



วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 ม.ค. - มิ.ย. 66

Contents

บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้ QR Code เพื่อรักษาความปลอดภัย กรณีศึกษา ณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช 1-13

ภูมินันท์ บัวงาม และ พนิดา แก้วชนิด

ระบบจัดการตารางเวลา กรณีศึกษาภาควิชาคอมพิวเตอร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช 14-29

พนิดา แก้วชนิด และ ภูมินันท์ บัวงาม

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้ LEACH กับ Multi-hop LEACH ในโครงข่ายไร้สายบนภูมิประเทศสามมิติ 30-42

เมฆินทร์ ธรรมวิชัย เทียนสิริ เหลืองวิไล สุเมธ สุทธารักษ์ วรวิทย์ ประทุมชาติ และ สง่า ศรีศุภปริดา

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำใต้ดินและหาความสัมพันธ์การใช้ประโยชน์ที่ดิน 43-55

จากการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

ศุภวิทย์ สถาปนจารุ แอน กำภู ณ อยุธยา สุนทรี ขุนทอง และ พงศ์พันธุ์ จันทะคัต

การศึกษาและพัฒนาต้นแบบชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx 56-74

ปทุมณกันฐ์ ชำนาญกิจ และ ชนะ จันทรอัม

การปรับปรุงสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ 75-90

ณัฐภัค พละพันธุ์ พชร วารินสิทธิกุล และ ยุทธณรงค์ จงจันทร

การพัฒนาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า 91-103

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ชนะ จันทรอัม และ พงษ์กฤษณ์ รุ่งสุข

บทความวิชาการ

การศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางเพื่อช่วยเหลือ 104-116

ผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ

เกรียงไกร ทานา





วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวอากาศ ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566

NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ที่ปรึกษา/กิตติมศักดิ์

พลอากาศโท วชิรศักดิ์ พุทธิพิทักษ์ _____ ผู้บัญชาการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
พลอากาศโท ศ.ดร.พิชาญ พิชัยณรงค์ _____ ข้าราชการนอกราชการ สังกัดกองบัญชาการ กองทัพอากาศ
พลอากาศตรี จักรกฤษณ์ ธรรมวิชัย _____ ผู้อำนวยการสำนักนโยบายและแผน กรมยุทธการทหารอากาศ
พลอากาศตรี ศ.ดร.ประสงค์ ปราณีตพลกรัง _____ ผู้อำนวยการกองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
พลอากาศตรี ผศ.วัชรินทร์ โกมุลผล _____ ผู้อำนวยการสำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

ที่ปรึกษาวิชาการ

พลอากาศตรี ณัฐวุฒิ อจลบุญ _____ เสนาธิการ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

บรรณาธิการ

นาวาอากาศเอก รศ.ดร.เกียรติกุล ไชย จิตต์เอื้อ _____ สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยที่มีคุณค่าแก่ผู้ที่สนใจ
2. เพื่อเป็นสื่อกลางรายงานความก้าวหน้าผลงานด้านการวิจัย
3. เพื่อแลกเปลี่ยนแนวความคิด ความรู้ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิชาการและวิจัยด้านอากาศยาน การบิน อวกาศ คอมพิวเตอร์ ไซเบอร์ เทคโนโลยีป้องกันประเทศ และวิศวกรรมศาสตร์ ที่เกี่ยวข้อง

ขอบเขต

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวอากาศ จัดทำขึ้นตามวัตถุประสงค์ข้างต้น โดยส่งในรูปแบบบทความทาง Online ซึ่งบทความทุกเรื่องจะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewer) อย่างน้อย 3 คน โดยเป็นการประเมินแบบผู้ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่ง และผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ประเมินบทความ (Double-blind) กองบรรณาธิการฯ จะเป็นผู้พิจารณาในกระบวนการสุดท้ายในการรับตีพิมพ์ บทความที่รับแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ บทความวิชาการ (Academic Articles) และบทความวิจัย (Research Articles) จะต้องเป็นผลงานที่ใหม่ และไม่มีการคัดลอกผลงานจากผู้อื่น มีกำหนดตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี

โดยฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม ของทุกปี

สถานที่ติดต่อ

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช
999 หมู่ 5 ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 2224 ตำบลมิตรภาพ
อำเภอมวกเหล็ก สระบุรี 18180 โทรศัพท์ 08 1412 1412
E-mail : kiatkulchai@rtaf.mi.th

Website: <https://www.nkrafa.ac.th>

<https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/nkrafa-sct>

คู่มือระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์

นาวาอากาศเอก รศ.ชนินทร์รัฐ สิทธิเวชชนาศิริ
นาวาอากาศโท รศ.ดร.ฐาปนันต์ บัณฑิต
นาวาอากาศโท ผศ.โชคชัย แจ่มอำพร
เรืออากาศเอก อภิรักษ์ โกษพิพิ
เรืออากาศเอกหญิง เพ็ญพรพรรณ เมืองวงศ์
เรืออากาศโท ผศ.ดร.วิสูตร คล้ายแจ้ง
จ่าอากาศตรี หญิง อิงฟ้า คำงาม

ออกแบบปกและจัดรูปเล่ม พันจ่าอากาศตรี อิศรา ไตรรูป

ISSN(Print) : 2651-1134

ISSN(Online) : 2651-1002

บทบรรณาธิการ

วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวออากาศ (NKRAFA JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) ซึ่งฉบับนี้เป็นปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 โดยวารสารออนไลน์ใช้ระบบ ThaiJO 2.0 มีหมายเลข ISSN (Online) คือ 2651-1002 และวารสารเป็นเล่ม มี ISSN (Print) คือ 2651-1134 ซึ่งวารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ (ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม) ซึ่งกองบรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวออากาศได้ทุ่มเททำงานเพื่อดำรงความมีคุณค่าของงานวิจัยที่ดีพิมพ์ในวารสารฯ และยังมุ่งมั่นที่จะปรับระดับคุณภาพของวารสารฯ ให้พร้อมที่จะเข้าสู่การประเมินเพื่อเลื่อนขึ้นสู่วารสารกลุ่มที่ 1 ต่อไป

กองบรรณาธิการฯ ขอขอบคุณผู้สนับสนุนบทความทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในการส่งบทความ จำนวน 8 บทความ (บทความภายนอก 4 บทความ บทความภายใน 4 บทความ) เพื่อตีพิมพ์ในวารสารฯ ปีที่ 19 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2566 กองบรรณาธิการฯ ขอพระคุณมูลนิธิพลอากาศเอก ศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธ์ ฤทธาณิน คณะที่ปรึกษา และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่กรุณาใช้เวลาในการตรวจสอบคุณภาพของบทความและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง สุดท้าย ขอขอบคุณ ทีมงานที่เกี่ยวข้องทุกคนที่ทำให้รูปแบบของวารสารฯ มีความสมบูรณ์และสวยงาม จนเกิดความสำเร็จทั้งในด้านคุณภาพและปริมาณตามมาตรฐานคุณภาพของ TCI

นาวาอากาศเอก รองศาสตราจารย์ เกียรติกุลไชย จิตต์เอื้อ
บรรณาธิการวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาเวออากาศ

การประยุกต์ใช้ QR Code เพื่อรักษาความปลอดภัย
กรณีศึกษา ณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

QR Code Application for Building Security: A Case Study of Navaminda

Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

Received : October 6, 2022

Revised : October 23, 2022

Accepted : December 20, 2022

^{1*} ภูมินันท์ บัวงาม ^{2#} พนิดา แก้วชนิด

^{1,2}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*} Phuminun Bua-ngam and ^{2#} Panida Kaewchanid

^{1,2}Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*phuminun@rtaf.mi.th, #panida_ka@rtaf.mi.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยประยุกต์ใช้ QR Code 2) เพื่อจัดทำระบบเก็บข้อมูลผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช โดยใช้ภาษา PHP และ JavaScript ฐานข้อมูล My SQL โดยระบบที่พัฒนาระบบสามารถให้เข้าใช้งานโดยมี 2 ส่วนหลักคือ ระบบจัดการผ่านหน้าเว็บแอปพลิเคชัน และหน้าการใช้งาน QR Code ของผู้ปฏิบัติงานผ่านโมบายแอปพลิเคชัน จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญอยู่ในระดับดีโดยมีผลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.1 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.57 คะแนน และผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อระบบอยู่ในระดับดี มีผลค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.42 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.59 คะแนน แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

