตัดเฉือนชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 ค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าการสึกหรอของมีดกลึงต่ำที่สุด สามารถหาได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ซึ่งสรุปผลได้ว่าระดับของปัจจัยที่มีค่าเหมาะสม คือความเร็วตัด 140 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.2 มิลลิเมตรต่อรอบ ให้ค่าพยากรณ์ (y) ของค่าการสึกหรอมีดกลึงเท่ากับ 0.0752 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11 (a) ส่วนการทดลองตัดเฉือนเกรด AISI 420 ระดับของปัจจัยที่มีค่าเหมาะสม คือความเร็วตัด 140 เมตรต่อนาที อัตราป้อน 0.2 มิลลิเมตรต่อรอบ เช่นเดียวกัน ให้ค่าพยากรณ์ (y) ของค่าการสึกหรอมีดกลึงเท่ากับ 0.1143 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 11 (b)



(a) เกรด AISI 316



(b) เกรด AISI 420

รูปที่ 11 ผลตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสม

3.2 การทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึงด้วยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

3.2.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

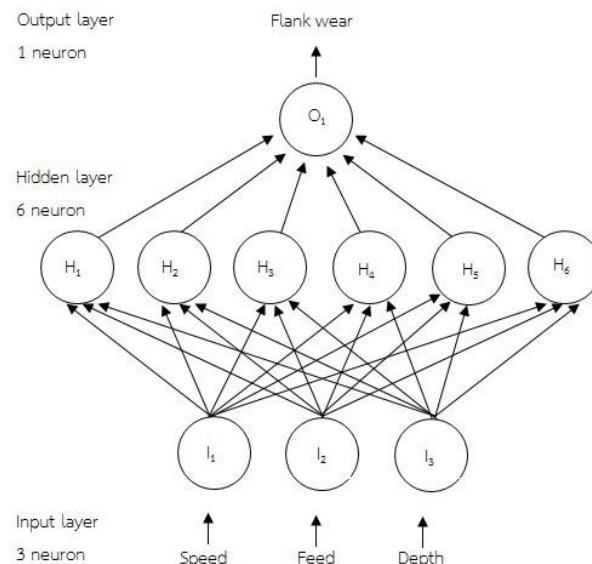
โครงข่ายประสาทเทียมคือการคำนวณที่เลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่ โครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วยเซลล์ประสาท (Neural) ซึ่งจำลองมาจากการทำงานของระบบสมองมนุษย์ โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) ค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight) และค่าไบแอส (Bias) เป็นเครื่องมือจำลองคุณสมบัติของเซลล์ประสาท

โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-propagation neural network) จะประกอบด้วยชั้นของข้อมูลเบื้องต้น 3 ชั้นเรียงกันเป็นชั้นๆ ได้แก่ ชั้นนำเข้า (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นผลลัพธ์ (Output layer) (Kant & Sangwan, 2015) การปรับสอนโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นตอนการคำนวณไปข้างหน้า (Feed forward) จากชั้นนำเข้าไปยังชั้นซ่อน และไปสู่ชั้นส่งออก 2) ขั้นตอนการคำนวณและการแทนค่ากลับของผลรวมความผิดพลาดของสัญญาณออกกับค่าเป้าหมาย 3) ขั้นตอนการปรับค่าน้ำหนัก (Weight) หลังจากที่ได้โครงข่ายได้ผ่านการเรียนรู้แล้วจะเป็นการนำตัวโครงข่ายไปประยุกต์ใช้งาน ซึ่งโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม (The structure of neural network) ที่ใช้ศึกษา ดังรูปที่ 12 แบ่งตามชั้นการทำงานประกอบด้วย

ชั้นที่ 1 ได้แก่ชั้นนำเข้าข้อมูล (Input layer) ประกอบด้วยความเร็วตัด (Cutting speed) อัตราป้อน (Feed rate) และความลึกในการตัด (Depth of cut)

ชั้นที่ 2 ได้แก่ชั้นซ่อน (Hidden layer) กำหนดให้มีหนึ่งชั้นซ่อน จำนวน 6 นิวรอน

ชั้นที่ 3 ได้แก่ชั้นผลลัพธ์ (Output layer) กำหนดให้มี 1 นิวรอน คือค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear



รูปที่ 12 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

3.2.2 โครงข่ายประสาทเทียมเป็นเครื่องมือที่ได้ผลลัพธ์มาจากการทดลองและการฝึกหัด การสร้างค่าการทำนายใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้น (Multilayer feed forward) โดยนำการเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Back-propagation) มาใช้ เนื่องจากว่าไม่มีการเชื่อมโยงกันแบบย้อนกลับ แต่อาศัยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งค่าความผิดพลาดนั้นคำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) ค่าความผิดพลาดเกิดจากการปรับค่าน้ำหนักระหว่างชั้นของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งทำการปรับค่าจนกว่าค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การฝึกหัดด้วยวิธี Levenberg-Marquardt (trainlm) เนื่องจากเป็นโครงข่ายที่สามารถเรียนรู้ได้โดยการปรับค่าน้ำหนัก (Krishnakumara et al., 2015) เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลส่งออก (Output) และค่าเป้าหมายของการฝึกหัด (Target) ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลออกเป็น 3 กลุ่ม คือส่วนที่หนึ่งใช้เป็นการฝึกหัด (Training) จำนวน 70% ส่วนที่สองใช้วัดค่าเหตุผล (Validation) จำนวน 15% และส่วนที่สามใช้ทำการทดสอบผล (Testing) จำนวน 15% ดังตารางที่ 7 และได้ทำการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมโดยกำหนดพารามิเตอร์ของ

โครงข่าย ดังตารางที่ 8 และใช้ค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) ดังสมการที่ 3 เป็นตัววัดผลการทดลอง ผลการศึกษาโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับในการทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึงที่ประกอบไปด้วย 1 ชั้นนำข้อมูลเข้า 1 ชั้นซ่อน และ 1 ชั้นผลลัพธ์ ได้สมรรถนะของกระบวนการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ดังรูปที่ 13 (a-b)

ตารางที่ 7 การกำหนดสัดส่วนในการฝึกหัด

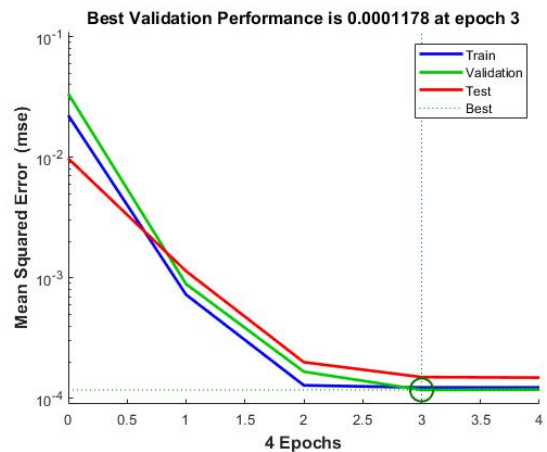
Data	Percentage (%)	Amount of data
Training set	70	19
Testing set	15	4
Validation set	15	4

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์ของโครงข่ายประสาทเทียม

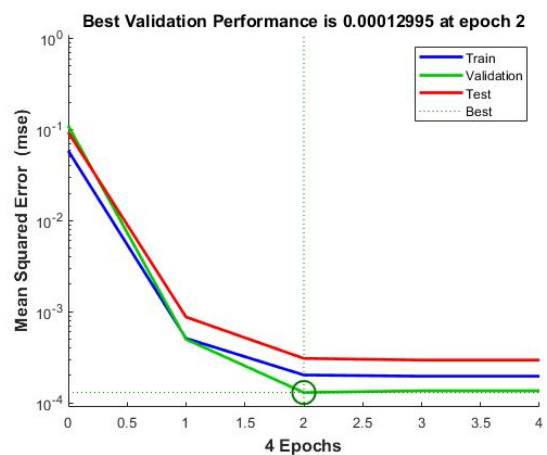
Parameters	Contents
Training algorithm	Back-propagation
Training function	Levenberg-Marquardt
Transfer functions	<i>tansig</i>
Performance function	MSE
Epochs	1,000

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (e_i)^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - a_i)^2 \quad (3)$$

เมื่อ t_i คือ ค่าจริง
 a_i คือ ค่าทำนาย
 e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อน
 N คือ จำนวนค่าทำนาย



(a) เกรด AISI 316

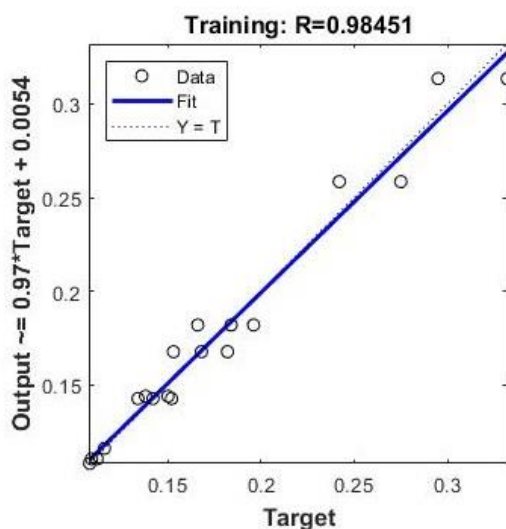


(b) เกรด AISI 420

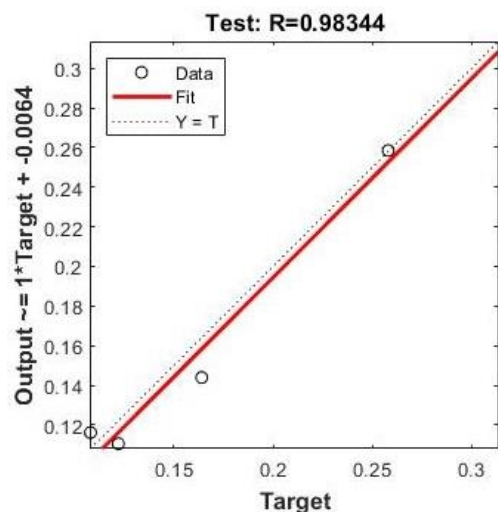
รูปที่ 13 สมรรถนะการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม

ผลการทำนายค่าการสึกหรอ (Predicted value) เปรียบเทียบกับค่าการทดลอง (Experimental value) ในการกลึงพอกเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 และเกรด AISI 420 จากข้อมูลการฝึกหัด (Training) และการทดสอบ (Testing) ด้วยโครงข่ายประสาทเทียม โดยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; R) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าเป็น 1 แสดงความสัมพันธ์ที่สมบูรณ์แบบระหว่างค่าเป้าหมาย (Target) และข้อมูลส่งออก (Output) ผลการทดลองพบว่าค่า

R สูงกว่า 0.95 ซึ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลนั้นจัดว่าอยู่ในระดับที่ดีมาก (Kant & Sangwan, 2015; Phate & Toney, 2019) โดยลักษณะกลุ่มข้อมูลของผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนายค่ากระจายตัวตามระนาบของเส้น (Best Linear) แสดงให้เห็นว่าชุดข้อมูลที่ได้จากการทำนายค่ามีความคลาดเคลื่อนต่ำ ดังรูปที่ 14 (a-b) และรูปที่ 15 (a-b)

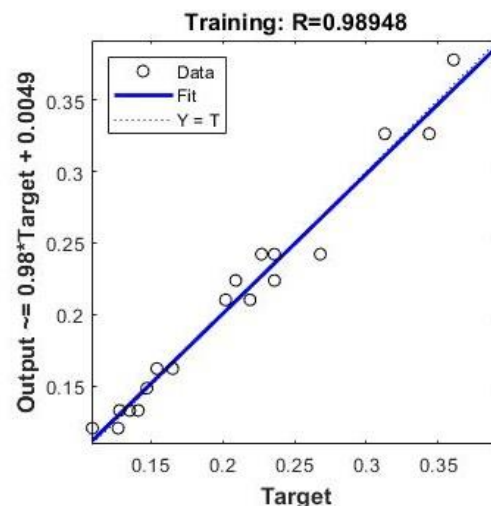


(a) การฝึกหัด (Training data)

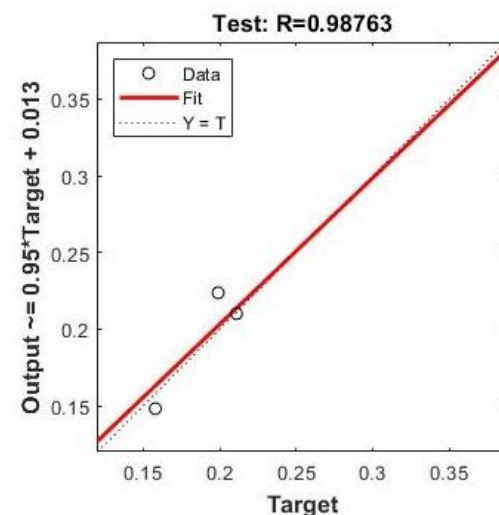


(b) การทดสอบ (Testing data)

รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำนายค่ากับผลการทดลอง
เกรด AISI 316



(a) การฝึกหัด (Training data)



(b) การทดสอบ (Testing data)

รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำนายค่ากับผลการทดลอง
เกรด AISI 420

ผลจากการทดลองพบว่าการทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank wear ด้วยโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ โดยโปรแกรม MATLAB เพื่อที่จะหาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดกำลังสอง (Mean Square Error: MSE) น้อยที่สุด สำหรับการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 มีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดจากการฝึกหัด (Training) มีค่าเท่ากับ 1.23414×10^{-4} และค่าการทดสอบ (Testing) มีค่าเท่ากับ 1.50536×10^{-4} ส่วนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420 มีค่าเฉลี่ยของค่า

ความผิดพลาดจากการฝึกหัด (Training) มีค่าเท่ากับ $4.5619.1e-4$ และค่าการทดสอบ (Testing) มีค่าเท่ากับ $1.95559e-4$ ซึ่งสามารถสรุปค่าความแม่นยำของการทำนาย ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปค่าความแม่นยำของการทำนาย

Results	Sample	MSE	R
AISI 316	Training	1.23414e-4	98451.0
	Testing	1.50536e-4	98344.0
	Validation	1.17800e-4	9938.00
AISI 420	Training	4.5619.1e-4	0.98948
	Testing	1.95559e-4	0.98763
	Validation	2.9950.1e-4	0.96173

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยแผนการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (3^k Factorial design) พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) คือความเร็วตัด อัตราป้อน และผลกระทบร่วม (Interaction) ระหว่างความเร็วตัดกับอัตราป้อนมีอิทธิพลต่อการสึกหรอของมีดกลึงแบบ Flank Wear ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha=0.05$ จากผลการทดลองที่ได้นำเสนอแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโครงข่ายประสาทเทียม การเรียนรู้แบบแพร่กระจายย้อนกลับ ฝึกสอนด้วยวิธี Levenberg-Marquardt (trainlm) มีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดจากการฝึกหัด (Training) มีค่าเท่ากับ $1.23414e-4$ และค่าการทดสอบ (Testing) มีค่าเท่ากับ $1.50536e-4$ สำหรับการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 ส่วนการตัดเฉือนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 420 มีค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดจากการฝึกหัด (Training) มีค่าเท่ากับ $4.5619.1e-4$ และค่าการทดสอบ (Testing) มีค่าเท่ากับ $1.95559e-4$ จึงสรุปได้ว่าโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กระจายย้อนกลับ สามารถทำนายค่าการสึกหรอของมีดกลึงได้อย่างแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดต่ำ ซึ่งสามารถนำข้อมูลจากงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้ เนื่องจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าเป็นเครื่องมือช่วยในขั้นตอนการวางแผนและการผลิตชิ้นส่วน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดปัจจัยและการเลือกใช้สภาวะการกลึงให้มีความเหมาะสมทำให้ได้ชิ้นส่วนมีคุณภาพ ลดการสิ้นเปลืองเครื่องมือตัด ลดต้นทุนการผลิตลง และผลจากงานวิจัยเชิงทดลองนี้ยังเป็นแนวทางสำหรับต่อยอดเพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ในระดับชาติและนานาชาติต่อไป โดย

งานวิจัยครั้งต่อไปจะศึกษาการสึกหรอของมีดกลึงจากการตัดเฉือนเหล็กกล้าเครื่องมือในงานแม่พิมพ์ แรงในการตัด และต้นทุนการผลิต

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Asilturk, I., & Cunkas, M. (2011). Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method. *Expert Systems with Applications*, 38, 5826-5832.
- Ciftci, I. (2006). Machining of Austenitic Stainless Steel Using CVD Multi-Layer Coated Cemented Carbide Tools. *Tribology International*, 39, 565-569.
- Das, B., Roy, S., Rai, R. N., & Saha, S.C. (2015). Studies on effect of cutting parameters on surface roughness of Al-Cu-TiC MMCs: An Artificial Neural Network Approach. *Procedia Computer Science*, 45, 745-752.
- Ezugwu, E. O., Fadare, D. A., Bonney, J., Da Silva, R. B., & Sales, W. F.(2005). Modelling the correlation between cutting and process parameters in high-speed machining of Inconel 718 alloy using an artificial neural network. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45, 1375-1385.
- Filice, L., Micari, F., Settineri, L., & Umbrello, D. (2007). Wear modelling in mild steel orthogonal cutting when using uncoated carbide tools. *Wear*, 262, 545-554.
- Kalidass, S., Palanisamy, P., & Muthukumar, V. (2012). Prediction of tool wear using regression and artificial neural network models in end milling of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 1, 29-36.
- Kant, G., & Sangwan, K. S. (2015). Predictive Modelling and Optimization of Machining Parameters to Minimize Surface Roughness using Artificial Neural Network Coupled with Genetic Algorithm. *Procedia CIRP*, 31, 453-458.
- Krishnakumara, P., Rameshkumar, K., & Ramachandran, K. I. (2015). Tool Wear Condition Prediction Using Vibration Signals in High Speed Machining (HSM) of Titanium (Ti-6Al-4V) Alloy. *Procedia Computer Science*, 50, 270-275.
- Milton, C. S. (2005). *Metal Cutting Principles*. Oxford Series on Advanced Manufacturing.

- Özbek, N. A., Çiçek, A., Gülesin, M., & Özbek, O. (2016). Effect of cutting conditions on wear performance of cryogenically treated tungsten carbide inserts in dry turning of tainless steel. *Tribology International*, 94, 223-233.
- Parida, A. K. , & Maity, K. (2019) . Modeling of machining parameters affecting flank wear and surface roughness in hot turning of Monel- 400 using response surface methodology (RSM). *Measurement*, 137, 375-381.
- Phate, M. R., & Toney, S. B. (2019). Modeling and prediction of WEDM performance parameters for Al/SiCp MMC using dimensional analysis and artificial neural network. *Engineering Science and Technology an International Journal*, 22, 468-476.
- Rao, K. V., Murthy, B. S. N., & Rao, N. M. (2014). Prediction of cutting tool wear, surface roughness and vibration of work piece in boring of AISI 316 steel with artificial neural network. *Measurement*, 51, 63-70.
- Smith, W. F. (1993). *Structure and properties of engineering alloys* (2nd ed.). McGraw-Hill New York.

การประเมินความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร
และยา โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

The evaluation of the Machinery Characteristics Requirement for the Food
Processing and Pharmaceutical Industries using Quality Function Deployment
Technique.

ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์¹, จิดาภา เบ้าบัวเงิน², ปราโมทย์ ศรีษะ³, ชูศักดิ์ พรสิงห์⁴, จันทร์เพ็ญ อนุรัตน์านนท์^{5*}, ทองแท่ง ทองลิ้ม⁶
Pattrawet Tharawetcharak¹, Jidapa Baobuangoen², Pramote Srisorn³, Choosak Pornsing⁴
Chanpen Anurattananon^{5*}, Tongtang Thonglim⁶

¹ งานวิชาศึกษาทั่วไป สำนักงานส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ

มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

^{2,3,4,5} หน่วยวิจัยการจัดการงานวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

⁶ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง

¹ General Education, Office of Learning Promotion and Provision Academic Services,

Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage Khlong Nuang

^{2,3,4,5} Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Silpakorn University

⁶ Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,

Amphoe Chom Bueng

*Corresponding author e-mail: j_pen2000@hotmail.com

(Received June 17, 2019, Revised: October 30, 2019, Accepted: December 20, 2019)

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาจัดอยู่ในกลุ่มอุตสาหกรรม First S- Curve ที่รัฐบาลส่งเสริมในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจในอนาคตเพื่อผลักดันให้ประเทศไทยหลุดพ้นจากกับดักรายได้ปานกลาง ทั้งนี้เครื่องจักรในการผลิตจัดเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่ต้นน้ำที่สำคัญในกลุ่มอุตสาหกรรมดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรเพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนาให้มีศักยภาพเทียบเท่ากับประเทศคู่แข่งและตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริงด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในเฟส 1 คือ บ้านแห่งคุณภาพ งานวิจัยนี้เริ่มจากสำรวจเอกสารด้านเทคโนโลยีและคุณลักษณะของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา เพื่อนำไปสร้างเนื้อหาในแบบสอบถามสำหรับใช้ในการสำรวจข้อมูลเชิงลึกจากกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 231 แห่ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % จากการคำนวณกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีทาร์โย ยามาเน่ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างเป็นบ้านแห่งคุณภาพตามกลุ่มกระบวนการและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับผลจากการวิจัยฉบับนี้สามารถทำให้ผู้ผลิตเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและยาของไทยเกิดแนวทางในการพัฒนาคุณลักษณะของเครื่องจักรให้สัมพันธ์กับความต้องการของผู้ใช้งานจริง โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้เครื่องจักร เช่น อายุการใช้งานที่ส่งผลต่อการเลือกใช้วัสดุ มูลค่าการลงทุนซื้อ รวมถึงประเมินศักยภาพปัจจุบันของประเทศคู่แข่งเพื่อเป็นแม่แบบในการพัฒนาขีดความสามารถของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา

คำสำคัญ : การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ, การสำรวจเอกสาร, บ้านแห่งคุณภาพ, กลุ่มอุตสาหกรรม First s-curve , กับดักรายได้ปานกลาง

Abstract

The Food Processing and Pharmaceutical Industries are in the First S- Curve Industry Group, which the government encourages to chance Thai economy overcome the Middle-Income Trap Country. The machinery is a part of important upstream chain in the industry. Accordingly, this research aims to study the true requirements of machines' characteristics by Quality Function Deployment Technique that is House of Quality. This study started with a desktop research of technologies and characteristics of machines in Food Processing and Pharmaceutical Industry. Then the information was used to design a questionnaire for extracting the depth needs of the samples of 231 company, at a 95% confidence level which based on the sample calculation of the Taro Yamane method. Then the collected data was used to create Houses of Quality according to the process group. The result shows the development guidelines of machines' characteristics in which the machine makes should consider; such as, Lifetime that affects material selection, investment and competitive countries potential evaluate to be a framework for the development of machinery capabilities in The Food Processing and Pharmaceutical Industry.

Keywords: Quality Function Deployment, survey Document, House of Quality, First s-curve Industry, Middle Income Trap

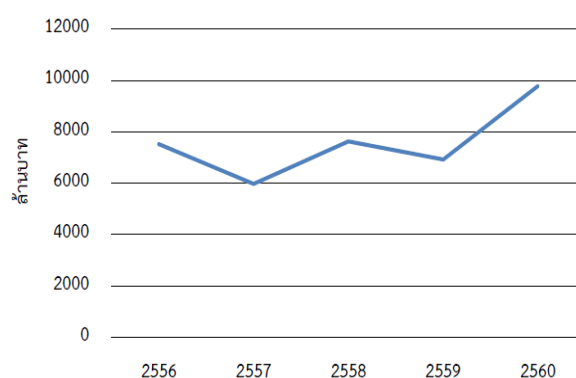
1. บทนำ

ตามแผนนโยบายประเทศไทย 4.0 (Paknawin, 2017) ถูกกำหนดให้มีการยกระดับกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ ภายใต้นโยบายการขับเคลื่อนด้วยนวัตกรรมโดยมีฐานคิดหลัก คือ เปลี่ยนจากการขับเคลื่อนประเทศด้วยภาคอุตสาหกรรม ไปสู่การขับเคลื่อนด้วย เทคโนโลยี ความคิดสร้างสรรค์ และ นวัตกรรม ซึ่งรัฐบาลได้มุ่งเน้นการต่อยอดการพัฒนากลุ่มเทคโนโลยีและอุตสาหกรรม 5 อุตสาหกรรมเดิมที่มีศักยภาพ (First S-curve) คือ อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ, อุตสาหกรรมท่องเที่ยวกลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ, การเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ และอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาจัดอยู่ใน 5 กลุ่มอุตสาหกรรมหลักข้างต้นเป็นกลุ่มที่รัฐบาลมีเป้าหมายจะพัฒนาและยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันให้ประเทศไทยก้าวข้ามวังวนกับดักรายได้ปานกลาง (Middle Income Trap) (The National Science and Technology Development Agency, 2016) ในอนาคตได้ ซึ่งความสำเร็จนั้นจะต้องมาจากห่วงโซ่ที่มีความเข้มแข็งและเครื่องจักรนับเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่ต้นน้ำที่ต้องมีการพัฒนาขีดความสามารถให้แข่งขันกับทั่วโลกได้

เครื่องจักรกับภาคอุตสาหกรรมนั้นควบคู่กันมาตั้งแต่ในสมัยยุคนโยบายพัฒนาเศรษฐกิจประเทศไทย 2.0 ยุคอุตสาหกรรม

เบาจนถึงปัจจุบันแต่เครื่องจักรในประเทศไทยนั้นยังขาดการพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถในด้านเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่อำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ จึงทำให้ผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาหันไปพึ่งพิงการนำเข้าเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมจากต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น (Machinery Intelligence Unit, 2018) เช่น ญี่ปุ่น จีน ไต้หวัน เยอรมัน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 มูลค่าการนำเข้าเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมประเทศไทย

เพื่อเป็นการปรับโครงสร้างทางเทคโนโลยีและนวัตกรรมที่มีอยู่ในเครื่องจักรของภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการผู้ใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งหวังที่จะนำเสนอแม่แบบในการพัฒนาคุณลักษณะของเครื่องจักรกลในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาให้มีศักยภาพเทียบเท่ากับประเทศคู่แข่งและให้สามารถตอบสนอง

ความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแท้จริงเพื่อส่งเสริมห่วงโซ่การผลิตให้มีความแข็งแกร่งตลอดจนสามารถส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา กับภาคอุตสาหกรรมผู้ผลิตเครื่องจักรกลอุตสาหกรรมดำเนินไปในทิศทางเดียวกันจนก้าวสู่การเป็นผู้ผลิตแนวหน้าของโลกได้ในอนาคต

2. วัตถุประสงค์ในงานวิจัย

ศึกษาและประเมินคุณลักษณะของเครื่องจักรที่เป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา และนำเสนอแนวคิดในการพัฒนาเครื่องจักรที่เหมาะสมและตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ผลิตเครื่องจักรของไทยสามารถผลิตได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา

3. วิธีการวิจัย

3.1. การศึกษากลุ่มประชากรที่ใช้ในงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) มีการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามเพื่อใช้สัมภาษณ์ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา 6 กลุ่มสมาคม จากการสำรวจ (ณ วันที่ 6 พฤศจิกายน 2561) ได้แก่ กลุ่มสมาคมผู้ผลิตอาหารสำเร็จรูป 55 แห่ง, สมาคมอาหารแช่เยือกแข็งไทย 41 แห่ง, สมาคมอุตสาหกรรมเครื่องดื่มไทย 13 แห่ง, สมาคมผู้วิจัยและผลิตเภสัชภัณฑ์ 18 แห่ง, สมาคมอุตสาหกรรมกลุ่มอุตสาหกรรมอาหาร 86 แห่ง และ สมาคมอุตสาหกรรมกลุ่มยา 18 แห่ง เพื่อเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะของเครื่องที่เป็นที่ต้องการ ซึ่งแบบสอบถามมีเนื้อหาเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ข้อมูลเกี่ยวกับสถานประกอบการ ข้อมูลระดับคะแนนความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมยาในแต่ละปัจจัย และข้อเสนอแนะอื่น ๆ เมื่อได้ข้อมูลคุณลักษณะของเครื่องจักรที่มีความต้องการแล้วจึงนำไปวิเคราะห์สร้างเป็นบ้านคุณภาพและค้นหาคุณลักษณะของเครื่องจักรที่มีความต้องการ โดยคำนวณระดับความเชื่อมั่นด้วยวิธี Yamane (1967) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05 มีระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และจำนวนบริษัทที่ขึ้นทะเบียนกับ 6 สมาคมทั้งสิ้น 546 แห่ง ซึ่งสามารถคำนวณด้วยวิธีการดังแสดงในสมการที่ 1

$$n = \frac{N}{1 + \frac{N}{e}} \quad (1)$$

เมื่อ n คือ ขนาดของประชากร

N คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

e คือ ความคลาดเคลื่อนมากที่สุดที่ยอมรับได้

ในที่นี้ $N = 546$ และ $e = 0.05$

โดยผลของการคำนวณกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีจำนวนบริษัทอย่างน้อย 231 แห่ง จากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวที่ได้มาศึกษาและวิเคราะห์ผลต่อไป

3.2 ทบทวนวรรณกรรม

3.2.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับศึกษาและวิเคราะห์

ข้อมูลทุติยภูมิ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มแรกคือกลุ่มค้นคว้าทางอินเทอร์เน็ต เช่น มูลค่าการส่งออกเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม และตลาดการนำเข้าเครื่องจักร (Machinery Intelligence Unit, 2018), ประเภทเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร (Rattanapanone, 2018), ประเภทเครื่องจักรกลในกระบวนการผลิตยา (T.U PACK CO., 2018), และกลุ่มสองคือ ศึกษาค้นคว้าจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ Application of the Integrated QFD technique in the Design of an Innovative Machine for Cleaning the Drinking Water Tank (Impho et al., 2018), Design and selection of agricultural machinery using a quality function deployment technique (Kumar et al., 2015), Ice Machine Design Es Puter for Small Industries and Household With Quality Function Deployment Method (QFD) (Riyadi et al., 2013), การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการออกแบบและพัฒนาเครื่องหันทุเรียนต้นแบบ (Phontri & Chantrasa, 2012), การประยุกต์ใช้บ้านคุณภาพในการพัฒนารูปแบบข้าวสารเพื่อเป็นของที่ระลึก (Sinthavalai & Ruengrong, 2018), และการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อพัฒนาเครื่องสีข้าวแนวตั้งครบวงจร (Onwong et al., 2016)

3.2.2 การสร้างแบบสอบถาม

โดยการสร้างแบบสอบถามจะเป็นการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการสำรวจและรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์สถานประกอบการอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาในกลุ่มตัวอย่าง (โดยผู้ให้สัมภาษณ์ เป็นผู้มีตำแหน่งหน้าที่ระดับ ผู้จัดการทั่วไป ผู้จัดการ หัวหน้างาน หรือวิศวกร ขึ้นไป) เพื่อให้ได้ข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งมีข้อคำถามทั้งปลายปิดและปลายเปิด มีการตรวจสอบคุณภาพของแบบสอบถามโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของตัวแบบสอบถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ครั้งนี้

ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามข้อมูลส่วนบุคคลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 2 แบบสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับสถานประกอบการของผู้ตอบแบบสอบถาม ส่วนที่ 3 แบบสอบถามระดับความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา และส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะ ซึ่งโดยในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม และส่วนที่ 3 จะถูกนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จากนั้นจึงประยุกต์เข้ากับการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเพื่อหาคุณลักษณะของเครื่องจักรที่มีความต้องการเป็นลำดับถัดไป เมื่อสร้างแบบสอบถามเรียบร้อยแล้วจึงนำแบบสอบถามที่ผ่านการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิมาวิเคราะห์หาดัชนีค่าความสอดคล้องทางด้านเนื้อหาและภาษาที่ใช้เพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์ด้วยวิธีหาค่า IOC (Ratchathawan, 2016) และนำไปทดสอบความเชื่อมั่นกับกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีทดสอบสัมประสิทธิ์แอลฟา (Cronbach's alpha coefficient; α) (Kanjanaawasee, 2018)

3.2.3 การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment)

เมื่อได้ข้อมูลมาจากแบบสอบถามเป็นที่เรียบร้อยแล้วเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพโดยในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้เนื้อหาในเฟสที่ 1 คือ บ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality) เริ่มจากการนำค่าความต้องการของกลุ่มตัวอย่างในแบบสอบถามคำนวณหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) ดังสมการ 2 เพื่อให้ข้อมูลที่นำเชื่อถือที่สุด โดยเป็นการหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการหาค่าความสำคัญ (IMP) ในบ้านแห่งคุณภาพ

ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตที่ได้จากแบบสอบถามซึ่งจะกลายเป็นระดับความต้องการของกลุ่มตัวอย่างจะนำไปคูณกับน้ำหนักความสำคัญของแต่ละกลุ่มและนำไปหาค่าเฉลี่ยของระดับความต้องการ (IMP) เพื่อนำไปใส่ในบ้านคุณภาพจากนั้นจะเข้าสู่การสร้างบ้านแห่งคุณภาพเพื่อหาผลิตภัณฑ์หรือคุณลักษณะของเครื่องจักรที่ผู้ใช้งานมีความต้องการต่อไปซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

1. ส่วนด้านซ้ายสุดของบ้านคุณภาพ คือส่วนที่แสดงความต้องการของลูกค้า (Customer Needs) ที่ถูกแบ่งประเภทอย่างเป็นระเบียบเรียบร้อยแล้ว

2.ส่วนที่เป็นเพดานของบ้านคุณภาพ เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับรายละเอียดของข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลความต้องการของลูกค้าที่ถูกจัดระเบียบเรียงร้อยมาแปลงเป็นคุณลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ (SOCs) เพื่อให้สามารถวัดเป็นค่าของผลงานได้

3. ส่วนภายในของบ้านคุณภาพ เป็นส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้องการของลูกค้า (What) กับ ข้อกำหนดทางเทคนิค (How) ในรูปของสัญลักษณ์หรือตัวเลข ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้พัฒนาซึ่งแบ่งระดับออกเป็น 4 ระดับแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของผลกระทบในความสัมพันธ์

ตัวเลขที่ใช้กันทั่วไป	ความหมาย	ตัวเลขอื่น ๆ
0	ไม่มีความสัมพันธ์	
1	ความสัมพันธ์น้อย	
3	ความสัมพันธ์ปานกลาง	
9	ความสัมพันธ์มาก	10,7,5

4. ส่วนของหลังคาของบ้านคุณภาพ เป็นส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคในแต่ละข้อว่า ข้อกำหนดทางเทคนิคดังกล่าวมีผลกระทบหรือมีความเกี่ยวเนื่องต่อกันมากน้อยอย่างไรแบ่งระดับออกเป็น 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์เกี่ยวเนื่องความสัมพันธ์

สัญลักษณ์	ความหมาย
	ไม่มีความสัมพันธ์
x	ความสัมพันธ์น้อย
$\square$	ความสัมพันธ์มาก

$$\overline{\sigma} = \sqrt[n]{\sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 \dots \sigma_n} \quad (2)$$

เมื่อ N คือ ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม
 $1,2,3...n$ คือ จำนวนข้อมูล

5. ส่วนของพื้นบ้านของบ้านคุณภาพ เป็นส่วนที่แสดงเกี่ยวกับค่าความสำคัญของความสัมพันธ์ในขั้นตอนที่ 4 ส่วนภายในของบ้านคุณภาพ เพื่อให้ผู้พัฒนาทราบว่าข้อกำหนดทางเทคนิคและความต้องการของลูกค้าในข้อใดที่จะต้องได้รับการพัฒนา ก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งค่าความสำคัญดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

- 1.ค่าความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์
 - 2.ค่าความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบ
- โดยค่าทั้ง 2 ส่วนนี้หาได้จากสมการ (3) และ (4)

$$\mathbb{P}_I = \mathbb{P}(\mathbb{P}_{I/I} \times \mathbb{P}_I) \quad (3)$$

เมื่อ W_A คือ คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์

$R_{(t,c)}$ คือ ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการลูกค้า

R_w คือ ค่าลำดับที่ของการให้น้ำหนักเริ่มต้น

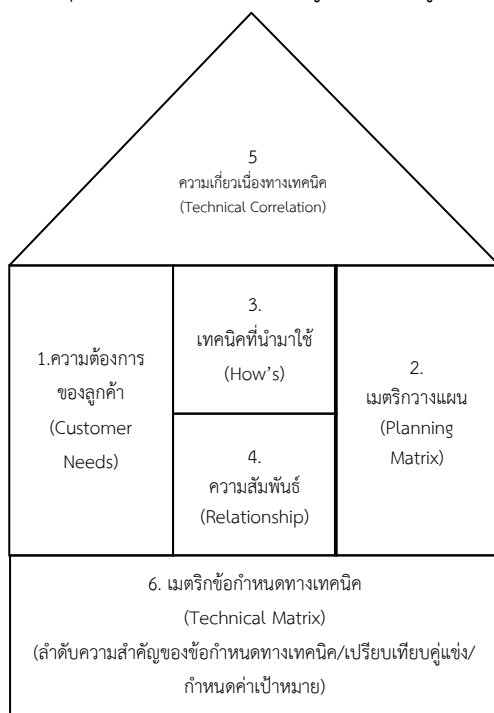
$$\varPi_{\varPi} = \frac{\varPi_{\varPi}}{\Sigma \varPi_{\varPi}} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ $\square_{\square}$ คือ คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค

$\square_{\square}$ คือ คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณของหัวข้อนั้น

$\Sigma W_{\square}$ คือ ผลรวมทั้งหมดของค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ

6. ส่วนของพื้นล่างสุดของบ้านคุณภาพ ได้แก่ เป้าหมายทางเทคนิค ซึ่งเป็นส่วนที่แสดงถึงลักษณะของข้อกำหนดทางเทคนิค, Competitive Benchmark และสภาพปัจจุบันของคุณลักษณะเครื่องจักรที่มีอยู่ในประเทศคู่แข่ง



รูปที่ 2 บ้านคุณภาพทั้ง 6 ส่วน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลประเมินเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับการหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของแบบสอบถามที่ใช้ในงานวิจัยโดยประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารพบว่าผลการประเมินคะแนนค่าเฉลี่ยของข้อแบบสอบถามรายข้อทั้งสิ้น 106 ข้อ โดยทุกข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถาม (IOC) มีค่ามากกว่า 0.50 แสดงให้เห็นได้ว่าแบบสอบถามนี้มีความเหมาะสมเชิงด้านเนื้อหา และอุตสาหกรรมยาพบว่าแบบสอบถามรายข้อทั้งสิ้น 98 ข้อมีค่าดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถาม (IOC) มากกว่า 0.50 ทุกข้อซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ทุกข้อเช่นกัน สำหรับการทดสอบความเชื่อมั่นของกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธี

ทดสอบสัมประสิทธิ์แอลฟา (Cronbach's alpha coefficient; α) แสดงดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปรแบบสอบถามด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมยา

ตัวแปร	Cronbach's Alpha
3.ระดับคะแนนความต้องการด้านคุณลักษณะเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมยา	
กลุ่มเตรียมส่วนผสม	0.609
กลุ่มกระบวนการผสมยา	0.968
กลุ่มกระบวนการตอกอัดเม็ดยา	0.976
กลุ่มกระบวนการอบแห้งเม็ดยา	0.980
กลุ่มกระบวนการทำความสะอาดเม็ดยา	0.970
กลุ่มกระบวนการเคลือบเม็ดยา	0.960
กลุ่มกระบวนการบรรจุและนับเม็ดยา	0.979

ตารางที่ 4 ค่าความเชื่อมั่นของตัวแปรแบบสอบถามด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร

ตัวแปร	Cronbach's Alpha
3.ระดับคะแนนความต้องการด้านคุณลักษณะเครื่องจักรกลสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร	
กลุ่มเตรียมส่วนผสม	0.912
กลุ่มกระบวนการทำแห้ง	0.970
กลุ่มกระบวนการกรอง	0.956
กลุ่มกระบวนการแช่แข็ง	0.974
กลุ่มกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน	0.817
กลุ่มกระบวนการทำให้เข้มข้น	0.960
กลุ่มกระบวนการบรรจุภัณฑ์	0.949

จากตารางที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่ากลุ่มคำถามแบบสอบถามในส่วนที่ 3 มีค่าความเชื่อมั่นเกิน 0.6 ซึ่งแสดงถึงว่ากลุ่มตัวอย่างมีความเข้าใจในข้อคำถามเป็นอย่างดีและคำตอบที่ได้รับตรงกับวัตถุประสงค์งานวิจัย