คำสำคัญ: การรักษาความปลอดภัย, รหัสคิวอาร์โค้ด, ระบบฐานข้อมูล

Abstract

This research aims to develop a security system based on applying QR Code and create the operator record system based on PHP and JavaScript, My SQL for Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA) area Muak Lek District, Saraburi province. The developed system allows two main ways of accessing, including the management system via web application page and QR Code of work operators with a mobile application. The results showed user satisfaction with the system from experts, which were at a good level by having means at 4.1 points, standard deviation at 0.57 and the assessment result of users' satisfaction toward the system was a good level. The means were at 4.42 points, a standard deviation of 0.59 points. It showed that the efficiency of the system was at a good level.

Keywords: Security, QR Code, Database System

1. บทนำ

ปัจจุบันเนื่องด้วยโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ได้มีนโยบายการจัดวางที่ตั้งใหม่ เนื่องจากที่ตั้งเดิมเขตสายไหม จังหวัดกรุงเทพมหานคร ที่มีความคับแคบและไม่สะดวกต่อหลายภารกิจภารกิจฝึกทางทหาร ตามนโยบายผู้บังคับบัญชาทหารอากาศให้ทำการจัดวางที่ตั้งใหม่ไปยัง อ.มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ซึ่งได้ดำเนินการก่อสร้างมาตั้งแต่ปี 2559 มาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ระหว่างการก่อสร้างอาคารสถานที่ มีผู้ปฏิบัติงานเข้าออกมากหลายพันคน ทำให้อาจเกิดความไม่ปลอดภัยในระหว่างการก่อสร้าง ยังไม่มีขอบเขตที่แน่ชัด จึงได้นำทหารเวรยามเฝ้าควบคุมในการก่อสร้างด้วยเพื่อให้การก่อสร้างเป็นไปอย่างราบรื่น นายทหารเวรที่หมุนเวียนเปลี่ยนผลัดทำให้ไม่สามารถจดจำผู้เข้าปฏิบัติงานได้ทุกคน ทางผู้บังคับบัญชาจึงเล็งเห็นว่าควรมีระบบเพื่อบันทึกข้อมูลของผู้ปฏิบัติงานในแต่ละอาคาร ที่สามารถบันทึกข้อมูลเข้าออก ได้อย่างรวดเร็ว ทางทีมวิจัยจึงได้นำเทคโนโลยี QR Code มาใช้งาน ด้วยความรวดเร็ว ในการเขียนอ่านข้อมูลและ QR สามารถสแกนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ซึ่งผู้ปฏิบัติงานทุกท่านมีสมาร์ทโฟนอยู่แล้ว และใช้งานได้อย่างไม่ยาก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการรักษาความปลอดภัยในทรัพย์สินของทางราชการให้ดียิ่งขึ้น

2. ขอบเขตการวิจัย

2.1 การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยประยุกต์ใช้ QR Code

2.2 ระบบเก็บข้อมูลผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราชโดยใช้ <http://nkrafacs.raf.mi.th/> เป็นศูนย์กลางในการเก็บข้อมูล

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Access Control

การเข้าถึงอาคาร [1] เป็นการยืนยันตัวตนเพื่อเข้าอาคารซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญของการรักษาความปลอดภัยทำให้หลายองค์ประกอบมีความสำคัญของการเข้าถึง เพราะเป็นการปกป้องทรัพย์สินและทรัพยากรขององค์กรที่มีค่า Access Control แบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก ได้แก่

Discretionary Access Control (DAC)

เป็นการเข้าถึงแบบที่เจ้าของพื้นที่แจ้งให้ทราบ เช่น ดิฉันประกาศว่าพื้นที่ส่วนบุคคลห้ามเข้าถึง หรือเจ้าของทรัพยากรเป็นคนออกกฎว่ามีพื้นที่บริเวณใดบ้างที่เป็นชั้นความลับไม่สามารถให้เข้าถึงได้ เป็นต้น