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม

ผลการศึกษาและประเมินความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรที่ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา มีผลการดำเนินงานวิจัยแสดงตามรายละเอียดต่อไปนี้

4.2.1 วิเคราะห์คุณลักษณะของผู้ตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่างในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา

จากผลการตอบกลับแบบสอบถามพบว่าวุฒิการศึกษาของกลุ่มตัวอย่างในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา อยู่ในระดับปริญญาตรีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละเฉลี่ย 73.8 ซึ่งแสดงถึงว่าข้อมูลที่ได้รับจากการตอบกลับจากผู้ตอบกลับแบบสอบถามเป็นข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรอย่างแท้จริง

ในด้านอายุการปฏิบัติงานของกลุ่มตัวอย่างในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารพบว่าค่าเฉลี่ยอายุการปฏิบัติงานมากกว่า 20 ปี

มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 39.1 และกลุ่มตัวอย่างในอุตสาหกรรม ยามีค่าเฉลี่ยอายุการปฏิบัติงาน 5-10 ปี มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 46.2 ซึ่งแสดงถึงประสบการณ์ของผู้ตอบกลับแบบสอบถาม ว่ามีความเชี่ยวชาญด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรเป็นอย่างดี

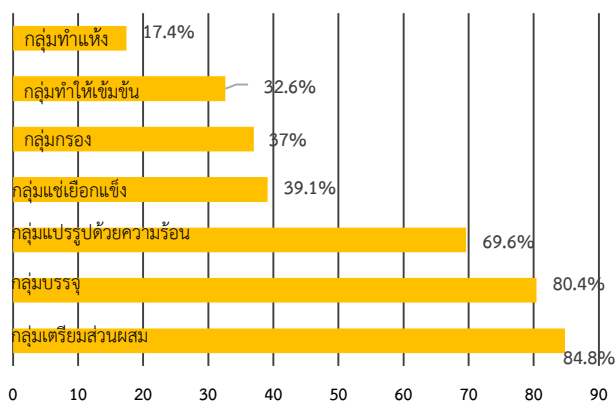
สำหรับตำแหน่งในการปฏิบัติงานของกลุ่มตัวอย่างพบว่า ดำรงตำแหน่งในระดับ ผู้จัดการ วิศวกร วิศวกร หัวหน้างาน ซึ่งเป็นผู้ทราบถึงข้อมูลของเครื่องจักรเป็นอย่างดีทำให้ข้อมูลที่ ได้จากแบบสอบถามมีคุณภาพ

ในหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ตอบกลับแบบสอบถาม พบว่ามีหน้าที่ความรับผิดชอบในสายการผลิตและสายซ่อม บำรุงมากที่สุดดังนั้นข้อมูลเชิงลึกที่ได้จากแบบสอบถามครั้งนี้ สามารถทำให้ทราบถึงความต้องการคุณลักษณะที่แท้จริงของ เครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารได้ เนื่องจากเป็นผู้ที่ ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับเครื่องจักรโดยตรง

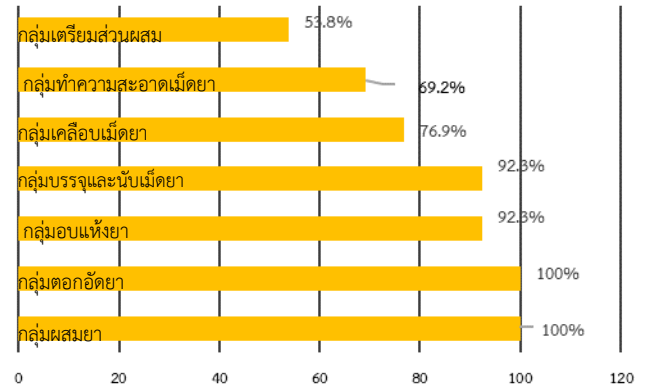
4.3 การวิเคราะห์คุณลักษณะของสถานประกอบการ

ในแบบสอบถามส่วนที่ 2 เป็นการสอบถามข้อมูล พื้นฐานในสถานประกอบการของกลุ่มตัวอย่างโดยข้อมูลส่วนนี้ จะแสดงกลุ่มกระบวนการผลิตที่มีอยู่ในสถานประกอบการกลุ่ม ตัวอย่าง อัตราการส่วนการเลือกใช้เครื่องจักรจากต่างประเทศ งบประมาณในการลงทุน อายุการใช้งานเครื่องจักร ซึ่งจะนำไป วิเคราะห์เพื่อจัดลำดับในการเลือกกลุ่มเครื่องจักรตาม กระบวนการที่มีการใช้งานมากที่สุดนำมาพัฒนา ก่อน นอกจากนี้ยังกำหนดประเทศคู่แข่งเพื่อหาสภาพปัจจุบันของ กลุ่มคู่แข่งเพื่อการประเมินราคาเครื่องจักร

สำหรับกระบวนการแปรรูปอาหารและยาที่มีใน อุตสาหกรรมแสดงดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4



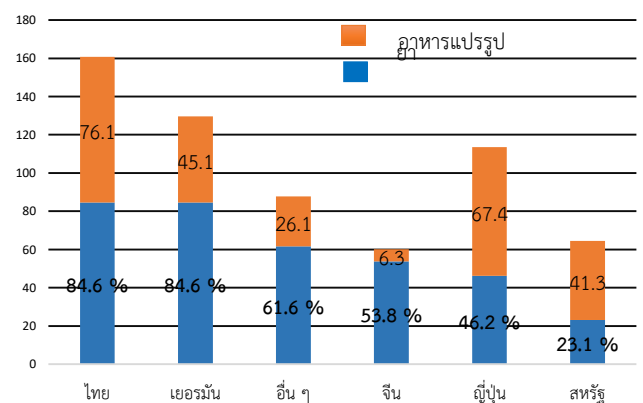
รูปที่ 3 ลำดับกลุ่มกระบวนการที่มีการใช้งานเครื่องจักรในอุตสาหกรรม แปรรูปอาหาร



รูปที่ 4 ลำดับกลุ่มกระบวนการที่มีการใช้งานเครื่องจักรในอุตสาหกรรมยา

จากรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 เป็นการเรียงลำดับการใช้งาน เครื่องจักรจากกลุ่มกระบวนการแปรรูปอาหารและยาที่มีการใช้ มากที่สุดไปยังกลุ่มที่ใช้กันน้อยที่สุด พบว่ากลุ่มกระบวนการ ที่มีการใช้งานมากที่สุดในอุตสาหกรรม 3 ลำดับแรกใน อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารได้แก่ กลุ่มกระบวนการเตรียม วัตถุดิบ, กลุ่มกระบวนการบรรจุ และ กลุ่มกระบวนการแปรรูป ด้วยความร้อน สำหรับอุตสาหกรรมยา ได้แก่ กลุ่มกระบวนการ ผสมยา, กลุ่มกระบวนการตอกอัดยา และกลุ่มกระบวนการ อบแห้งยา

สำหรับด้านอัตราส่วนการเลือกใช้เครื่องจักรจาก ต่างประเทศของกลุ่มตัวอย่างพบว่าการเลือกใช้เครื่องจักรดัง รูปที่ 5



รูปที่ 5 อัตราส่วนเลือกใช้เครื่องจักรจากประเทศต่าง ๆ ของ ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปและยา

ในด้านของอัตราส่วนการเลือกใช้เครื่องจักรจาก ต่างประเทศในรูปที่ 5 และ 6 พบว่า ในอุตสาหกรรมแปรรูป อาหารเลือกใช้เครื่องจักรจากญี่ปุ่นและจีนมากที่สุด และใน

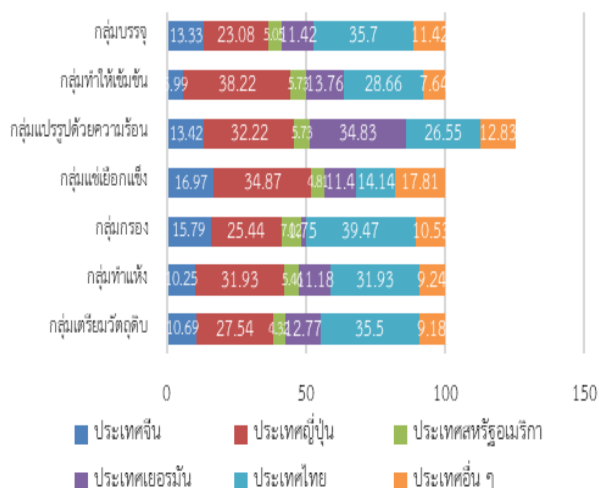
อุตสาหกรรมยาพบว่าเลือกใช้เครื่องจักรจาก เยอรมัน ประเทศอื่น ๆ เช่น มาเลเซีย ไต้หวัน อินเดีย และ จีน ญี่ปุ่น ตามลำดับ

สำหรับในชุดข้อมูลปลายเปิดเพื่อวิเคราะห์ร้อยละจำนวนของเครื่องจักรที่มีอยู่ในสถานประกอบการโดยจำแนกรายประเทศสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา ดังตารางที่ 5

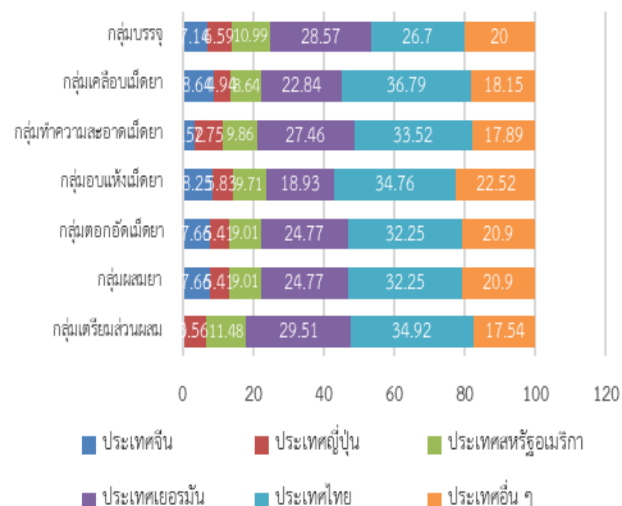
ตารางที่ 5 ร้อยละจำนวนของเครื่องจักรที่ใช้ในสถานประกอบการจำแนกรายประเทศสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา

ประเทศ	ร้อยละจำนวนของเครื่องจักรที่ใช้ในสถานประกอบการ (%)	
	อุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร	อุตสาหกรรมยา
ไทย	44	37.8
ญี่ปุ่น	37	31.25
จีน	25	28.3
เยอรมัน	21	17.50
USA	13	11.25

จากตารางที่ 5 แสดงถึงร้อยละเชิงจำนวนเครื่องจักรที่มีอยู่ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาในสถานประกอบการพบว่าเครื่องจักรที่อยู่ในอุตสาหกรรมนั้นมาจากญี่ปุ่นและจีนมากที่สุดตามลำดับดังนั้นจึงนำสภาพปัจจุบันของคุณลักษณะเครื่องจักรจากประเทศญี่ปุ่น และจีนมาเป็นคู่แข่งเพื่อวิเคราะห์ข้อเปรียบเทียบ



รูปที่ 6 ร้อยละเครื่องจักรจากประเทศต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหาร



รูปที่ 7 ร้อยละเครื่องจักรจากประเทศต่าง ๆ ที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมยา

ในด้านอายุการใช้งานและงบประมาณในการจัดซื้อเครื่องจักรของสถานประกอบการจากข้อมูลปลายเปิดนั้นพบว่าค่าอายุเฉลี่ยของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารคือ 16 ปี และอุตสาหกรรมยา 10 ปี สำหรับงบประมาณเฉลี่ยในการจัดซื้อของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเท่ากับ 32 ล้านบาท และอุตสาหกรรมยาเท่ากับ 6 ล้านบาท

4.3 การวางแผนผลิตภัณฑ์สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาด้วยบ้านแห่งคุณภาพ

เมื่อได้ลำดับในการเลือกพัฒนาเครื่องจักรตามกระบวนการผลิตที่มีการใช้งานมากที่สุดก่อน 3 ลำดับแรกแล้วจึงนำไปสร้างบ้านแห่งคุณภาพเพื่อค้นหาคุณลักษณะและคุณสมบัติของเครื่องจักรที่กลุ่มตัวอย่างความต้องการในกลุ่มกระบวนการนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 8 - รูปที่ 13

			ส่วนที่ 4											
movement Target			↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑	○		
ส่วนที่ 1	ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)		ส่วนที่ 3	พบข้อบกพร่อง กรณี และแรง กระทบ	ใช้ฟังก์ชันในการตัดสินใจ เพื่อจัดการปัญหา	ใช้งานง่าย	ประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี AI	เสริมคุณสมบัติ พลังงานหมุนเวียน เป็นไฟฟ้า	เพิ่มขีดความสามารถ ที่ทนทานต่อ	ประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี IoT	ทำความสะอาด	ความปลอดภัย ของอุปกรณ์ใช้งาน	ระบบ อัตโนมัติ	
ความต้องการลูกค้า (Customer Requirement)			IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ด้านโครงสร้าง	1.ใช้เทคโนโลยีวัสดุเสริมแรงสร้างชิ้นเครื่อง เช่น คาร์บอนไฟเบอร์	2.8	9											
	2.มีอุปกรณ์เพื่อประสิทธิภาพในการใช้งาน	3.7		9	3									
	3.มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและลดต้นทุน	4.2	1	1	9		3	9		3				
ด้านความทนทาน	4.สามารถติดตั้งทำงานของเครื่องจักรได้โดยอัตโนมัติ	4.0				9			3	3			9	
	5.สามารถแปลงพลังงานหมุนเวียนเป็นพลังงานไฟฟ้าใช้งานได้	2.9					9							
	6.ติดตั้งเซนเซอร์สำหรับตรวจสอบสภาพเป็น	3.8				9				3	3		9	
ด้านความปลอดภัย	7.เพิ่มขีดความสามารถที่ทนทาน เช่น ปั่น ทิ่ม โยน เครื่องจักร	3.3	1	3					9					
	8.ติดตั้งเซ็นเซอร์ในการตรวจสอบความเคลื่อนไหวของอุปกรณ์ใช้งาน	3.4				9				1				
	9.ป้องกันการลื่นไถลของชิ้นส่วนเครื่องจักรอยู่ในกระบวนการผลิต	3.6				9			3	9			9	
ด้านความปลอดภัยและการบำรุงรักษา	10.สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้จากระยะไกล	3.3			9					9			9	
	11.สามารถปรับตั้งโหมดการทำงานของเครื่องจักรผ่านอุปกรณ์ที่	3.2				9			3	9			9	
	12.ใช้เทคโนโลยี Machine Learning ในการประเมินสภาพเครื่องจักรพร้อม กับแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์แจ้งเตือนทันที	3.5				9				9			3	
	13.ระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในเครื่องจักร เช่น ฝุ่นละออง ความชื้น	3.5				9			3		3		9	
รวม				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ค่าเป้าหมายด้านประสิทธิภาพการดำเนินงานเปรียบเทียบ			ส่วนที่ 6	922.6	32	47	78	226	39	110	150	35	0	205
ค่าเป้าหมายด้านประสิทธิภาพการดำเนินงานเชิงปริมาณ				100	3.5	5.1	8.5	24.5	4.2	12.0	16.3	3.8	0.0	22.5
ส่วนที่ 7	เป้าหมายทางเทคนิค		SIUS 304/316	ลดพื้นที่ในการ ติดตั้ง	ต้องการตัวช่วย ติดตั้ง	3D Sensor	รับพลังงานไฟฟ้าได้ ทั้ง บ้าง และ และอื่น ๆ	Servo motor	Data storage	ลดปริมาณค่า	Safety interlock sensor	PLC Controller		
Competitive benchmark	ส่วนที่ 8		ประเภทอื่น	SIUS 304/316	พื้นที่ในการติดตั้ง ลดลง 40 %	ต้องการตัวช่วย ติดตั้ง	3D Sensor	ไม่มี	Servo motor	ไม่มี	ลดปริมาณค่า	Safety interlock sensor	Automatic air gripping system	
			ประเภทผู้ใช้งาน	SIUS 304/316	พื้นที่ในการติดตั้ง ลดลง 40 %	ต้องการตัวช่วย ติดตั้ง	ไม่มี	ไม่มี	Servo motor	ไม่มี	ลดปริมาณค่า	ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบพกพาพิเศษ	PLC Controller	

รูปที่ 8 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการเตรียมส่วนผสม

Movement Target													
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)			วัสดุที่ไม่เป็นพิษ	เครื่องใช้ง่าย	สีที่ขึ้น ง่ายและทน	ประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี AI	ประยุกต์ใช้ เทคโนโลยี IoT	ระบบอัตโนมัติ	ใช้งานง่าย	ความปลอดภัยต่อ ผู้ใช้งาน	บำรุงรักษาง่าย	ทำความสะอาดง่าย	
ความต้องการลูกค้า (Customer Requirement)			IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ด้านโครงสร้าง	1.ใช้เทคโนโลยีวัสดุเสริมแรงตัวเครื่อง เพื่อความทนทาน เช่น คาร์บอนไฟเบอร์	3.0	1										
	2.ชุดเครื่องจักรสามารถปรับเปลี่ยนได้เช่น มีล้อที่สามารถถอดได้เพื่อความสะดวกในการขนย้ายเครื่องจักร	3.9		9									
	3.มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและถอดประกอบ	4.1		3	3	3	3	3		9			
ด้านความสวยงาม	4.รายงานข้อมูลในการบรรจุภัณฑ์ผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่ตลอด 24 ชั่วโมง	3.3				9	9	9	3				
	5.สามารถบรรจุสินค้าได้ในรูปแบบที่หลากหลาย เช่น สามารถบรรจุได้ทั้งสินค้าที่เป็นของเหลวและเป็นเม็ดหรือผงได้	3.5			3				3				
	6.สามารถตรวจสอบถึงขั้นตอนและคัดแยกอัตโนมัติเมื่อตรวจพบ	3.8			3	9		9					1
	7.สามารถเชื่อมต่อระบบกับระบบตรวจสอบได้ภายในเครื่องเดียว	3.2			3				3				
ด้านความปลอดภัย	8.สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรได้ในระยะไกล เช่น การเปิด-ปิด เครื่องจักร	2.9				9	9	3					
	9.ติดตั้งระบบสัญญาณแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่	3.4				3	9	9		1			
	10.สั่งพิมพ์ผ่านแท็บเล็ตการตั้งค่าเครื่องจักรในส่วนที่สำคัญ	3.4						3	3				
ด้านความสะดวกและ การบำรุงรักษา	11.รายงานประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่	3.6				9	9	9					
	12.ตั้งค่าปัจจัยที่ใช้ในการทำความสะอาดภายในเครื่องจักรได้อัตโนมัติ เช่น สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด	3.7				9		9	1				9
	13.ระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในเครื่องจักร เช่น สารตกค้างหรือคราบสกปรกเฉพาะจุด	3.7			3	9		9	9	1			3
		รวม		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ			844.3	3	48	55	212	132	226	77	44	0	48
คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเชิงอนุกรม			100	0.4	5.6	6.5	25.1	15.6	26.7	9.1	5.2	0.0	5.7
เป้าหมายทางเทคนิค			โครงสร้างที่แข็งแรง ทำจาก สแตนเลส	มีล้อเลื่อน	Filling-Sealing Machine	Self-Diagnostic Function	Automatically record the working status	PLC Controller	ใช้งานโดยหน้าจอ สัมผัส	ติดตั้งทำงานโดย อัตโนมัติเป็นวง สัปดาห์	พองตัวอัตโนมัติ	ถอดประกอบง่าย	
Competitive benchmark	ประเทศจีน		โครงสร้างที่แข็งแรง ทำจาก สแตนเลส	ไม่มีล้อ	Auto-Prester Filling-Sealing Machine	Self-Diagnostic Function	Automatically record the working status	PLC Controller	ใช้งานโดยหน้าจอ สัมผัส	ติดตั้งทำงานโดย อัตโนมัติเป็นวง สัปดาห์	ติดตั้งระบบหล่อ เย็นในตัว	ถอดประกอบง่าย	
	ประเทศญี่ปุ่น		โครงสร้างที่แข็งแรง ทำจาก สแตนเลส	มีล้อเลื่อน	Full Automatic Filling-Sealing Machine	Self-Diagnostic Function	Automatically record the working status	PLC Controller	ใช้งานโดยหน้าจอ สัมผัส	ติดตั้งทำงานโดย อัตโนมัติเป็นวง สัปดาห์	พองตัวอัตโนมัติ	ถอดประกอบง่าย	