Mandatory Access Control (MAC)

การเข้าถึงอาคารแบบมีนโยบายเป็นการที่เจ้าของทรัพยากรหรือเจ้าของพื้นที่ออกนโยบายการเข้าอาคาร เช่น ถ้าต้องการเข้าอาคารผู้มาเยือนจำเป็นต้องแลกบัตรประชาชนให้กับเจ้าหน้าที่รักษาความปลอดภัย เมื่อใดก็ตามหากมีทรัพย์สินสูญหายหรือ เกิดความเสียหายในเวลาดังกล่าวจะสามารถตามผู้มาเยือนในช่วงเวลานั้นได้ โดยส่วนใหญ่ MAC มักจะถูกใช้ในองค์กรที่เป็นหน่วยงานรัฐบาล

Role-based access control (RBAC)

การเข้าถึงอาคารแบบมีการจำกัดสิทธิ์การเข้าถึงแบบนี้จะเป็นการเข้าถึงที่ใช้กับหน่วยงานที่มีความมั่นคงระดับชาติ เช่น หน่วยงานทหารการเข้าถึงในลักษณะนี้คือการเข้าถึงที่มีชั้นความลับที่ไม่สามารถเปิดเผยให้กับคนทั่วไป หรือพนักงานบางส่วนเพราะอาจทำให้เกิดผลกระทบทั้งทางด้านดีและด้านไม่ดีต่อภาพลักษณ์หรือทรัพย์สินขององค์กร RBAC จะมีการใช้เทคโนโลยี เช่น RFID , Key Card, ตู้สแกนบัตรแบบสถานีรถไฟ

Attribute Based Access Control (ABAC)

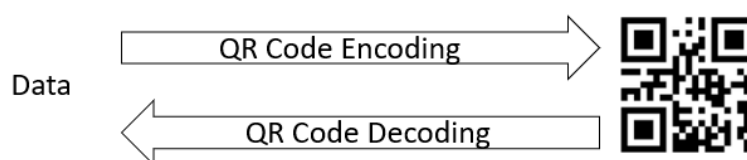
เป็นการเข้าถึงอาคารแบบใช้คุณสมบัติของผู้ใช้งานบางอย่างเช่น ลายนิ้วมือในการยืนยันตัวตน (Fingerprint) การตรวจสอบด้วยใบหน้า (Face Recognition) และ QR Code ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีขึ้นอยู่กับงบประมาณการใช้งานในแต่ละองค์กรตามความเหมาะสมที่เลือกใช้

เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด

เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด (Quick Response Code: QR Code) คือ บาร์โค้ดสองมิติ (Two-Dimensional Bar Code) ชนิดหนึ่ง ที่ถูกพัฒนามาจากบาร์โค้ด (Bar code) ภายใต้นวัตกรรมเพื่อให้บาร์โค้ด อ่านง่ายและเร็วต่อการตอบสนอง (Quick response) [2]

การเข้ารหัสและการถอดรหัสคิวอาร์โค้ด

การเข้ารหัสคิวอาร์โค้ด (QR Code Encoding) เป็นการนำข้อมูลแปลงเป็นสัญลักษณ์คิวอาร์โค้ด โดยโปรแกรมสร้างคิวอาร์โค้ด (QR code generator) ซึ่งเป็นโปรแกรมเสรี (Open source software) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการเข้ารหัสและถอดรหัส QR

การถอดรหัสคิวอาร์โค้ด (QR Code Decoding) เป็นการแปลงคิวอาร์โค้ดให้เป็นข้อมูล โดยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้เครื่องอ่านคิวอาร์โค้ด (QR Code reader) อุปกรณ์สมาร์ทโฟน (Smart phone) หรือถอดรหัสผ่านโปรแกรมซึ่งปัจจุบันมีบริการผ่านระบบอินเทอร์เน็ตในหลาย ๆ เว็บไซต์ กระบวนการถอดรหัสคิวอาร์โค้ด