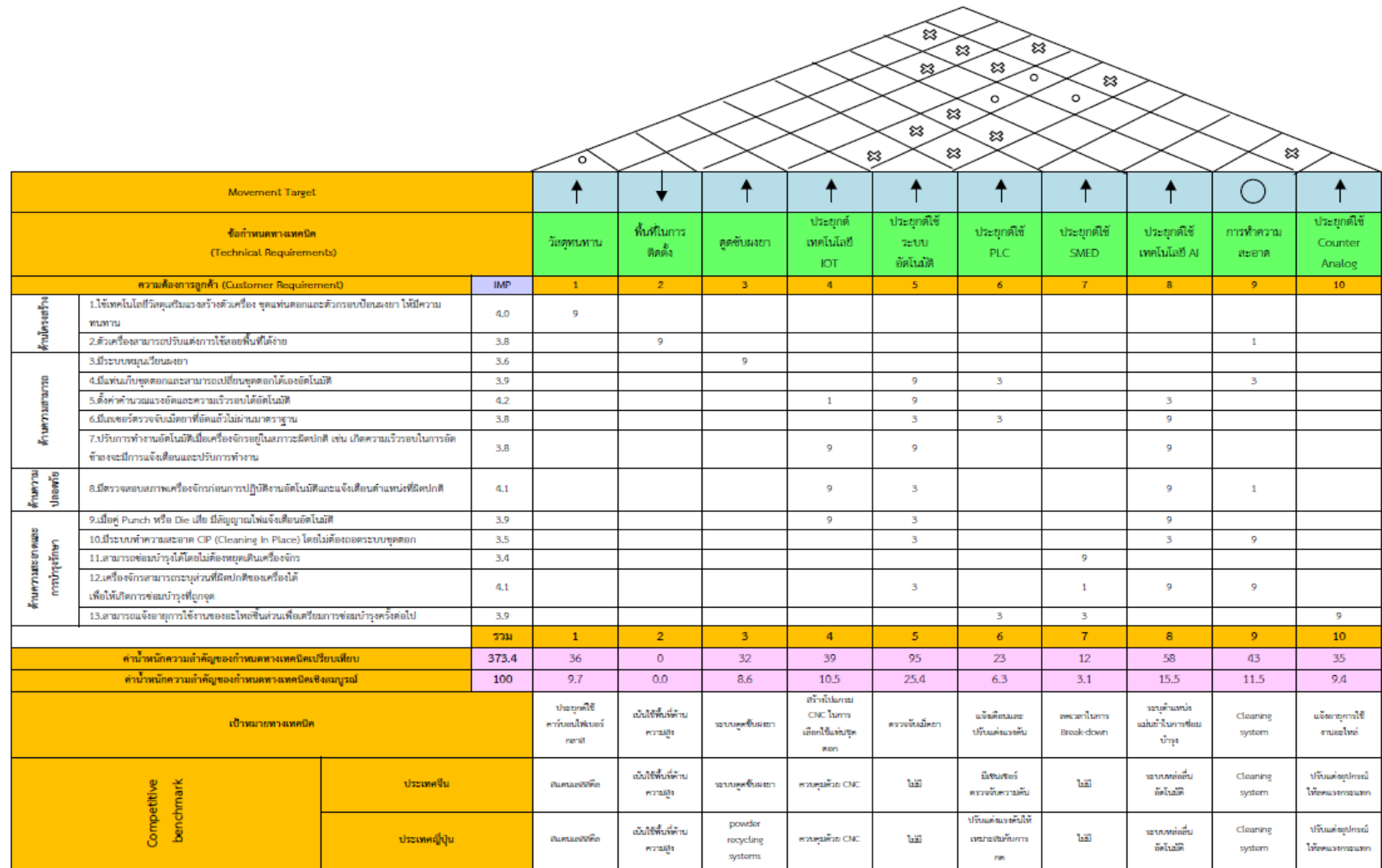
รูปที่ 9 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการบรรจุ

Movement Target			○	○	↓	↑	↑	↑	↑	↑	○	↑
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)			ไม่ระบุเป็นอันดับ	เพิ่มในการติดตั้ง	ลดการให้ความร้อน	เพิ่มอุณหภูมิ เฉลี่ยในถัง A	เพิ่มอุณหภูมิ เฉลี่ยในถัง K2	ระบบอัตโนมัติ	กำลังในการผลิต	พลังงาน	การใช้งาน	การทำความสะอาด
ความต้องการลูกค้า (Customer Requirement)		IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ด้านโครงสร้าง	1.เทคโนโลยีควบคุมในการสร้างเครื่องจักรเพื่อลดหรือขจัดความเสี่ยงของเชื้อโรคต่าง ๆ	3.9	1									9
	2.มีรูปทรงสูงเพื่อประหยัดพื้นที่ในการใช้งาน	3.7		9							1	3
	3.มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและถอดประกอบ	4.2		1					1		3	3
ด้านความสะดวก	4.มีรูปแบบการให้ความร้อนที่ปลอดภัย ง่าย เช่น สามารถใช้ได้ทั้ง พายโรเจอร์ สเตอริไลซ์ และอื่น ๆ ภายในเครื่องเดียว	3.4			9			3	9	3	1	1
	5.ใช้เทคโนโลยี Machine learning สำหรับตั้งค่าอุณหภูมิหรือเวลาที่ใช้ในการแปรรูปอาหารได้เองอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต	3.6			1	9	3	9	1	1		
	6.ตรวจสอบคุณภาพโภชนาการของอาหารขณะที่ยังอยู่ในถังและเก็บตัวอย่างได้	3.7				9	9	3		1		
ด้านความปลอดภัย	7.ติดตั้งเซ็นเซอร์สำหรับตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนของอาหารได้อัตโนมัติ	3.5				9	9	9				1
	8.ควบคุมการทำงานของเครื่องผ่านระบบ WIFI เช่น การเปิด-ปิด เครื่องจักร	3.0				9	9	3			9	
	9.ควบคุมอุณหภูมิภายในเพื่อป้องกันการเกิดเชื้อรา	4.0				9	3	9		1		
ด้านความสะอาดและการบำรุงรักษา	10.ติดตั้งสำหรับทำความสะอาดเครื่องจักรในส่วนที่สำคัญ	3.5				9	3	9			9	
	11.รายงานข้อมูลตลอด 24 ชม. ผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่	3.5					9	9	3		1	
	12.ตั้งค่าปัจจัยที่ใช้ในการทำความสะอาดภายในเครื่องจักรได้อัตโนมัติ เช่น สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาด	3.5				9	9	9		1	1	9
	13.ระบบตรวจสอบสภาพแวดล้อมภายในเครื่องจักร เช่น สารตกค้าง ความสกปรกเฉพาะจุด	3.7				9	9	9			1	9
รวม			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ		1069.9	4	37	34	224	241	236	49	25	89	130
คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคเชิงสมมุติฐาน		100	0.4	3.5	3.2	20.9	22.6	22.1	4.6	2.3	8.3	12.1
เป้าหมายทางเทคนิค			ลดมลพิษ	เน้นการใช้พื้นที่ด้านความสูง	a short heating-up period.	ควบคุมปัจจัยในการผลิตอัตโนมัติ	รายงานข้อมูลการผลิต	ควบคุมด้วยระบบ PLC	สามารถปรับแต่งได้	Heat Recover System	เข้ารหัสสำหรับใช้งาน	Self-Optimize CIP cleaning System
Competitive benchmark	ประเทศจีน		ลดมลพิษ	ไม่มี	a short heating-up period.	ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	ไม่มี	ควบคุมด้วยระบบ PLC	สามารถปรับแต่งได้	หมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ซ้ำ	หน้าจอสัมผัส	Automatic ally CIP cleaning System
	ประเทศญี่ปุ่น		ลดมลพิษ	ขึ้นอยู่กับความต้องการ	a short heating-up period.	ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ	ไม่มี	ควบคุมด้วยระบบ PLC	ไม่มี	หมุนเวียนความร้อนกลับมาใช้ซ้ำ	หน้าจอสัมผัส	Automatic ally CIP cleaning System

รูปที่ 10 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน

Movement Target			↑	↓	↑	↑	↑	○	↑	○
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)			เฉพาะพิจารณาเมื่อ	พิจารณาเมื่อ	ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI	ประยุกต์ใช้ระบบอัตโนมัติ	เฉพาะบางเงื่อนไข	การทำความสะอาด	ความปลอดภัย	การเชื่อมบำรุง
ความต้องการลูกค้า (Customer Requirement)		IMP	1	2	3	4	5	6	7	8
ด้านโครงสร้าง	1.ใช้เทคโนโลยี "ALU-FOAM" เข้ามาช่วยในการดูดเสียงรบกวน	2.4	9						1	
	2.เครื่องจักรควรเป็นรูปทรงสูงเพื่อประหยัดพื้นที่การใช้งาน	3.8		9				1		1
ด้านความสะอาด	3.คำนวณและจัดการระบบท่อและท่ออัตโนมัติ	4.5			9	9				
	4.สามารถควบคุมระยะเวลาในการบำบัดได้อัตโนมัติจากปริมาณที่กำหนด	4.5			9	9				
	5.มีระบบดูดความชื้นออกจากห้องอัตโนมัติ	4.4			9	9			1	1
	6.ระบบลิ้นจะเตือนการปรับให้เข้ากับรูปแบบส่วนย่อยได้อัตโนมัติ	4.4								
ด้านความปลอดภัย	7.มีตรวจสอบภาพเครื่องจักรก่อนการปฏิบัติงานอัตโนมัติ และแจ้งเตือนตำแหน่งที่ผิดปกติ	4.7			9	9	9		9	9
ด้านความสะอาดและการบำรุงรักษา	8.มีระบบทำความสะอาด CIP (Cleaning in Place) โดยไม่ต้องถอดชิ้นส่วนเครื่องจักร	3.7			3	3	9		1	1
	9.มีระบบฆ่าเชื้อแบบไม่แยกชิ้นส่วน SIP (Sterilization in Place) ป้องกันการติดเชื้อและปนเปื้อนโดยอัตโนมัติ	3.7			3	3	9		1	1
	10.เครื่องจักรสามารถระบุส่วนที่ผิดปกติของเครื่องได้เพื่อให้เกิดการซ่อมบำรุงที่ถูกต้อง	4.4			9	3			3	9
รวม			1	2	3	4	5	6	7	8
คำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ		755.9	21	34	224	198	109	4	69	97
คำนวณหาค่าเฉลี่ยของข้อกำหนดทางเทคนิคเชิงมาตรฐาน		100.0	2.8	4.5	29.6	26.2	14.4	0.5	9.2	12.8
เป้าหมายทางเทคนิค			เฉพาะพิจารณาเมื่อถึงขั้นพนักงาน	เน้นการใช้พื้นที่สูง	Self-Diagnostic Function	ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับอุณหภูมิ	ป้องกันการปนเปื้อนตาม GMP	Clean in Place	มีระบบดูดอากาศ	ระบุตำแหน่งซ่อมบำรุงด้วย AI
Competitive benchmark	ประเทศจีน		ไม่มี	ปรับแต่งการทำงาน	มีน้ำหนักที่เบากว่า	ระบบปิดการทำงาน	ไม่มี	มีระบบดูดอากาศ	กำลังอยู่ในขั้น	ไม่มี
	ประเทศญี่ปุ่น		ไม่มี	สามารถปรับแต่งการทำงานส่วนย่อยได้	มีกึ่งอัตโนมัติ	ลดเสียงรบกวนในการผลิต	สามารถเชื่อมต่อการขนส่งได้	มีระบบดูดความชื้นเพื่อรักษาคุณภาพสินค้า	ระบบดูดฝุ่น	ไม่มี

รูปที่ 11 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการผลผลิต



รูปที่ 12 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการดอกลาย

Movement Target			↑	↓	↑	↑	↓	↑	↑	○	↑	↑
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)			ใช้งานได้ ทดแทนภายใน	เพิ่มในการ ติดตั้ง	ประยุกต์ใช้ เสริมกับระบบ	ประยุกต์ใช้ ระบบอัตโนมัติ	ด้านพลังงาน	ประยุกต์ใช้ ระบบ AI	ประยุกต์ใช้ IoT	การทำความสะอาด	ความปลอดภัย	เสริมลดรับ ความร้อน
ความต้องการลูกค้า (Customer Requirement)		IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ด้านโครงสร้าง	1.มีความยืดหยุ่นในการใช้และถอดประกอบ	3.5	9							1	1	
	2.มีรูปทรงสูงเพื่อประหยัดพื้นที่ในการใช้งาน	3.1		9						1	3	
ด้านความสะดวก	3.ใช้เทคโนโลยีควบคุมสร้างตัวเครื่องเพื่อรักษาอุณหภูมิภายใน เช่น จำนวนกับความร้อน	4.6			3		9					3
	4.ควบคุมทิศทางการแผ่ความร้อนอัตโนมัติ ตามสภาวะความชื้นของวัสดุผิว	4.5	1			3	9	3				
	5.สามารถคำนวณเวลาในการทำความเย็นอัตโนมัติ	3.7				9	3	3				
	6.ระบบหมุนเวียนความร้อน เช่น นำความร้อนที่ปล่อยออกจากตู้กลับมาใช้ซ้ำ	3.1				3	9	3				
	7.รับความร้อนได้หลายรูปแบบ เช่น รูปแบบความร้อนและรูปแบบนำความร้อนอื่น ๆ ได้ในเครื่องเดียว	3.4	3		3							9
ด้านความปลอดภัย	8.ควบคุมอุณหภูมิภายในกำหนดโดยอัตโนมัติ	4.2				9	3	3				
ด้านความสะดวกและการบำรุงรักษา	9.ตรวจจับเพลิงไหม้/การระเบิด เป็นรอบเวลาพร้อมแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ	4.1				9	1	9	3		3	
	10.ระบบตรวจสอบสภาพเครื่องจักรก่อนการปฏิบัติงานอัตโนมัติ	3.7				9	1	9	1		3	
	11.รายงานข้อมูลการใช้งานความร้อนแบบ Real-time	3.6				9	9	9	9			
	12.ทำความสะอาดภายในได้โดยไม่ต้องถอดประกอบเครื่องจักร	4.0					1			9		
	13.แจ้งเตือนจุดบกพร่องหรือจุดที่ความร้อนเกิดการรั่วไหลของเครื่องจักรผ่านอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่	3.9				9	9	9	9		3	
รวม			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบ		676.2	46	10	24	162	147	140	61	14	49	24
ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคเชิงอนุกรม		100.0	6.9	1.5	3.6	23.9	21.7	20.7	9.0	2.0	7.2	3.6
เป้าหมายทางเทคนิค			พยายามในการทำงาน	เน้นใช้พื้นที่ด้านความสูง	ใช้ระบบทำความร้อน	ประยุกต์ใช้ PLC	Heat recover systems	ใช้ Self-Diagnostic function	รายงานสถานะของเครื่องจักร	Clean in place	ตรวจจับเพลิงไหม้และขอรับแจ้ง	Short Heating-up period
Competitive benchmark	ประเทศจีน	ผลิตภัณฑ์และการแข่งขันอยู่ในเครื่องเดียว	ไม่มี	ไม่มี	เครื่องทำความเย็น	ระบบจัดการทำงานเมื่อไม่มีพลังงาน	อุณหภูมิความร้อนนำกลับมาใช้	ไม่มี	ตั้งรหัสผ่านในการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร	Clean in place	ระบบป้องกันการระเบิด	Short Heating-up period
	ประเทศญี่ปุ่น	ผลิตภัณฑ์และการแข่งขันอยู่ในเครื่องเดียว	ไม่มี	ไม่มี	มีฟังก์ชันควบคุมอุณหภูมิ	ไม่มี	อุณหภูมิความร้อนนำกลับมาใช้	ไม่มี	ตั้งรหัสผ่านในการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร	Clean in place	มีเครื่องมือป้องกันไฟฟ้เกิดไฟไหม้ขณะเปิด	มีอุณหภูมิความร้อนนำกลับมาใช้

รูปที่ 13 บ้านคุณภาพกลุ่มกระบวนการอบแห้งยา

งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการออกแบบบ้านแห่งคุณภาพทั้งสิ้น 14 หลังตามกลุ่มกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา โดยมีส่วนประกอบทั้ง 8 ส่วนเพิ่มเติม เป็นดังนี้

ส่วนที่ 1 ความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง ได้จากการตอบแบบสอบถามนำมาแปลงเป็นเสียงความต้องการ จากนั้นนำมาใส่ในความต้องการของลูกค้า

ส่วนที่ 2 เมตริกความสัมพันธ์ เป็นการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของกลุ่มตัวอย่างและข้อกำหนดทางเทคนิคโดยส่วนนี้จะมาจากการพิจารณาของผู้วิจัยให้กำหนดระดับคะแนน

ส่วนที่ 3 ข้อกำหนดทางเทคนิคได้จากการระดมความคิดของผู้วิจัยเพื่อหาแนวทางการตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มตัวอย่าง

ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ

ส่วนที่ 5 ค่าเฉลี่ยระดับความต้องการ (IMP)

ส่วนที่ 6 ค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทาง

เทคนิคสมบูรณ์ และค่าน้ำหนักของข้อกำหนดทางเทคนิคเปรียบเทียบและนำผลค่าที่มากที่สุดมาเป็นลำดับในการเลือกพัฒนาให้ตอบสนองความต้องการ

ส่วนที่ 7 เป้าหมายทางเทคนิค เพื่อกำหนดทิศทางการพัฒนาให้ตอบสนองลูกค้าว่าควรจะทำอย่างไรจึงจะเป็นไปตามความต้องการของลูกค้าซึ่งจะช่วยให้การช่วยให้ออกข้อกำหนดทางเทคนิคมีความชัดเจนเป็นรูปธรรมมากยิ่งขึ้น

ส่วนที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบสภาพปัจจุบันของคุณลักษณะเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารที่มาจากประเทศคู่แข่งได้แก่ ญี่ปุ่นและจีน

เมื่อได้ระดับคะแนนค่าความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ และค่าความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคโดยเปรียบเทียบแล้วจึงนำมาเรียงคะแนนเพื่อเลือกลำดับคุณลักษณะนำมาพัฒนาต่อไป ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาคะแนนจากค่าความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์โดยคะแนนจะมาจากความต้องการด้านคุณลักษณะ 3 ลำดับแรกของ 3 กลุ่มกระบวนการที่มีการใช้งานมากที่สุด จากนั้นเมื่อพิจารณาแล้วจึงรวบรวมข้อสรุปเกี่ยวกับผลด้านข้อกำหนดทางเทคนิค และเป้าหมายทางเทคนิค เพื่อให้ผู้ผลิตเครื่องจักรสามารถสร้างผลิตภัณฑ์เครื่องจักรที่มีคุณลักษณะตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานเครื่องจักรได้จริงโดยแสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ผลสรุปเป้าหมายทางเทคนิคของ 3 กลุ่มกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีการใช้งานมากที่สุด

กลุ่มกระบวนการ	ข้อกำหนดทางเทคนิค	เป้าหมายทางเทคนิค
กระบวนการเตรียมส่วนผสม	ปัญญาประดิษฐ์	3D sensor สำหรับตรวจสอบรูปร่างวัตถุดิบ
	ระบบอัตโนมัติ	PLC Controller สำหรับควบคุมอัตโนมัติของระบบการทำงาน
	Internet of Things	Data Storage เก็บข้อมูลการผลิตย้อนหลัง
กลุ่มกระบวนการบรรจุ	ระบบอัตโนมัติ	ระบบอัตโนมัติ สำหรับควบคุมระบบ PLC ของเครื่องจักร
	ปัญญาประดิษฐ์	มีระบบตรวจสอบตัวเอง Self-Diagnostic Function
	Internet of Things	รายงานและบันทึกข้อมูลสถานะเครื่องจักรอัตโนมัติ
กลุ่มกระบวนการแปรรูปด้วยความร้อน	Internet of Things	รายงานข้อมูลการผลิต
	ระบบอัตโนมัติ	ควบคุมด้วยระบบ PLC
	ปัญญาประดิษฐ์	ควบคุมปัจจัยการผลิตอัตโนมัติ

ตารางที่ 7 ผลสรุปเป้าหมายทางเทคนิคของ 3 กลุ่มกระบวนการผลิตที่มีการใช้งานมากที่สุด

กลุ่มกระบวนการ	ข้อกำหนดทางเทคนิค	เป้าหมายทางเทคนิค
กระบวนการผสมยา	ปัญญาประดิษฐ์	ระบุตำแหน่งที่เครื่องจักรเกิดการชำรุด
	ระบบอัตโนมัติ	เซนเซอร์เพื่อตรวจสอบปริมาณ
	การทำความสะอาด	ด้านการทำความสะอาด ด้วยการตรวจสอบตัวเอง หรือ Self-Diagnostic Function
กระบวนการตอกยา	ระบบอัตโนมัติ	ตรวจสอบคุณภาพขนาดเม็ดยา
	ปัญญาประดิษฐ์	ระบุตำแหน่งที่เครื่องจักรเกิดการชำรุดและซ่อมบำรุง
	การทำความสะอาด	ใช้ระบบ CIP (Clean in place)
กระบวนการอบแห้งยา	ระบบอัตโนมัติ	ใช้ควบคุมระบบ PLC
	พลังงาน	นำความร้อนที่ผ่านระบบกลับมาใช้ใหม่
	ปัญญาประดิษฐ์	การใช้ Self-Diagnostic Function

5.สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นศึกษาคุณลักษณะของเครื่องในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา และประยุกต์ใช้การกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพค้นหาความต้องการด้านคุณลักษณะของเครื่องจักรที่มีต่อผู้ใช้งานสำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยา ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1 ปัจจุบันกลุ่มผู้ผลิตในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารเลือกใช้กลุ่มเครื่องจักรจากต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่นและจีน มากที่สุด และในอุตสาหกรรมยาเลือกใช้เครื่องจักรจากประเทศเยอรมัน มากที่สุดรองลงมาได้แก่ มาเลเซีย อินเดีย และไต้หวัน ซึ่งในด้านของร้อยละเชิงจำนวนพบว่าอุตสาหกรรมทั้งสองในสถานประกอบการมีกลุ่มเครื่องจักร

จากต่างประเทศได้แก่ ญี่ปุ่น และจีน มากที่สุดจึงเลือกนำสภาพปัจจุบันของคุณลักษณะของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาในสองประเทศนี้มาเป็นข้อเปรียบเทียบการแข่งขันและประเมินศักยภาพเพื่อนำมาเป็นโครงร่างในการพัฒนาเนื่องจากประเทศญี่ปุ่นเป็นต้นแบบของอุตสาหกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนวัตกรรมและความคิดสร้างสรรค์ส่วนประเทศจีนเป็นประเทศที่ขับเคลื่อนด้วยการผลิตสินค้าต้นทุนต่ำราคาถูกและรวมถึงการมีแรงงานจำนวนมากลดต้นทุนการจ้างแรงงานต่ำซึ่งสองประเทศดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมในการเลือกนำมาเป็นแม่แบบในการพัฒนาต่อไป

5.2 ในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารมีการใช้เครื่องจักรจากกลุ่มกระบวนการเตรียมวัตถุดิบมากที่สุดในอุตสาหกรรม รองลำดับลงมาได้แก่ กลุ่มกระบวนการกรองและแปรรูปด้วยความร้อน และในอุตสาหกรรมยา ได้แก่ กลุ่มกระบวนการผสมยา, กลุ่มกระบวนการตอกอัดยา และกลุ่มกระบวนการอบแห้งเม็ดยา ซึ่งทำให้ทราบถึงลำดับในการเลือกพัฒนากลุ่มเครื่องจักรโดยเลือกจากกลุ่มที่มีการใช้งานมากที่สุดในอุตสาหกรรมก่อน เพื่อทราบทิศทางในการพัฒนาและเร่งเพิ่มศักยภาพผู้ผลิตเครื่องจักรไทยให้สามารถผลิตเครื่องจักรให้ตอบสนองความต้องการที่แท้จริงของกลุ่มผู้ใช้งานเครื่องจักรได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

5.3 ด้านอายุการใช้งานและงบประมาณในการจัดซื้อซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเลือกใช้งานเครื่องจักรในสถานประกอบการผลการวิเคราะห์นั้นพบว่า วงจรอายุเฉลี่ยของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาคือ 16 ปี และ 10 ปี ตามลำดับ สำหรับงบประมาณในการลงทุนเพื่อจัดซื้อเครื่องจักรเฉลี่ยของอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาเท่ากับ 32 ล้านบาท และ 6 ล้านบาท ตามลำดับซึ่งผู้ผลิตเครื่องจักรต้องตระหนักถึงปัจจัยดังกล่าวเพื่อลดข้อจำกัดทางด้านราคาเครื่องจักรจากต่างประเทศซึ่งมีมูลค่าต่ำกว่าประเทศไทยส่งผลให้เกิดมูลค่าการนำเข้าเครื่องจักรนั้นสูงขึ้นอันเนื่องมาจากพื้นฐานแรงงานอีกทั้งต้องคำนึงในด้านการพิจารณาเลือกวัสดุนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรโดยส่งผลกระทบต่อโครงสร้างความทนทาน อายุการใช้งานซึ่งมีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องจักรของผู้ใช้งาน

5.4 คุณลักษณะของเครื่องจักรที่มีความต้องการมากที่สุดจากการวิเคราะห์ฐานคุณภาพทั้ง 14 หลังในทุกกลุ่มกระบวนการ สำหรับอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารได้แก่ 1. การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ 2. ระบบอัตโนมัติ 3. Internet of Things สำหรับอุตสาหกรรมยา ได้แก่ 1.การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ 2. ระบบอัตโนมัติ และ 3.ด้านการทำความสะอาดและด้านพลังงาน ซึ่งมีทิศทางการพัฒนาและเป้าหมายทางเทคนิคตามผลลัพธ์ของงานวิจัยซึ่งหากคุณลักษณะดังกล่าวมีการส่งเสริมพัฒนาจะส่งผลให้ขีดความสามารถของเครื่องจักรไทยสามารถแข่งขันกับประเทศคู่แข่งได้

โดยผลการวิจัยครั้งนี้พบว่าเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและยาในประเทศไทยนั้นควรที่จะต้องพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานอย่างแท้จริงซึ่งถือเป็นการ บูรณาการทั้งสองอุตสาหกรรมให้มีทิศทางสอดคล้องกันและผลงานวิจัยนี้ยังสามารถนำผลที่ได้ไปกำหนดกลยุทธ์ในการพัฒนาเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้ผู้ผลิตเครื่องจักรไทยและเพิ่มความแข็งแกร่งให้กับห่วงโซ่การผลิตเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการผลักดันให้ประเทศก้าวข้ามพ้นกับดักรายได้ปานกลาง (Middle Income Trap: MIP) ในอนาคตได้อย่างเต็มศักยภาพ อย่างไรก็ตามเนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงสำรวจซึ่งใช้ผลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถามเป็นสำคัญส่งผลให้คำตอบอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับเงินสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีงบประมาณ 2561 โดยงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ตอบกลับแบบสอบถามทุกท่านที่สละเวลาสำหรับตอบแบบสอบถามทั้งนี้ผู้วิจัยขอ กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

8. เอกสารอ้างอิง

- Impho, W., Poonikom, K., Pannuchaoenwong, N., & Echaro, S. (2018). Application of the Integrated QFD technique in the Design of an Innovative Machine for Cleaning the Drinking Water Tank. Research India Publications. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(2), 915-921.
- Kanjanawasee, S. (2018). *Principles and theory of measurement*. <http://www.edu.tsu.ac.th/major/eva./files/journal/sirichai.pdf>

- Kumar, A., Tewari, K., Maiti, J., & Nare, B. (2015). Design and selection of agricultural machinery using a quality function deployment technique. *CIGR Journal*, 17(4), 91-99.
- Machinery Intelligence Unit (MIU). (2018). *Thai import and export market of machinery*. http://miu.isit.or.th/IMEX_Thai_Country.aspx
- Machinery Intelligence Unit. (2018). *The import and export of product*. http://miu.isit.or.th/IMEX_Thai_Product.aspx
- Onwong, J., Chawna, Ch., & Suepsri, W. (2016). *Quality Function Deployment Approach to Development of Household Vertical Rice Milling Machine*. http://app.eng.ubu.ac.th/~ie/article/pdf/2559/ubu_research59_03.pdf
- Paknawin, S. (2017). *First S-curve & New S-Curve*. http://www.industry.go.th/sakaeo/index.phpnews/item/download/98_6a3a62eaca81cc93826fda84c141cf27
- Phontri, C., & Chantrasa, R. (2012). An Application of Quality Function Deployment in Designing and Development of Conceptual Design for the Durian Shearing Machine. *IE Network Conference*, 2012, 1688-1693.
- Ratchathawan, R. (2016). *Measurement-tools-monitoring*. <http://divisionssru.ac.th/research/wpcontent/uploads/sites/26/2016/09/Measurement-tools-monitoring.pdf>
- Rattanapanone, N. (2018). *Food Processing Equipment*. <http://www.foodnetworksolution.com>
- Riyadi, S., Ong W, A., & Abdullah, M. H., (2013). Ice Machine Design Es Puter for Small Industries and Household with Quality Function Deployment Method (QFD). *Industrial Engineering Letters published by IISTE*, 3(12), 24-36.
- Sinthavalai, R., & Ruengrong, S. (2018). An Application of House of Quality for Designing Rice Product as a Souvenir. *Naresuan University Journal: Science and Technology*, 26(3), 36-51.
- T.U PACK CO. (2018). *Medicine processing*. <https://www.tupack.co.th>
- The National Science and Technology Development Agency. (2016). *Model of blueprint Thailand 4.0*. <http://www.libarts.up.ac.th/v2/img/Thailand-4.0.pdf>
- Yamane, T. (1967). *Statistics, An Introductory Analysis* (2nd ed.). Harper and Row.

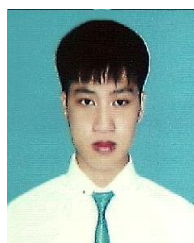
9. ประวัติผู้แต่ง



ภัทรเวช ธาราเวชรักษ์ สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาโท สาขาการจัดการวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชางานวิชาศึกษาทั่วไปสำนักงานส่งเสริมการเรียนรู้และบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิศวกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ วิศวกรรมการจัดการ



จิตภา เบ้าบัวเงิน สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิศวกรรมอุตสาหการ การจัดการงานวิศวกรรม การจัดการเทคโนโลยี



ปราโมทย์ ศรีษร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วิศวกรรมอุตสาหการ การจัดการงานวิศวกรรม การจัดการเทคโนโลยี



ผศ.ดร. ชุตักดิ์ พงษ์สิงห์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ มหาวิทยาลัยโรดไอแลนด์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน การวิจัยดำเนินงาน



ผศ. จินต์เพ็ญ อนรรตนาพันธ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยศิลปากร งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน การวิจัยดำเนินงาน การออกแบบวิศวกรรม



ผศ.ดร.ทองแดง ทองลิ้ม สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาเอก สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีอุตสาหการ มหาวิทยาลัยราชภัฏหมู่บ้านจอมบึง งานวิจัยที่สนใจ คือ วิศวกรรมการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมวิศวกรรมระบบ เทคโนโลยีและวิศวกรรมก่อสร้าง

การสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับการอุตุนิยมวิทยา Building of a Simple Ground Station for Receiving Satellite Images for Meteorology

ธนพงศ์ พันธุ์ทอง*, อรัญญา เหล่าสิงห์
Thanapong Phanthong*, Aranya Laosing

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา จังหวัดสงขลา
Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Songkhla Rajabhat University, Songkhla

*Corresponding author e-mail: Thanapong.phanthong@gmail.com

(Received: July 8, 2019, Revised: October 17, 2019, Accepted: December 20, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเพื่อสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่าย เพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT (Automatic Picture Transmission) ในช่วงความถี่ 137.1000 MHz ถึง 137.9125 MHz สำหรับการนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการอุตุนิยมวิทยา โดยได้เน้นในการสร้างรูปแบบของสายอากาศ 3 รูปแบบ คือ สายอากาศเกลียวสี่แกน หรือ Quadrifilar Helix (QFH) ซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ สายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และสายอากาศยาคีไดโพล ระบบรับสัญญาณของสายอากาศทั้งสามแบบนี้ ได้สร้างขึ้นอย่างง่าย ไม่มีภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า (pre-amplifier) และวงจรกรองความถี่ (band-pass filter) แต่อย่างใด อย่างไรก็ตาม ได้นำเครื่องรับวิทยุที่กำหนดด้วยซอฟต์แวร์ (Software Defined Radio; SDR) มาใช้ในระบบ โดยใช้ซอฟต์แวร์ SDR Sharp ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ ใช้ซอฟต์แวร์ Orbitron ติดตามดาวเทียม และใช้ซอฟต์แวร์ Wxtolmg ถอดรหัสสัญญาณ ผลการทดสอบระบบรับสัญญาณกับสายอากาศทั้งสามแบบที่ได้สร้างขึ้นปรากฏว่า สายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณเหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม โดยได้ภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายในลักษณะที่ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา หรือเว็บไซต์ <http://www.satda.tmd.go.th/>

คำสำคัญ: ภาพถ่ายดาวเทียม สายอากาศยาคีไดโพล สายอากาศเกลียวสี่แกน สถานีภาคพื้นดิน

Abstract

This research aims to create a simple ground station to receive NOAA satellite signals in the form of APT (Automatic Picture Transmission) in the frequency range from 137.1000 MHz to 137.9125 MHz for the use of meteorological benefits. By focusing on the construction of three appropriate antenna types, namely, a Quadrifilar Helix (QFH) antenna, which uses the Radio Grade (RG6) cable as the signal core, a QFH antenna, which uses copper pipe as the signal core, and a Yagi dipole antenna. This satellite image receiver system is easily built without the pre-amplifier and band-pass filter. However, the Software Defined Radio (SDR) is used in the system using the SDR Sharp software to control the operation of the receiver system, the Orbitron software is used for satellite tracking, and the Wxtolmg software is used to decode the signal. As the result of testing the satellite image receiver system with three types of antenna, it appears that the QFH antenna, which uses a copper pipe as the signal core is suitable one for use in the satellite image receiver system for ground station. Moreover, the received satellite image by this antenna can be interpreted similarly to the satellite image obtained from the Meteorological Department in Thailand, or the website of <http://www.satda.tmd.go.th/>.

Keywords: Satellite Imagery, Yagi Dipole Antenna, Quadrifilar Helix Antenna, Ground Station

1. บทนำ

ดาวเทียมบางส่วน ซึ่งใช้ในงานอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย ได้แก่ ดาวเทียม Himawari-8, FY2 E series, FY2 G series, GOES 9 และ NOAA (Kenny, 2019) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา สังกัดกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 มาใช้เพื่อการพยากรณ์อากาศมากที่สุด (เว็บไซต์ <http://www.satda.tmd.go.th/>) เนื่องด้วยดาวเทียม Himawari-8 นั้น ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงและเริ่มใช้งานเมื่อ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2557 โดยศูนย์ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา ประเทศญี่ปุ่น ทำงานในระบบดาวนลิงค์ (down link) ที่ความถี่ 18.1 - 18.4 GHz (ย่านความถี่ของ C band และ Ku band คือ 4 ถึง 8 GHz และ 12 ถึง 18 GHz ตามลำดับ (Wikipedia, 2019; Wikipedia, 2019)) และมีความละเอียดของภาพถ่ายประมาณ 0.5×0.5 กิโลเมตร² (Meteorological Satellite Center of JMA, 1978; Kramar et al., 2016) ซึ่งกรมอุตุนิยมวิทยาของไทยได้ใช้ Band 3 ของดาวเทียมดังกล่าว เพื่อนำภาพถ่ายแบบเวลาจริง (real time) มาผ่านกระบวนการทางภาพถ่าย หลังจากนั้น จึงเผยแพร่สู่สาธารณะทางเว็บไซต์ อย่างไรก็ตาม การสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 นั้น ต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งมีราคาสูง เช่น จานรับสัญญาณดาวเทียมชนิดเน้นเฉพาะจุด หรือ prime focus satellite dish (SatelliteDish.com, 2019) ภาควิทยาสัญญาณแบบสัญญาณรบกวนต่ำ (low noise amplifier) และอื่น ๆ ซึ่งต้องใช้งบประมาณไม่ต่ำกว่า 33,000 บาทต่อหน่วย (Automated Sciences, 2012) ดังนั้น การรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงเรื่องงบประมาณในการสร้าง จากการประมาณเบื้องต้นในการสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA นั้น ใช้งบประมาณไม่เกิน 2,000 บาท (ไม่รวมราคาของคอมพิวเตอร์) และยังใช้เทคโนโลยีซึ่งพัฒนาขึ้นเอง โดยไม่มีความซับซ้อน

จากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยเพิ่มเติมเกี่ยวกับการสร้างสถานีภาคพื้นดินนั้น Torasa (2011) ได้สร้างแบบจำลองการประมาณการฝนตกแบบใกล้เคียงเวลาจริง โดยใช้ภาพสองช่วงคลื่นจากข้อมูล APT โดยแบบจำลองการประมาณการฝนนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฝนที่ตกปกติตามฤดูกาล แต่ไม่สามารถนำไปใช้กับฝนที่เกิดในช่วงที่มีพายุรุนแรง และใช้วิเคราะห์ได้ในช่วงเวลากลางวันเท่านั้น Kerdusuk et al. (1998)

ได้ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA และ GMS เพื่อใช้ในการติดตั้งสถานีรับสัญญาณภาพจากผลการศึกษาพบว่า สถานีรับสัญญาณภาพที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งนั้น มีอยู่สองระบบคือ สถานีรับสัญญาณภาพจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ HRPT และจากดาวเทียม GMS ในรูปแบบ VISSR Utayarat (2006) ได้พัฒนาระบบสื่อสารของสถานีภาคพื้นดินสำหรับดาวเทียมอเนกประสงค์ขนาดเล็ก ซึ่งอยู่ระหว่างการทดสอบโปรโตคอลที่ใช้สำหรับควบคุมการทำงานให้ใช้งานร่วมกับส่วนประมวลผลสัญญาณที่ได้พัฒนาขึ้น และ [11] Machado-Fernández (2015) ได้ตรวจสอบเทคโนโลยี SDR (Software Defined Radio) รวมถึงรูปแบบฮาร์ดแวร์และชุดข้อมูลโปรแกรมประยุกต์ และได้มีการนำเสนออุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงและอุปกรณ์ประสิทธิภาพต่ำ มีการทดสอบหลายครั้งโดยใช้ซอฟต์แวร์ฟรี รวมไปถึงการอธิบายการทำงานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีที่ได้พัฒนาขึ้น

ส่วนในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างสถานีภาคพื้นดินต้นทุนต่ำสำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT (Automatic Picture Transmission) โดยที่ระบบรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA ทำงานในย่านความถี่ 137.1000 MHz - 137.9125 MHz ภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากรูปแบบการรับสัญญาณนี้ มีความละเอียดภาพประมาณ 4×4 กิโลเมตร² ต่อ 1 พิกเซล ซึ่งแม้ว่ามีความละเอียดน้อยกว่าภาพถ่ายที่ได้จากดาวเทียม Himawari-8 แต่ในทางปฏิบัติ ถือว่าเพียงพอแก่การนำมาใช้งานโดยทั่วไป ด้วยต้นทุนของการพัฒนาระบบที่ต่ำและปราศจากความซับซ้อนของระบบ โดยสามารถใช้งานเป็นสถานีภาคพื้นดินระดับท้องถิ่นเพื่อการพยากรณ์ลักษณะอากาศ โดยเฉพาะกลุ่มเมฆ หรือพายุ เพื่อสร้างความแข็งแกร่งระดับชุมชนในการเตรียมพร้อมรับมือกับภัยพิบัติ อันเกิดมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยได้ นอกจากนั้นยังเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้จัดตั้งเป็นศูนย์การเรียนรู้ทางด้านเทคโนโลยีอวกาศ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ของเยาวชน

สำหรับระบบการรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น เป็นการรับในรูปแบบ APT ซึ่งดาวเทียม NOAA ดวงที่สามารถรับสัญญาณได้ในรูปแบบ APT นั้น ปัจจุบันยังใช้งานได้เพียง 3 ดวง คือ NOAA 15, NOAA18 และ NOAA 19 ดังตารางที่ 1