การเปรียบเทียบระหว่างคิวอาร์โค้ดและอาร์เอฟไอดี

ในการทำงานของคิวอาร์โค้ด และอาร์เอฟไอดี สิ่งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ เรื่องของความสะดวกในการอ่าน เนื่องจากอาร์เอฟไอดีจำเป็นต้องใช้เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีเพื่อเข้าถึงข้อมูล แต่คิวอาร์โค้ดสามารถอ่านข้อมูลได้โดยใช้สมาร์ทโฟน ซึ่งคนส่วนใหญ่สามารถเข้าถึงได้ง่าย นอกจากความสะดวกในการอ่านข้อมูลแล้ว เราสามารถสรุปความแตกต่างระหว่าง 2 อุปกรณ์ รายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างคิวอาร์โค้ดและอาร์เอฟไอดี

ประเด็นเปรียบเทียบ	คิวอาร์โค้ด	อาร์เอฟไอดี
ความทนทานของข้อมูล	สามารถอ่านข้อมูลได้แม้คิวอาร์โค้ดบางส่วนจะถูกทำลายหรือไม่ชัดเจน	ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้หากแท็กอาร์เอฟไอดีบางส่วนเสียหาย
ระยะทางจากตัวอ่าน	สูงสุด 12 นิ้ว	พาสซีฟแท็ก 360 นิ้ว และแอคทีฟแท็ก 30 เมตร
ความจุของข้อมูล	7089 ตัวอักษร	มากกว่า 1000 ตัวอักษร
ความเป็นเอกลักษณ์	สามารถออกแบบให้แตกต่างกันเพื่อแสดงความเป็นเอกลักษณ์	เป็นลักษณะแท็กที่มองไม่เห็น ส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ

ความสะดวกในการแก้ไข	สามารถแก้ไขได้โดยการสร้างใหม่ผ่านโปรแกรม ซึ่งสามารถใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สมาร์ทโฟน	การแก้ไขแท็กอาร์เอฟไอดีจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เฉพาะสำหรับอาร์เอฟไอดี ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการแก้ไข
ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่ายค่อนข้างถูก	ค่าใช้จ่ายสูงกว่าคิวอาร์โค้ด ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแท็ก

จากตารางเปรียบเทียบ เราพบว่าความจุของข้อมูล และระยะทางจากตัวอ่านข้อมูลของคิวอาร์โค้ดมีข้อจำกัด แต่เนื่องจากปัจจุบันการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตเป็นที่แพร่หลาย ทำให้เราสามารถทำลายข้อจำกัดทางด้านความจุของข้อมูล โดยการส่งข้อมูลเป็น URL และการส่งต่อคิวอาร์โค้ดผ่านระบบอินเทอร์เน็ตจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งก็สามารถทำลายข้อจำกัดด้านระยะทางได้เช่นเดียวกัน [3]

การพิสูจน์และยืนยันตัวตนผ่านระบบคิวอาร์โค้ด

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการยืนยันตัวตนในรูปแบบต่างๆ โดยสิ่งที่สามารถใช้ในการพิสูจน์และยืนยันตัวตนมีหลายรูปแบบ เช่น ข้อมูลส่วนบุคคล รหัสผ่าน รูปถ่าย ลายนิ้วมือ รูปใบหน้า[4] รหัสผ่านที่ใช้งานครั้งเดียว (One Time Password) รวมไปถึงเอกสารหลักฐานต่างๆ การใช้คิวอาร์โค้ดสำหรับการพิสูจน์และยืนยันตัวตน ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในยุคดิจิทัลจากการศึกษาข้อได้เปรียบของคิวอาร์โค้ด [5] นอกจากจะลดค่าใช้จ่าย ลดการใช้ทรัพยากร ลดระยะเวลาในการดำเนินการ การใช้คิวอาร์โค้ดยังลดการสัมผัส (Contactless) และเนื่องจากปัจจุบันมีการใช้งานคิวอาร์โค้ดกันอย่างแพร่หลาย ผู้ใช้งานส่วนใหญ่คุ้นเคยกับการสแกนคิวอาร์โค้ดในกิจกรรมต่างๆ นั้นหมายถึงลดความซับซ้อนในกระบวนการทำงาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถดำเนินการใช้งานคิวอาร์โค้ดได้อย่างทันทีทันใด [6] การพิสูจน์และยืนยันตัวตนก็สามารถดำเนินการผ่านสมาร์ทโฟนได้โดยง่าย