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายในการรับข้อมูลจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT

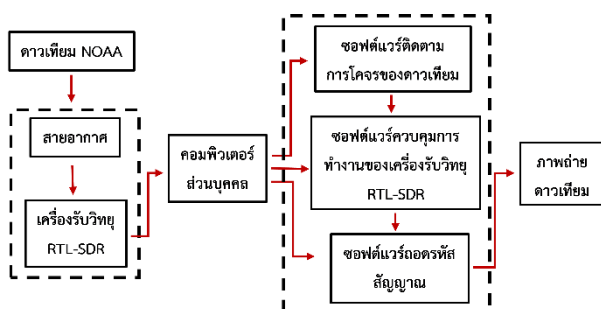
ตารางที่ 1 สถานะดาวเทียม NOAA ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน (NOAA Satellite Information System, 2014)

ดาวเทียม	ความถี่ที่ใช้ (Mode APT)	สถานะ
NOAA 15	137.6200 MHz	ใช้งานได้
NOAA 16	137.6200 MHz	ใช้งานไม่ได้ตั้งแต่ 15/11/2000
NOAA 17	137.5000 MHz	ใช้งานได้แต่ปัจจุบันประสบปัญหาเกี่ยวกับ scan mirror sync.
NOAA 18	137.9125 MHz	ใช้งานได้
NOAA 19	137.1000 MHz	ใช้งานได้

ไว้ใช้งานสำรอง ในกรณีที่ระบบการรับภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 ขัดข้อง หรือเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา (<http://www.satda.tmd.go.th/>) ขัดข้อง หรือ ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตในการเข้าถึงเว็บไซต์

1.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบรับสัญญาณดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ที่ได้



รูปที่ 1 แสดงภาพรวมของระบบ (ดัดแปลงจาก Chiwapreecha, 2013)

พัฒนาขึ้นนั้น มีการทำงานของระบบ ดังต่อไปนี้

1) ดาวเทียม NOAA ทำการถ่ายภาพสภาพภูมิอากาศบนโลก ในบริเวณที่ดาวเทียมเคลื่อนที่ผ่าน จากนั้นส่งภาพที่ถ่ายได้มาสู่สถานีภาคพื้นดินบนพื้นโลกในรูปแบบ APT ซึ่งภาพที่ถ่ายได้ถูกทำการมอดูเลตแบบแอมพลิจูด (AM) มีความถี่ของคลื่นพาหะ 2.4 kHz และตามด้วยการมอดูเลตแบบความถี่ (FM) อีกครั้งที่ย่านความถี่ 137 MHz ก่อนส่งลงมาสู่พื้นโลก

2) สายอากาศถูกนำมาใช้เพื่อรับสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม NOAA

3) เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR (RTL-SDR.COM, 2010) ถูกใช้เพื่อค้นหาสัญญาณวิทยุในพื้นที่ โดยใช้เทคโนโลยีวิทยุที่ถูกกำหนดโดยซอฟต์แวร์ หรือ SDR

4) ซอฟต์แวร์ติดตามการโคจรของดาวเทียม แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียมแบบเวลาจริง (real time)

5) ซอฟต์แวร์ควบคุมการทำงานของเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ทำงานประสานกับซอฟต์แวร์ติดตามการโคจรของดาวเทียม และส่งข้อมูลไปยังซอฟต์แวร์ถอดรหัสสัญญาณ

6) ซอฟต์แวร์ถอดรหัสสัญญาณที่บันทึกไว้ในรูปไฟล์เสียงให้เป็นภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ตามมาตรฐาน APT Frame Format

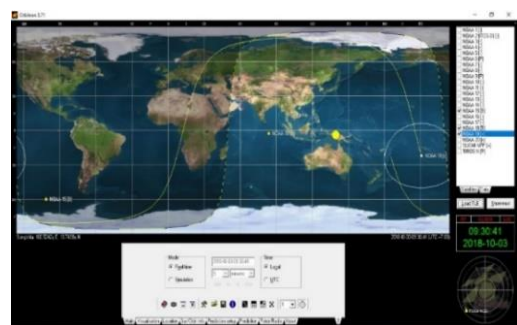
โดยได้แสดงภาพรวมของระบบไว้ในรูปที่ 1

2. ซอฟต์แวร์และทฤษฎีสายอากาศ

2.1 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการรับสัญญาณ

ระบบรับสัญญาณดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา NOAA ในรูปแบบ APT ซึ่งใช้เทคโนโลยีวิทยุที่ถูกกำหนดด้วยซอฟต์แวร์ ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้รับสัญญาณในย่านความถี่ 137.1000 MHz ถึง 137.9125 MHz โดยมีการทำงานร่วมกันระหว่างซอฟต์แวร์สามซอฟต์แวร์ ได้แก่ 1) Orbitron 2) SDR Sharp และ 3) WXtoImag (Kingsbury, 2019)

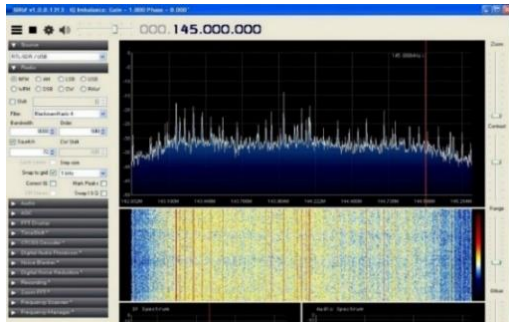
1) ซอฟต์แวร์ Orbitron เป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยมมากในกลุ่มของนักวิทยุสมัครเล่นที่ใช้ในการสำรวจและติดตามการโคจรของดาวเทียม NOAA และดาวเทียมอื่น ๆ ซึ่งได้แสดงเส้นทางการโคจรของดาวเทียมต่าง ๆ แบบเวลาจริง และสามารถคำนวณการโคจรล่วงหน้าได้ ส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ หรือ GUI (graphical user interface) ของซอฟต์แวร์ Orbitron แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงซอฟต์แวร์ Orbitron

2) ซอฟต์แวร์ SDR Sharp เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งเขียนโดยโปรแกรมภาษา C# โดยมีความถูกต้องในการออกแบบและมีประสิทธิภาพในการทำงาน และยังเป็นซอฟต์แวร์แบบ open source (สามารถแก้ไข source code ได้เอง และไม่มีค่าใช้จ่าย) ซึ่งใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR โดยทำหน้าที่หลัก คือ แยกสัญญาณ FM ซึ่งมีโปรแกรมเสริม (plugin) ที่ชื่อว่า Satellite Tracker เพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับ

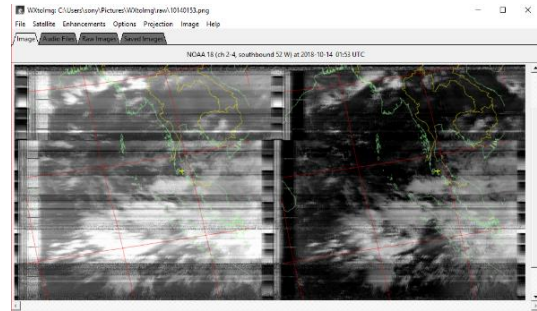
ซอฟต์แวร์ Orbitron โดยเมื่อดาวเทียมโคจรผ่านตำแหน่งสถานีภาคพื้นดิน (ground station) ที่กำหนดไว้แล้ว ซอฟต์แวร์ SDR Sharp จะทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม โดยปรับความถี่ในการรับสัญญาณแบบอัตโนมัติตามความถี่ของดาวเทียมแต่ละดวงที่โคจร โดยได้แสดง GUI ของซอฟต์แวร์ SDR Sharp ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงซอฟต์แวร์ SDR Sharp

3) ซอฟต์แวร์ WXtolmg เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งใช้ในการถอดรหัสสัญญาณเสียงที่รับมาจากเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ออกมาเป็นภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งในการถอดรหัสนี้สามารถทำได้ทั้งแบบเวลาจริง และแบบไม่ใช่เวลาจริง (non real time) และสามารถแสดงผลเป็นแบบภาพนิ่ง (image) หรือแบบภาพยนตร์ (movie) ได้ นอกจากนี้ ซอฟต์แวร์ WXtolmg สามารถแสดงตารางการโคจรของดาวเทียมดวงต่าง ๆ ที่เคลื่อนที่ผ่าน่านฟ้า ณ ตำแหน่งสถานีภาคพื้นดินนั้นได้ และยังสามารถรับสัญญาณดาวเทียมจากระบบอื่นได้ เช่น ดาวเทียมในระบบ Meteosat, GOES, GMS และ MTSAT (Kenny, 2019) หากมีระบบรับสัญญาณวิทยุและสายอากาศสอดคล้องกับคามถี่ของดาวเทียมดังกล่าว โดยได้แสดง GUI ของซอฟต์แวร์ WXtolmg ไว้ในรูปที่ 4

เมื่อได้ภาพถ่ายดาวเทียมแล้ว จึงทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลเพื่อการสืบค้นภาพถ่ายดาวเทียมย้อนหลัง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมได้อย่างเป็นระบบ และสามารถนำมาทำเป็นสถิติปริมาณน้ำฝน หรือเฝ้าระวังภัยพิบัติได้ เช่น พายุหมุนเขตร้อน พายุไต้ฝุ่น พายุดีเปรสชัน และอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



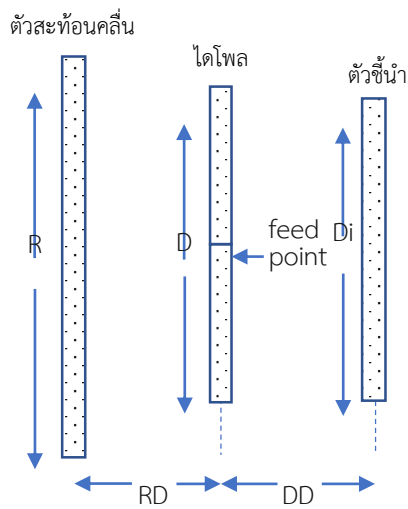
รูปที่ 4 แสดงซอฟต์แวร์ WXtolmg

2.2 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศยาคิไดโพล

สายอากาศยาคิไดโพล (Yagi dipole) อย่างง่ายประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ ไดโพล (dipole) ตัวชี้หน้า (director) และตัวสะท้อนคลื่น (reflector) ดังแผนภาพในรูปที่ 5 สำหรับ 1) ไดโพลหรือตัวขับ (driven element) ประกอบด้วย จุดป้อนสัญญาณ (feed point) ซึ่งอยู่ตรงกลางของไดโพล โดยป้อนสัญญาณมาจาก RTL-SDR ซึ่งเกิดเรโซแนนซ์ขึ้นได้ เมื่อความยาวของไดโพล D มีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น λ 2) ตัวชี้หน้า ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีความยาวน้อยที่สุด หรือมีความยาว D_i น้อยกว่าความยาวของไดโพล D ประมาณ 5 % และช่วยในการได้มาที่เหมาะสมของอัตราขยาย (gain) และแบบรูปการแผ่กำลังของสายอากาศแบบมีทิศทาง (directional pattern) ระยะห่างระหว่างตัวชี้หน้ากับไดโพล (ระยะห่าง DD) โดยปกติมีค่า ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 เท่าของ λ โดยประมาณ 3) ตัวสะท้อนคลื่น คือ ส่วนที่วางอยู่หลังไดโพล โดยมีความยาว R มากกว่าความยาวไดโพล D ประมาณ 5 % ระยะห่างระหว่างตัวสะท้อนคลื่นกับไดโพล (ระยะห่าง RD) โดยปกติมีค่า ตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.25 เท่าของ λ โดยประมาณ ระยะห่างนี้ยังเป็นสิ่งที่กำหนด อัตราขยาย ความกว้างแถบ (bandwidth) อัตราขยายด้านหน้าและด้านหลัง (front to back ratio) และพุด้านข้าง (side lobe) ของสายอากาศด้วย (RF Wireless World, 2012) โดยได้สรุปข้อมูลไว้ตามตารางที่ 2

2.3 ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศเกลียวสี่แขน

สายอากาศแบบเกลียวสี่แขน หรือ Quadrifilar Helix (QFH) มีคุณสมบัติที่ดีในการโพลารไรซ์แบบวงกลม และมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง (omni-directional) มีความกว้างแถบมาก (Pansomboon, 2012) ซึ่งเหมาะสำหรับการรับสัญญาณจากดาวเทียม NOAA จากรูปที่ 6 ได้แสดงโครงสร้างของสายอากาศเกลียวสี่แขน ซึ่งประกอบด้วยสายอากาศเกลียว

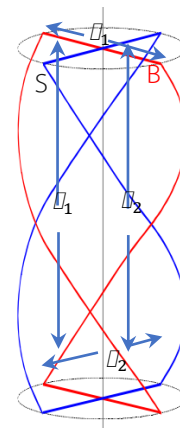


รูปที่ 5 โครงสร้างสายอากาศยาก็ไดโพล

ตารางที่ 2 ความยาวโดยประมาณของแต่ละส่วนของสายอากาศยาก็ไดโพลแบบสามองค์ประกอบ

ความยาว/ระยะห่าง	ค่าโดยประมาณ
D	0.473λ
R	0.495λ
Di	0.440λ
RD	$0.10\lambda - 0.25\lambda$
DD	$0.10\lambda - 0.50\lambda$

สองชุด คือ ชุด B (สีแดง) และชุด S (สีน้ำเงิน) โดยที่ H_1 และ H_2 คือ ความสูงของสายอากาศเกลียวชุด B และชุด S ตามลำดับ ส่วน D_1 และ D_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวชุด B และ S ตามลำดับ เห็นได้ว่าสายอากาศเกลียวชุด B และชุด S วางตัวทำมุมกัน 90 องศา สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศนั้น ให้ป้อนที่จุดกึ่งกลางด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ ซึ่งทำให้การกระจายของกระแสในสายอากาศเหมือนกัน และทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นและการโพลาไรเซชันเหมือนกัน รูปร่างของการกระจายของคลื่นและอิมพีแดนซ์ (impedance) ของสายอากาศสามารถคำนวณได้จากจำนวนของรอบ อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของสายอากาศเกลียวหารด้วยความสูงของเกลียว (อัตราส่วน R) และสมบัติอื่น ๆ นอกจากนั้น ประสิทธิภาพสูงสุดของสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยมจะเกิดขึ้นเมื่อสายอากาศเกลียวชุด B และ S ถูกกระตุ้นด้วยเฟสเดียวกัน (in phase) ของสัญญาณที่มีแอมพลิจูดเท่ากัน หรือ



รูปที่ 6 โครงสร้างสายอากาศเกลียวสี่เหลี่ยม (ดัดแปลงจาก Hollander, 1999; Lint, 2018)

เรียกว่า การเกิดเรโซแนนซ์ของความถี่ ซึ่งจุดเรโซแนนซ์นี้ จะเกิดขึ้นเมื่อความยาวเรโซแนนซ์ (resonant length) L_{res} หรือความยาวส่วนโค้งของเกลียวชุด B มีค่าเป็น [20]

$$L_{res}^{(B)} = 2D_1 + 2\sqrt{\left(\frac{\pi D_1}{2}\right)^2 + H_1^2} \quad (1)$$

และความยาวส่วนโค้งของเกลียวชุด S มีค่าเป็น

$$L_{res}^{(S)} = 2D_2 + 2\sqrt{\left(\frac{\pi D_2}{2}\right)^2 + H_2^2} \quad (2)$$

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างค่า L_{res} ของสายอากาศเกลียวชุด B และ S กับความยาวคลื่นของสัญญาณ (λ) จึงได้ว่า

$$L_{res}^{(B)} \cong 1.120\lambda \quad (3)$$

$$L_{res}^{(S)} \cong 1.106\lambda \quad (4)$$

หรือเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์โดยประมาณระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของสายอากาศเกลียวชุด B และ S กับความยาวคลื่นของสัญญาณ จึงได้ว่า

$$D_1 \cong 0.173\lambda \quad (5)$$

$$H_1 \cong 0.260\lambda \quad (6)$$

$$D_2 \cong 0.156\lambda \quad (7)$$

$$\text{และ} \quad H_2 \cong 0.238\lambda \quad (8)$$

สมการเหล่านี้ยังไม่สามารถคำนวณขนาดที่แน่นอนได้ แต่ทางปฏิบัติ สามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบได้ (Pansomboon, 2012; Kilgus, 1969; Maxwell, 2001)

3. วิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการสร้างสถานีภาคพื้นดินเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา มีดังนี้

3.1.1 ศึกษาการทำงานของระบบรับสัญญาณดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ซึ่งรับสัญญาณในย่าน VHF ที่ความถี่ 137.1000 MHz - 137.9125 MHz และศึกษาการถอดรหัสสัญญาณดังกล่าว

3.1.2 ออกแบบระบบรับสัญญาณ โดยได้ใช้เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR (LAZADA, 2017) ที่ใช้งานในย่านความถี่ VHF และระบบสายอากาศที่ใช้งานร่วมกัน ดังนั้น สายอากาศจึงมีความสำคัญ เพราะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการรับสัญญาณของระบบรับสัญญาณ ซึ่งสายอากาศที่ใช้ในการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT นี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบไว้ 3 แบบ กล่าวคือ สายอากาศเกลียวสี่แขนซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ สายอากาศเกลียวสี่แขนซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และสายอากาศยาคิโดโพล อย่างไรก็ตาม สัญญาณที่ได้จากสายอากาศควรนำมาขยายสัญญาณด้วยวงจรขยายสัญญาณส่วนหน้าและวงจรกรองความถี่เสียก่อน แล้วจึงส่งไปยังเครื่องรับวิทยุ RTL-SDR แต่เนื่องจากวงจรดังกล่าวมีราคาค่อนข้างสูง (Antennas-Amplifiers, 2019) มีรายละเอียดในการออกแบบมากและเกินขอบเขตของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงไม่นำมาใช้ในขณะนี้ โดยมีรายละเอียดการสร้างสายอากาศทั้งสามแบบดังต่อไปนี้

1) สายอากาศ QFH แบบที่ 1 สายอากาศแบบนี้ได้ใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ โดยสายอากาศแบบ QFH นี้ มีโพลาริเซชันแบบวงกลมขวา (right-hand circular polarization) จึงต้องสร้างสายอากาศให้มีลักษณะเป็นเกลียว (helix) เพื่อรับสัญญาณที่มีโพลาริเซชันในลักษณะดังกล่าว ในขั้นตอนแรก ต้องคำนวณความยาวคลื่น (λ) ที่จะรับจากดาวเทียมเสียก่อน โดยคำนวณจาก

$$\lambda = c/f \quad (9)$$

ซึ่งใช้อัตราเร็วของคลื่น c เป็น 3.0×10^8 m/s และใช้ความถี่ของคลื่น f เป็น 137.54 MHz คำนวณได้จากความถี่เฉลี่ยของสัญญาณจากดาวเทียม NOAA ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน นั่นคือ 137.62 MHz, 137.91 MHz และ 137.10 MHz จึงได้ความยาวคลื่นเป็น 218 cm อย่างไรก็ตาม ช่วงแรกของการสร้างสายอากาศแบบนี้ ผู้วิจัยประสบกับปัญหาความยุ่งยากในการ