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติศักดิ์ แก้วเนียม นิรมิต ขอดเกลี้ยง [7] ได้พัฒนาระบบ AV Self-Check บริการยืนยันตัวตนด้วยตนเองผ่าน QR Code โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มช่องทาง รวมถึงลดขั้นตอนและเวลาในการให้บริการยืนยันตัวตน และส่งเสริมให้มีการใช้งานระบบ AV Self-Check มากขึ้นโดยนำเอา QR Code มาใช้แทนบาร์โค้ดซึ่งทำให้นักศึกษาสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องรอ ให้เจ้าหน้าที่ใช้งานสแกนให้แบบห้องสมุดอย่างเดิม ทำให้นักศึกษาสามารถบริการตนเองได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ปรีชาพล บุญส่ง สุภศิริ สุวรรณเกษร [8] ได้พัฒนาด้านแบบระบุตัวตนสำหรับจัดระเบียบการจอดรถจักรยานยนต์ โดยเลือกใช้เทคโนโลยี QR Code ในการระบุตัวตนของเจ้าของจักรยานยนต์ เพื่อให้สามารถติดต่อเจ้าของจักรยานยนต์กรณีจอดซ้อนคันโดยใช้ภาษา PHP ในการพัฒนาระบบ และ MySQL เป็นระบบฐานข้อมูล

สุภาภรณ์ และคณะ[9] ได้พัฒนาระบบสารสนเทศไม้ขึ้นต้นและไม้ดอกโดยใช้ QR Code เข้ามาอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลของไม้ขึ้นต้นและไม้ดอกโดยเมื่อผู้ชมนำโทรศัพท์มือถือมาสแกน QR Code และเชื่อมโยงไปยังเว็บไซต์ปลายทางที่กำหนดไว้ทันทีทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลด้วยหลากหลายอุปกรณ์ และเข้าถึงข้อมูลของไม้ขึ้นต้นและไม้ดอกได้อย่างรวดเร็วโดยต่างจากระบบอื่น ๆ ที่ต้องมีการลงทะเบียนหรือสมัครสมาชิก

อภิชาล ทองมั่ง กำเนิดว่า เสาวัลักษณ์ ขกฉวี[10] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ QR Code ในการเพิ่มประสิทธิภาพในองค์กร ใน 6 มิติหลัก ได้แก่ การลดเวลา การลดความผิดพลาด การลดต้นทุน การเพิ่มความสะดวกสบาย การเพิ่มโอกาสด้านการขาย และการเพิ่มความน่าเชื่อถือได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงประเด็น เช่น ประยุกต์ QR กับ องค์กรด้านการศึกษา เามาใช้กับการเรียนการสอน งานห้องสมุด งานพัสดุ งานลงทะเบียนที่มีการอบรม ทำให้ลดต้นทุน ลดระยะเวลาและลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นได้

ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง แลคณะ[11] ได้พัฒนาระบบการรักษาความมั่นคงปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของ QR Code ด้วยการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มทางเลือกในการรักษาความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลส่วนบุคคลหรือข้อมูลที่อยู่ในชั้นความลับ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าการนำ QR Code มาใช้แทนบาร์โค้ดทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องอ่าน เนื่องจาก QR Code สามารถอ่านผ่านสมาร์ตโฟนได้ทำให้ผู้ใช้งานใช้ได้สะดวกในด้านการระบุตัวตน QR Code ก็ยืนยันตัวตนได้อย่างรวดเร็วเพราะมีลักษณะทางกายภาพที่เล็กกว่า บาร์โค้ด และ RFID ที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง อีกทั้ง QR Code สามารถประยุกต์ใช้เข้ากับแอปพลิเคชันทั้งทางเว็บ และ โนบายแอปพลิเคชัน ได้อย่างง่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่า QR Code มีความเหมาะสมในการมาประยุกต์ใช้ในการรักษาความปลอดภัยในโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน

5. การดำเนินการวิจัย

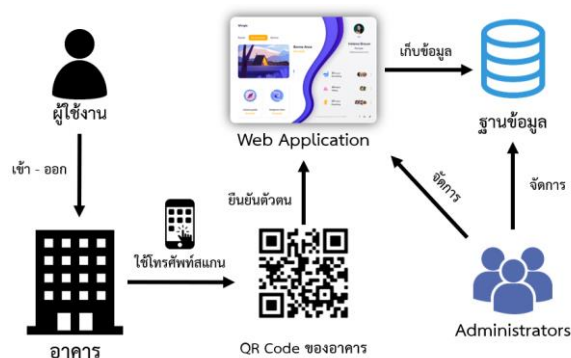
งานวิจัยนี้ได้ใช้การพัฒนาแบบ SDLC(System Development Life Cycle) โดยประกอบไปด้วย 6 ระยะด้วยกัน ได้แก่ วางแผนเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ระบบ ออกแบบระบบ ทดสอบระบบ พัฒนาระบบ และดูแลบำรุงรักษา ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงการพัฒนาแบบ SDLC

การวางแผนและเก็บรวบรวมข้อมูล ได้ทำการกำหนดปัญหาและสาเหตุของปัญหา พบว่าการย้ายที่ตั้งของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ในช่วงต้นยังไม่มียระบบในการรักษาความปลอดภัย ณ ที่ตั้ง จังหวัดสระบุรี ทำให้อาจเกิดความเสี่ยงเรื่องความปลอดภัยในทรัพย์สินที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง ทำให้การก่อสร้างอาจมีความล่าช้า จึงต้องมีการยืนยันตัวตนก่อนที่จะเข้าพื้นที่ เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

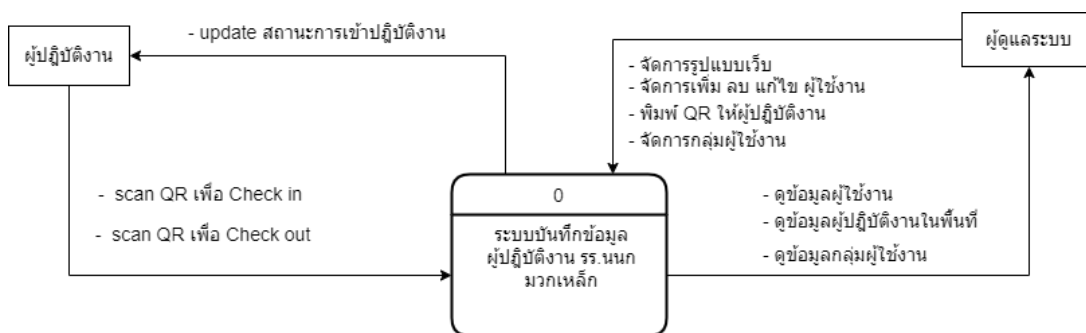
การวิเคราะห์ระบบ จากการย้ายที่ตั้งเนื่องจากยังไม่มียงบประมาณที่เพียงพอในการซื้อเครื่อง RFID จึงจำเป็นต้องใช้ QR Code เพื่อยืนยันตัวตน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ง่าย และมีความรวดเร็วในการอ่านเขียนข้อมูล และใช้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก ผู้ปฏิบัติงานทุกคนสามารถใช้งานได้เพราะมีโน้ตบุ๊กและสามารถสแกนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยมีกรอบแนวคิดดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงกรอบแนวคิดของระบบ