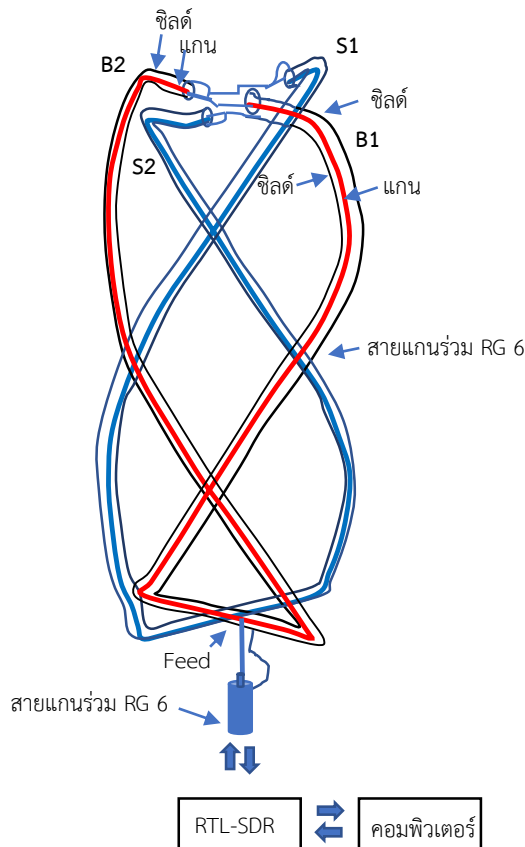
สร้างสายอากาศให้เป็นเกลียว เนื่องจากยังไม่มีประสบการณ์ จึงไม่สามารถสร้างสายอากาศแบบนี้ให้เป็นไปตามทฤษฎีได้ โดยเฉพาะระยะ $L_{res}^{(S)}$, H_1 และ H_2 โดยได้แสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 3 ก่อนที่จะอธิบายในส่วนการเชื่อมต่อสายอากาศนั้น ต้องรู้อาจประกอบหลักของสายแกนร่วมชนิด RG 6 ประกอบด้วย แกนนำสัญญาณซึ่งเป็นทองแดง ฉนวนหุ้มทองแดงซึ่งทำจากวัสดุไดอิเล็กตริก polyethylene (PE) ชิลด์ฟรอยด์แผ่น APA ชิลด์อลูมิเนียม (เรียวย่อว่า ชิลด์) และฉนวนหุ้มภายนอกเป็น PVC/PE โดยมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 75 โอห์ม ในการสร้างสายอากาศแบบนี้ ได้ป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศที่จุดกึ่งกลางด้านล่าง ในเชิงปฏิบัติ ค่อนข้างยากในการป้อนสัญญาณจากจุดที่อยู่กึ่งกลางพอดี จุดป้อนสัญญาณจากจุด Feed ในรูปที่ 7 และ 10 ซึ่งได้ป้อนสัญญาณผ่านไปกับสายอากาศเกลียวชุด B เพื่อความสะดวกในการอธิบาย จึงแยกสายอากาศเกลียวชุด B เป็นส่วน B1 และส่วน B2 ดูแผนภาพในรูปที่ 7 โดยแกนของส่วน B1 เชื่อมกับแกนและชิลด์ของส่วน B2 นอกจากนั้น ยังเชื่อมกับแกนและชิลด์ของส่วน S1 ด้วย (สายอากาศเกลียวชุด S แยกเป็นส่วน S1 และส่วน S2) หลังจากนั้น ให้เชื่อมแกนและชิลด์ของส่วน S2 กับชิลด์ของส่วน B1 โดยได้แสดงการเชื่อมจริงในรูปที่ 9 (มองจากด้านบน) และได้แสดงอุปกรณ์และขั้นตอนการสร้างบางส่วนไว้ในรูปที่ 8

2) สายอากาศ QFH แบบที่ 2 สายอากาศแบบนี้ได้ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ โดยได้อาศัยทฤษฎีในการสร้างสายอากาศเหมือนกันกับทฤษฎีที่ใช้ในการสร้างสายอากาศ QFH แบบที่ 1 สำหรับการสร้างสายอากาศแบบนี้ ผู้วิจัยได้

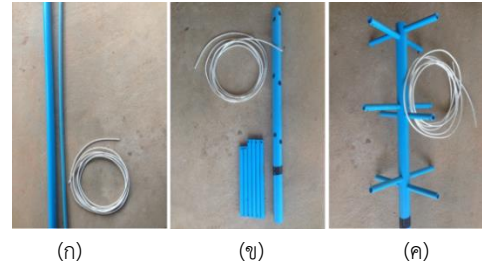
ตารางที่ 3 ความยาวของแต่ละส่วนของสายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 และความยาวจากทฤษฎี

ระยะ	ความยาว (cm)	ความยาวจากทฤษฎี (cm)	ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี (cm)
$L_{res}^{(B)}$	240	244	-4
H_1	70	57	13
D_1	36	38	-2
$L_{res}^{(S)}$	223	241	-18
H_2	61	52	9
D_2	36	34	2

ประสบการณ์จากการสร้างสายอากาศแบบที่ 1 แล้ว จึงรู้เทคนิคของการสร้างมากขึ้นและสามารถสร้างสายอากาศแบบนี้ให้ใกล้เคียงกับทฤษฎีมากขึ้น โดยได้แสดงข้อมูลของการสร้างไว้ในตารางที่ 4 สายอากาศ QFH แบบที่ 2 นี้ ประกอบด้วย ตัวนำสัญญาณ ซึ่งเป็นท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.35 mm โดยเป็นวัสดุที่ใช้ในงานเครื่องปรับอากาศทั่วไปและหาซื้อได้ง่าย (FLOWTECHWORLD, 2017) และสายแกนร่วมชนิด RG 58 ซึ่งประกอบด้วย แกนซึ่งทำจากทองแดงผสมดีบุก ฉนวนหุ้มทองแดงซึ่งทำจากวัสดุไดอิเล็กตริก PE ชิลด์ทองแดงผสมดีบุก (เรียกว่า ชิลด์) และฉนวนหุ้มภายนอกเป็น PVC โดยมีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 50 โอห์ม ในการสร้างสายอากาศแบบนี้สามารถสร้างจุดในการป้อนสัญญาณใกล้เคียงกับจุดกึ่งกลางของเกลียว ซึ่งทำได้ดีกว่าการสร้างสายอากาศ QFH แบบที่ 1 ดูจุด Feed ในรูปที่ 11



รูปที่ 7 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศ QFH แบบที่ 1



รูปที่ 8 (ก) อุปกรณ์การสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) การตัดและการเจาะรู (ค) การประกอบเบื้องต้น



รูปที่ 9 การเชื่อมแกนและชิลด์ของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 (มองจากด้านบน)

และ 12) และได้ป้อนสัญญาณมาจากด้านล่างผ่านสายแกนร่วมชนิด RG 58 หลังจากนั้น จึงนำแกนของสายแกนร่วม RG 58 เชื่อมกับท่อทองแดงชุด B1 และชุด S1 และนำปลายของท่อทองแดงชุด B2 และชุด S2 เชื่อมกับชิลด์ของสายแกนร่วม RG 58 ดังแผนภาพในรูปที่ 11 โดยได้แสดงการเชื่อมจริงในรูปที่ 12 (มองจากด้านบน) และรูปจริงของอุปกรณ์และขั้นตอนการสร้างบางส่วนแสดงไว้ในรูปที่ 13 ถึง รูปที่ 15 นอกจากนั้น ยังแสดงสายอากาศ QFH แบบที่ 2 ในขณะรับสัญญาณ ดังรูปที่ 16

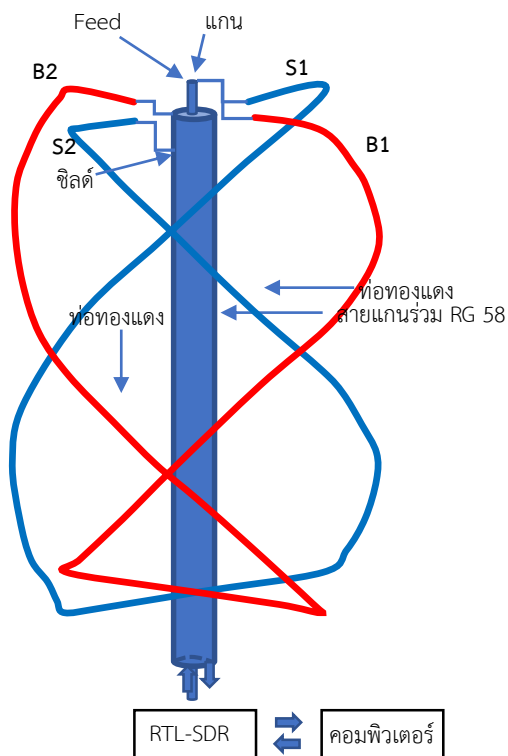


รูปที่ 10 สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 ขณะรับสัญญาณ

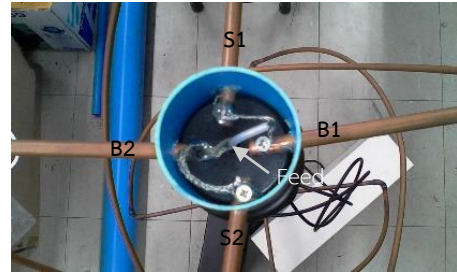
ตารางที่ 4 ความยาวของแต่ละระยะของสายอากาศแบบ QFH ซึ่งใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณ และความยาวจากทฤษฎี

ระยะ	ความยาว (cm)	ความยาวจากทฤษฎี (cm)	ความคลาดเคลื่อนจากทฤษฎี (cm)
$L_{res}^{(B)}$	242	244	-2
H_1	56	57	-1
D_1	40	38	2
$L_{res}^{(S)}$	228	241	-13
H_2	53	52	1
D_2	38	34	4

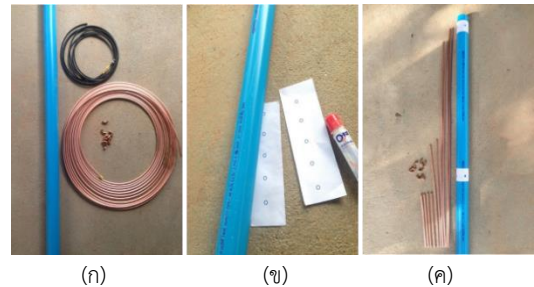
3) สายอากาศยาเกิโดโพล การออกแบบสายอากาศแบบนี้ มีชิ้นส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ไดโพล ตัวสะท้อนคลื่น และตัวชี้หน้า โดยทั้งสามส่วนนี้ ผู้วิจัยสร้างขึ้นจากทึบเมตรชนิดโลหะสำหรับงานวัดทั่วไป โดยทึบเมตรมีความกว้าง 14 mm



รูปที่ 11 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศ QFH แบบที่ 2



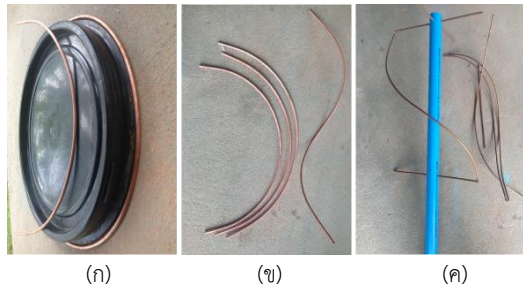
รูปที่ 12 การเชื่อมต่อทองแดงของสายอากาศ QFH แบบที่ 2



รูปที่ 13 (ก) อุปกรณ์ในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ข) การเตรียมการสำหรับการเจาะ (ค) ท่อทองแดงที่ตัดเตรียมไว้ และใช้ท่อและข้อต่อ PVC (ทั่วไป) เป็นตัวยึดไดโพล ตัวสะท้อนคลื่น และตัวชี้หน้าไว้ด้วยกัน ดูรูปที่ 18 และ 19 (ก) จากสมการ (9) คำนวณความยาวคลื่น λ ได้เท่ากับ 218 cm หลังจากนั้นจึงสร้างสายอากาศแบบนี้ โดยกำหนดความยาว D, R และ Di เป็นไปตามตารางที่ 2 นั่นคือ 103.1 cm, 107.9 cm และ 95.9



รูปที่ 14 ขั้นตอนบางส่วนในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ก) เครื่องมือตัดและเจาะ (ข) การเจาะ (ค) การยึดท่อทองแดงกับแกนกลาง



รูปที่ 15 ขั้นตอนบางส่วนในการสร้างสายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 (ก) อุปกรณ์ช่วยทำเกลียว (ข) ท่อทองแดงที่ทำเกลียวแล้ว (ค) การยึดท่อทองแดงเกลียวกับแกนกลาง



รูปที่ 16 สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 2 ขณะรับสัญญาณ

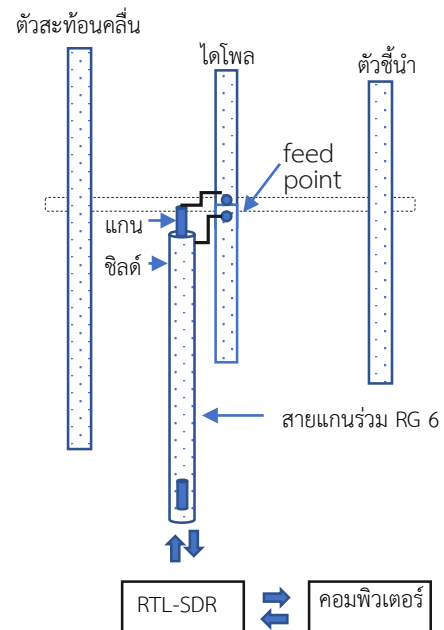
cm ตามลำดับ และเลือกระยะ RD เท่ากับ 0.10λ หรือ 21.8 cm ระยะ DD เท่ากับ 0.145λ หรือ 31.7 cm โดยได้แสดงข้อมูลไว้ในตารางที่ 5 ข้อสังเกต ระยะ D, R และ Di มีความแม่นยำในระดับ mm เนื่องจากบนดัดกลับเมตรนั้น มีสเกลให้อ่านอย่างสะดวกและถูกต้อง

ตารางที่ 5 ความยาวในแต่ละส่วนของสายอากาศยาคิโดโพลที่สร้างขึ้น

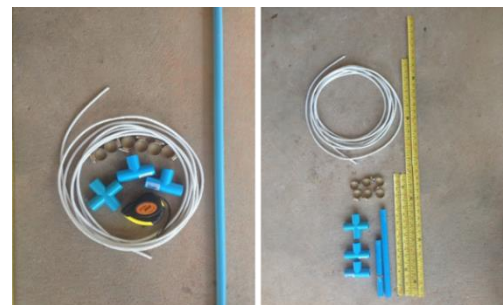
ความยาว/ระยะห่าง	ค่า (cm)
D	103.1
R	107.9
Di	95.9
RD	21.8
DD	31.7

สำหรับการป้อนสัญญาณให้กับสายอากาศแบบนี้ ได้ป้อนที่จุดกึ่งกลางของไดโพล จุดป้อนสัญญาณจากจุด feed point ในรูปที่ 17 และ 19 (ข) ซึ่งได้ป้อนสัญญาณผ่านไปกับสายแกนร่วม RG 6 (อิมพีแดนซ์เท่ากับ 75 โอห์ม) โดยเชื่อมแกนของสาย RG 6 กับครึ่งหนึ่งของไดโพลด้านหนึ่งและเชื่อมซิดส์ของสาย

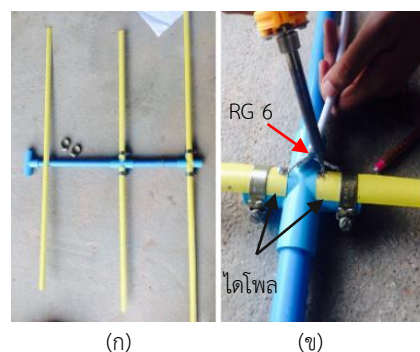
RG 6 กับครึ่งหนึ่งของไดโพลอีกด้านหนึ่ง การเชื่อมสลับกันนั้นไม่มีผลแต่อย่างใด และได้แสดงสายอากาศยาคิโดโพลที่สร้าง



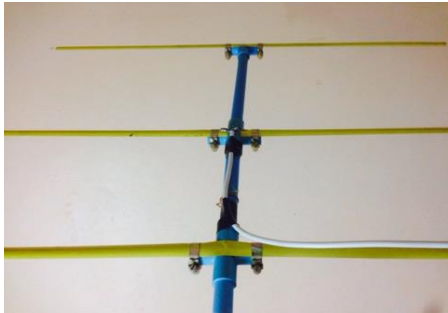
รูปที่ 17 แผนภาพการเชื่อมต่อสายอากาศยาคิโดโพล



รูปที่ 18 แสดงอุปกรณ์สำหรับการสร้างสายอากาศแบบยาคิโดโพล



รูปที่ 19 (ก) การประกอบ (ข) จุดป้อนสัญญาณ



รูปที่ 20 สายอากาศยาภิโดโพลขณะรับสัญญาณ

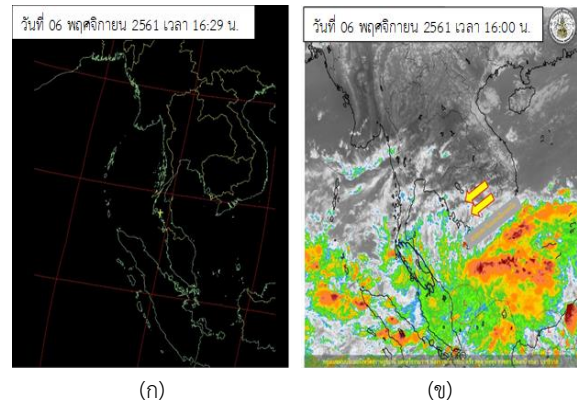
เสร็จแล้วขณะรับสัญญาณตามรูปที่ 20

4. ผลการวิจัย

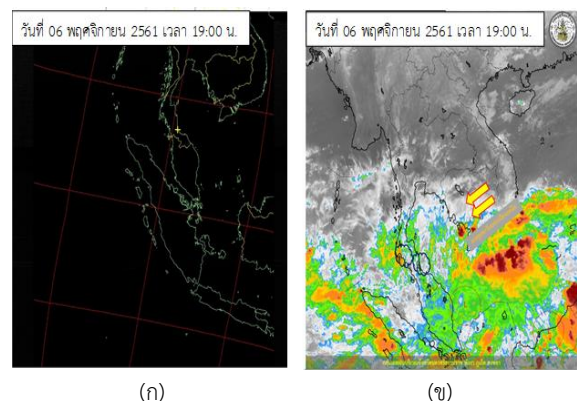
ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมด 55 ครั้ง ในช่วงวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2561 - วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2562 เพื่อตรวจสอบคุณภาพและความถูกต้องของภาพถ่ายดาวเทียมจากระบบที่สร้าง จึงได้เปรียบเทียบกับภาพถ่ายดาวเทียมจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา จากการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 (ใช้สายแกนร่วมชนิด RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณ) ในช่วงวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561 - 29 พฤศจิกายน พ.ศ.2561 โดยทำการทดสอบจำนวน 9 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 1 และเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน (The Meteorological Department, 2013) ดังรูปที่ 21 และรูปที่ 22 และจากการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ใช้ตัวนำสัญญาณเป็นท่อทองแดง) ในช่วงวันที่ 2 มกราคม พ.ศ.2562 - 14 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยทำการทดสอบจำนวน 25 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 และเปรียบเทียบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 23 และรูปที่ 24 และจากการทดสอบการทำงานของสายอากาศยาภิโดโพล ในช่วงวันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ.2561 - 11 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยทำการทดสอบจำนวน 21 ครั้งนั้น ได้ผลของภาพถ่ายดาวเทียมบางส่วนที่ใช้สายอากาศยาภิโดโพลและเปรียบเทียบกับภาพถ่ายของกรมอุตุนิยมวิทยาในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 25 ถึงรูปที่ 27

จากการเปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สายอากาศทั้ง 3 แบบด้วยตนเอง เห็นได้ว่า ภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งได้จากการใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 นั้น มีสัญญาณรบกวน (noise) ใกล้เคียงกับภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งได้จากการใช้สายอากาศแบบยาภิโดโพล แต่มีไม่มากนัก สืบเนื่องจากลักษณะของแถบที่พาดตัวตามแนวราบภายในภาพถ่าย อย่างไรก็ตาม จากการ

เปรียบเทียบภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้สายอากาศทั้ง 3 แบบกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา เห็นได้ว่า ภาพถ่ายที่ได้จากการใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 กับแบบยาภิโดโพลนั้น สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา เช่น ลักษณะของ



รูปที่ 21 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 19 ซึ่งใช้สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



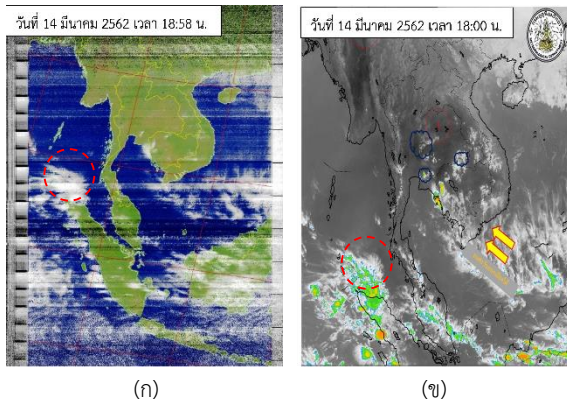
รูปที่ 22 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศแบบ QFH แบบที่ 1 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

กลุ่มเมฆ เป็นต้น ส่วนภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากสายอากาศ QFH แบบที่ 1 นั้น ไม่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้

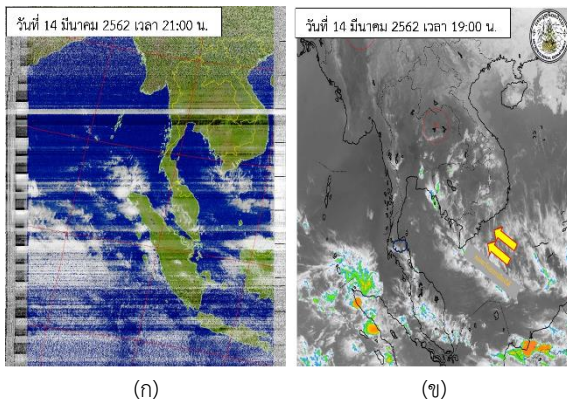
5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA โดยการออกแบบและสร้างสายอากาศในรูปแบบต่าง ๆ กัน 3 รูปแบบ ผลการศึกษสามารถสรุปได้ว่า การใช้สายอากาศในรูปแบบ QFH ที่ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณและสายอากาศแบบยาภิโดโพลนั้น สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้ใกล้เคียงกับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ส่วนภาพถ่ายที่ได้จากการใช้สายอากาศ QFH ที่

ใช้สาย RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณนั้น ไม่สามารถแปลความหมายของภาพถ่ายได้



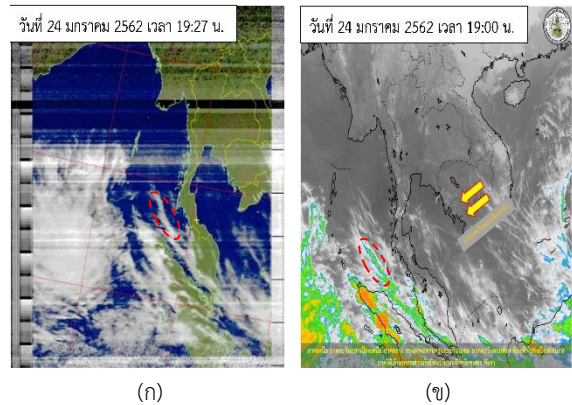
รูปที่ 23 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 15 ซึ่งใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



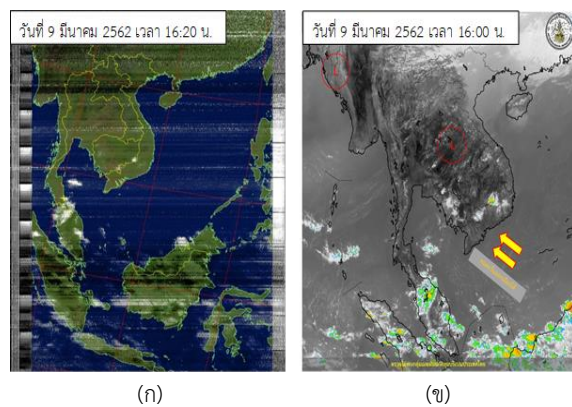
รูปที่ 24 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2 (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

6. บทวิจารณ์

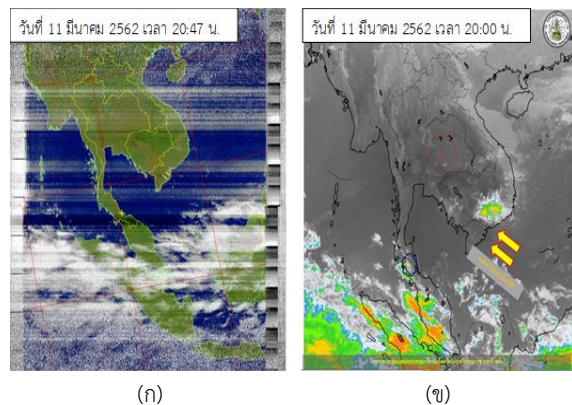
เนื่องจากสายอากาศยาเกิโดโพลเป็นสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง กล่าวคือ ต้องโฟกัสไปที่ทิศทางใดทิศทางหนึ่ง จึงจะรับสัญญาณได้ดี เมื่อชี้ตรงทิศทางแล้ว จะมีอัตราการขยายสูง (Tutorials point, 2019)



รูปที่ 25 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 15 ซึ่งใช้สายอากาศยาเกิโดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 26 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 19 ซึ่งใช้สายอากาศยาเกิโดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 27 (ก) ภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA 18 ซึ่งใช้สายอากาศยาเกิโดโพล (ข) ภาพถ่ายดาวเทียมจากกรมอุตุนิยมวิทยา

อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยต้องปรับทิศของตัวชี้หน้าของสายอากาศแบบนี้ (ด้วยมือ) ตลอดเวลา เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งของดาวเทียม NOAA ขณะเคลื่อนที่บนท้องฟ้า สิ่งนี้เป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งของการใช้สายอากาศยาก็โดโพลในการรับสัญญาณภาพถ่ายดาวเทียม การทดสอบที่เสนอในบทความนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้น ในอนาคต ถ้าจะใช้สายอากาศยาก็โดโพลเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA ในสถานีภาคพื้นดินให้ได้ ต้องพัฒนาระบบการปรับทิศของตัวชี้หน้าอย่างอัตโนมัติของสายอากาศยาก็โดโพลนี้ด้วย

อย่างไรก็ตาม สายอากาศเกลียวสี่แฉกที่ใช้ท่อทองแดงเป็นตัวนำสัญญาณนั้น สามารถรับคลื่นได้แบบไม่ต้องเจาะจงทิศทาง กล่าวคือ รับคลื่นได้รอบทิศทางแม้สายอากาศอยู่บัง และอัตราการขยายก็เท่ากันในทุกทิศทาง สิ่งนี้เป็นข้อดีของสายอากาศแบบนี้ แม้ว่าการสร้างอาจจะซับซ้อนมากกว่าการสร้างสายอากาศยาก็โดโพล แต่ได้ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ถูกต้องและมีความใกล้เคียง (ประเมินด้วยสายตา) กับภาพถ่ายจากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา และที่สำคัญ คือ ไม่ต้องปรับทิศของสายอากาศเหมือนกับแบบยาก็โดโพล ผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า สายอากาศแบบนี้เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้จริงในสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายสำหรับการรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA โดยภาพรวมของระบบสถานีภาคพื้นดินที่สร้างขึ้นนี้ (รูปที่ 28) มีความสูงจากฐานถึงยอดสายอากาศประมาณ 184 cm และความกว้างของแต่ละด้านของฐานพีระมิดรูปสามเหลี่ยมเฉลี่ยประมาณ 117 cm และมีค่าใช้จ่ายโดยสังเขปเพิ่มเติม ดังนี้ ท่อทองแดง 638 บาท (Lazada, 2019) คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (เครื่องที่ราคาถูกที่สุดในเวลานี้) ประมาณ 2,800 บาท (Lazada, 2019) ท่อเหล็ก (สำหรับทำฐาน) 444 บาท (Onestockhome. 2019) ท่อ PVC (สีฟ้า) 100 บาท สายแกนร่วม RG 58 ยาว 3 m 100 บาท STL-SDR 318 บาท (LAZADA, 2017) และสิ่งของเบ็ดเตล็ด รวมทั้งหมดประมาณ 4,400 บาท ซึ่งถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายที่ถูกมาก เมื่อเทียบกับประโยชน์อันมากมายในการพยากรณ์อากาศในถิ่นทุรกันดารที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

ในส่วนของสายอากาศเกลียวสี่แฉกที่ใช้สายแกนร่วม RG 6 เป็นตัวนำสัญญาณนั้น ได้ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ไม่ถูกต้อง ซึ่งผู้วิจัยคิดว่า ไม่น่าจะมีสาเหตุมาจากการมีสัญญาณรบกวนมากเกินไป สังเกตจากการที่ไม่มีแถบที่พาดตัวตามแนวราบภายในภาพถ่ายเหมือนกับภาพถ่ายที่ได้จากสายอากาศแบบอื่น แต่อาจจะมีสาเหตุจากการรับสัญญาณไม่ได้ อันเกิดจากการเชื่อมต่อหรือบัดกรีสายนำสัญญาณที่ไม่ถูกต้อง เช่น สายนำสัญญาณขาดหรือเชื่อมกันไม่สนิท ซึ่งจุดที่ผิดพลาดน่าจะเป็นจุดบ่อนสัญญาณ

กึ่งกลางด้านล่างของสายอากาศเกลียวชุด B ซึ่งผู้วิจัยจะแก้ไขข้อบกพร่องจุดนี้ในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 28 ภาพโดยรวมของสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายที่สร้างขึ้นจากสายอากาศแบบที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบสายอากาศทั้งสามชนิดนั้น ผู้วิจัยมีได้ดำเนินการเปรียบเทียบจากรูปสัญญาณที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกันนั้น เนื่องจากการรับสัญญาณในช่วงเวลาเดียวกัน จะต้องใช้คอมพิวเตอร์ (โน้ตบุ๊ก) ถึง 3 เครื่อง ซึ่งผู้วิจัยยังไม่มียังประมาณในการจัดซื้อ ผนวกกับผู้วิจัยไม่ได้เน้นการศึกษาต่อสถานการณ์ดังกล่าว ในส่วนจำนวนครั้งในการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 1 นั้น มีน้อย นั้นเป็นเพราะเมื่อผู้วิจัยได้ภาพถ่ายดาวเทียมออกมาไม่ถูกต้อง เมื่อเดือนพฤศจิกายน 2561 จึงได้ตัดสินใจหยุดการทดสอบและการพัฒนาไว้เพียงเท่านั้นสำหรับสายอากาศดังกล่าว แล้วเริ่มสร้างและทดสอบสายอากาศ QFH แบบที่ 2 ต่อไป สำหรับจำนวนครั้งของการทดสอบการทำงานของสายอากาศ QFH แบบที่ 2 และแบบยาก็โดโพล ซึ่งมีไม่เท่ากันนั้น มีสาเหตุจาก ในแต่ละวัน ดาวเทียมแต่ละดวงที่สามารถรับสัญญาณได้ นั้นคือ NOAA 15, NOAA 18 และ NOAA 19 เคลื่อนที่พาดผ่าน่านฟ้าบริเวณจังหวัดสงขลาไม่พร้อมกัน เช่น ดวงหนึ่งพาดผ่านในเวลากลางวัน อีกดวงหนึ่งพาดผ่านในเวลากลางคืนและบางครั้งถี่มาก ทำให้ไม่สะดวกในการทดสอบ จึงต้องยกเลิกการทดสอบในบางครั้ง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ใช้เกณฑ์อย่างง่ายในการตีความความเหมือนระหว่างภาพที่ได้จากสัญญาณดาวเทียมจากสายอากาศ QFH แบบที่ 2 และยาก็โดโพล กับภาพที่ได้จากเว็บไซต์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ยกตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 23 (ก) (กรณีใช้สายอากาศ QFH แบบที่ 2) สังเกตได้ว่ามีกลุ่มเมฆในบริเวณวงกลมเส้นประที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเมฆในบริเวณวงกลมเส้นประในรูปที่ 23 (ข)

หรือ ในรูปที่ 25 (ก) (กรณีใช้สายอากาศยาโกโดโพล) สังเกตได้ว่ามีกลุ่มเมฆในบริเวณเส้นประวงรีที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกลุ่มเมฆในบริเวณเส้นประวงรีในรูปที่ 25 (ข) การตีความความเหมือนระหว่างภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA แบบ APT กับภาพถ่ายจากดาวเทียม Himawari-8 (กรมอุตุนิยมวิทยานำมาเผยแพร่) โดยใช้เกณฑ์อย่างละเอียดนั้น อาจจะต้องใช้ความรู้ด้าน Digital Image Processing ในขั้นสูง ซึ่งอาจจะเกินขอบเขตของงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ เทคโนโลยีของการผลิตภาพจากดาวเทียม NOAA แบบ APT กับดาวเทียม Himawari-8 นั้น แตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง กล่าวคือ เทคโนโลยี APT นั้นใช้สัญญาณภาพวิดีโอแบบเวลาจริง (real time video images) โดยข้อมูลถูกผลิตขึ้นจากการโมดูลเลตแบบ AM ที่ความถี่ 2,400 Hz และเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกที่มีอัตรา 120 เส้นต่อนาที่ของภาพวิดีโอ (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2009) ในขณะที่ดาวเทียม Himawari-8 นั้นได้ใช้เทคโนโลยีสีจริง (True Color technology) (Miller et al., 2016) ซึ่งประกอบด้วยการแปลงสีของภาพถ่ายแบบ CIE XYZ (The Proprietor Phil Cruse, 2019) และตัวผลิตภาพ (imager) ใช้สเปกตรัมแบบออปติคความถี่สูง

การสร้างสถานีภาคพื้นดินอย่างง่ายเพื่อรับสัญญาณภาพถ่ายจากดาวเทียม NOAA ในรูปแบบ APT ที่พัฒนาขึ้นนี้เน้นในส่วนของการออกแบบและพัฒนาอย่างง่ายไม่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงหรือซับซ้อน โดยอาศัยเพียงองค์ประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องรับวิทยุ RTL-SDR ซอฟต์แวร์ คอมพิวเตอร์ และสายอากาศ โดยใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ สามารถประกอบใช้งานได้อย่างรวดเร็ว สะดวกในการเคลื่อนย้าย จึงเหมาะสมสำหรับใช้เป็นสถานีพยากรณ์อากาศประจำหมู่บ้านในถิ่นทุรกันดาร ซึ่งไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต

7. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา และเจ้าหน้าที่ของหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษาสงขลา ซึ่งได้อนุญาตให้สถานที่ในการสร้างและทดสอบระบบ

8. เอกสารที่เกี่ยวข้อง

Antennas-Amplifiers. (2019, October 16). 144 - 146 MHz VLNA with Band-pass Filter. <https://www.antennas-amplifiers.com/2m-bandpass-filter-vlna>

Automated Sciences. (2012, June 4). Himawari 8. <http://www.automatedsciences.com/Himawari8.shtml>

Chiwapreecha, S. (2013, January 18). Development of Low-Cost Ground Station for Receiving and Image Production of Weather Satellites NOAA in APT Mode. <http://www1.telecom.kmitl.ac.th/telecom/component/content/article/47-2013-03-13-19-11-52/217-noahapt.html>

FLOWTECHWORLD. (2017, March 10). Copper tube roll. <http://www.flowtechworld.com/types/copper-tube>

Hollander, R. W. (1999). Resonant Quadrafilar Helical Antenna. Technote 1999-1.

Kenny, M. (2019, June 5). Meteorological Satellite Frequencies. http://mdkenny.customer.netspace.net.au/metsat_frequencies-NEW.html#Him

Kerdsuk, T., Thamprasert, C., Chureeganon, T., & Vichchakool, N. (1998). Study of Signal Processing from NOAA and GMS Satellites for Receiving Stations [Master's thesis]. Kasetsart University.

Kilgus, C. C. (1969). Resonant Quadrafilar Helix. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 17(3), 349-351.

Kingsbury. (2019, January 1). NOAA Satellite Signals With a PVC QFH Antenna and Laptop. <https://www.instructables.com/id/NOAA-Satellite-Signals-with-a-PVC-QFH-Antenna>

Kramar, M., Ignatov, A., Petrenko, B., Kihai, Y., & Dash, P. (2016). Near Real Time SST retrievals from Himawari-8 at NOAA using ACSPO system. In W. H. Weilin & A. A. Robert (Eds.), *Proceedings of the SPIE 9827, Ocean Sensing and Monitoring VIII, 98270L* (17 May 2016). Baltimore, Maryland, United States: SPIE.

LAZADA. (2017, December 1). USB 2.0 Digital DVB-T SDR. <https://www.lazada.co.th/products/usb-20-digital-dvb-t-sdr-dab-fm-rtl2832u-r820t2-i280235377-s453129716.html?spm=a2o4m.searchlist.list.11.24733abcNQx5yy&search=1>

Lazada. (2019, October 29). Copper Tubes 6.35 mm. <https://www.lazada.co.th/products/38-635-071-15-i367330788-s717664430.html>

Lazada. (2019, October 29). Notebook Dell Latitude 2100. https://www.lazada.co.th/products/notebookdelllatitude21002120i383474593s745028378.html?ef_id=CjwKCAjwxt_tBRAXEiwAENY8haomgAFn8I3mUwdTOoyc29wdllQB3j1urmjQxzlhcwxxwhGLZrSbwwxoCQ4wQAvD_BwE:G:s&s_kwcid=AL13152I3I286179630377!!u!296030489971!&exlaz=d_1:mm_150050845_51350205_2010350205::12:1498579383I58089999096!!pla296030489971!cl296030489971!745028378I135277793I286179630377&gclid=CjwKCAjwxt_tBRAXEiwAENY8haomgAFn8I3mUwdTOoyc29wdllQB3j1urmjQxzlhcwxxwhGLZrSbwwxoCQ4wQAvD_BwE

- Lint, V. C. (2018, December 16). *A QFH antenna for the weather satellite band*. http://silver-wolfenterprises.co.za/hvbxextra/QFH_2_for_137.pdf
- Machado-Fernández, J. R. (2015). Software Defined Radio: Basic Principles and Applications. *Revista Facultad de Ingeniería (Fac. Ing.)*, 24(38), 79-96.
- Marais, S. J. (2007, October 21). *The Quadrifilar Helix Antenna and Its Application to Wide Angle Phase-Steered Arrays*. https://scholar.sun.ac.za/bitstream/handle/10019.1/21675/Marais_Quadrifilar_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maxwell, M. W. (2001). *Reflections II—Transmission Lines and Antennas*. Worldradio Books.
- Meteorological Satellite Center of JMA. (1978, June 5). *Himawari Real-Time Image*. http://ds.data.jma.go.jp/mscweb/data/himawari/sat_img.php?area=se1
- Miller, S., Schmit, T., Seaman, C., Lindsey, D., Gunshor, M., Kohrs, R., Sumida, Y., & Hillger, D. (2016). *A Sight for Sore Eyes - The Return of True Color to Geostationary Satellites*. Bull. Amer. Meteor. Soc.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2009, October 31). *User's Guide for Building and Operating Environmental Satellite Receiving Stations*. https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/pubs/Users_Guide-Building_Receive_Stations_March_2009.pdf
- NOAA Satellite Information System. (2014, November 15). *Satellite Status Information*. https://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/services_status.html
- Onestockhome. (2019, October 29). *Round pipe 2.5 inch*. <https://www.onestockhome.com/th/products/76065400/steel-round-pipe-2-12-inch-steel-pap-pacific-pipe>
- Pansomboon, R. (2012, October 19). *Dual-band Quadrifilar Helical Antenna for Radio Beacon Receiver of Low Earth Orbit Satellite*. <http://opac.lib.kmitl.ac.th/Catalog/BibItem.aspx?BibID=b00261241>
- RF Wireless World. (2012, June 3). *Element Yagi Antenna Basics / Yagi Antenna calculator*. <http://www.rfwireless-world.com/calculators/3-element-Yagi-Antenna-Calculator.html>
- RTL-SDR.COM. (2010, December 6). *RTL-SDR (RTL2832U) and software defined radio news and projects*. <https://www.rtl-sdr.com>
- SatelliteDish.com. (2019, October 19). *2.4 Meter Prime Focus Az/El Mount Dish Antenna*. <http://www.satellitedish.com/page5.htm>
- The Meteorological Department. (2013, March 14). *Satellite image analysis*. <http://www.satda.tmd.go.th>
- The Proprietor Phil Cruse. (2019, October 31). *CIE XYZ*. https://www.colourphil.co.uk/xyz_colour_space.shtml
- Torasa, C. (2011). *Modeling of Real-time Forecasting for Near-real-time Rainfall using Images from Two Waves Ranges Bands from APT Data*. Faculty of Industrial Technology. Suan Sunandha Rajabhat University.
- Tutorialspoint. (2019, October 26). *Antenna Theory - Yagi-Uda Antenna*. https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/yagi_uda_antenna_theory.htm
- Utayarat, S. (2006). *Research and Development of Processing Section Baseband Digital Signal of Communication System In Ground Stations for Small multi-purpose Satellites*. Kasetsart University.
- Wikipedia. (2019, October 19). *C band (IEEE)*. [https://en.wikipedia.org/wiki/C_band_\(IEEE\)](https://en.wikipedia.org/wiki/C_band_(IEEE))
- Wikipedia. (2019, October 19). *Ku band*. from https://en.wikipedia.org/wiki/Ku_band