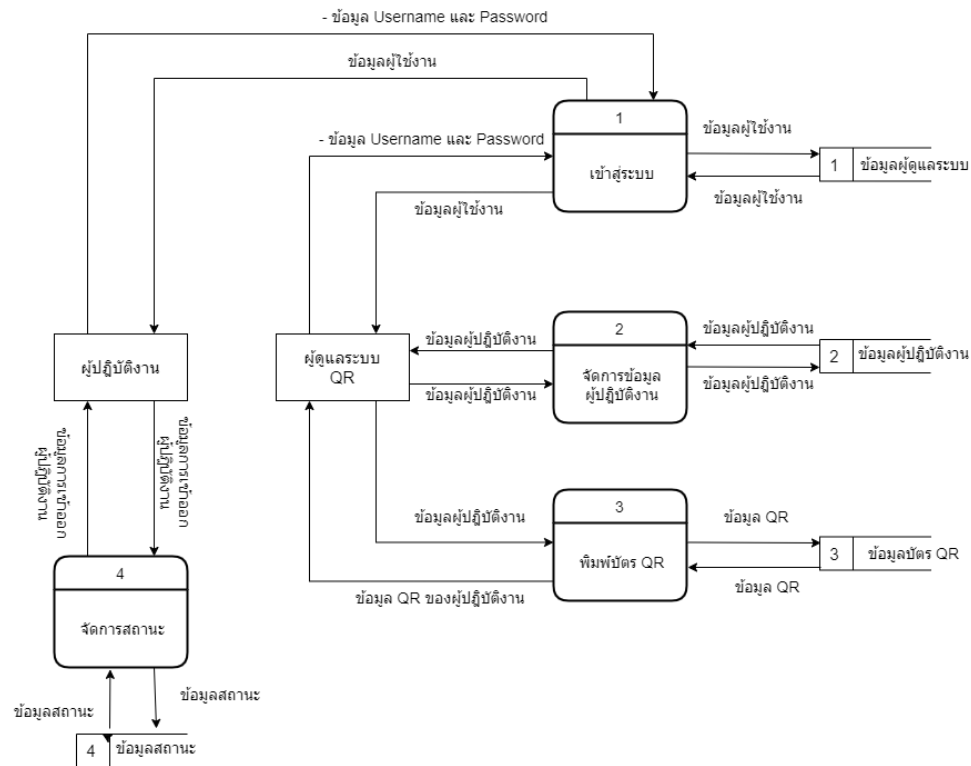
จากรูปเมื่อผู้ปฏิบัติงานเข้าพื้นที่ทำงานภายในแต่ละอาคารจะมีนายทหารเวร คัดกรองในเบื้องต้นแต่เนื่องจากนายทหารเวรผลัดเปลี่ยนไปตามเวลา จึงอาจไม่สามารถจดจำผู้ปฏิบัติงานได้ทั้งหมดผู้ปฏิบัติงานต้องสแกนกับ QR Code ของอาคารเพื่อทำการ Check In ระบบจะทำการตรวจสอบข้อมูลว่ามีผู้ปฏิบัติงานท่านนี้ หรือไม่ถ้ามีก็จะทำการ Check In ไป ถ้าไม่มีจะแจ้งเตือนจากนั้นตัวระบบจะเก็บข้อมูลการเข้าปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานไว้ในระบบทั้งการ Check In และ Check Out โดยตัวระบบสามารถจัดการ อัปเดตข้อมูลผู้ปฏิบัติงานได้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนชื่อ นามสกุล หรือข้อมูลอื่น ๆ ได้ด้วย

จากการวิเคราะห์ระบบทางผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบ Context Diagram ดังรูปที่ 4 โดยมีผู้ที่เกี่ยวข้อง 2 แบบ ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ดูแลระบบ โดยผู้ดูแลระบบสามารถจัดรูปแบบเว็บ จัดการเพิ่มลบแก้ไข ผู้ใช้งาน พิมพ์ QR ให้ผู้ปฏิบัติงาน จัดการกลุ่มผู้ใช้งาน นอกจากนี้ผู้ดูแลระบบสามารถดูข้อมูลผู้ใช้งาน ดูข้อมูลผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ตามอาคารต่าง ๆ ดูกลุ่มผู้ใช้งาน ส่วนกลุ่มผู้ปฏิบัติงานสามารถ Check In และ Check Out เพื่ออัปเดตสถานการณ์ปฏิบัติงานตามอาคารที่มีในโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช



รูปที่ 4 แสดงการออกแบบ Context Diagram

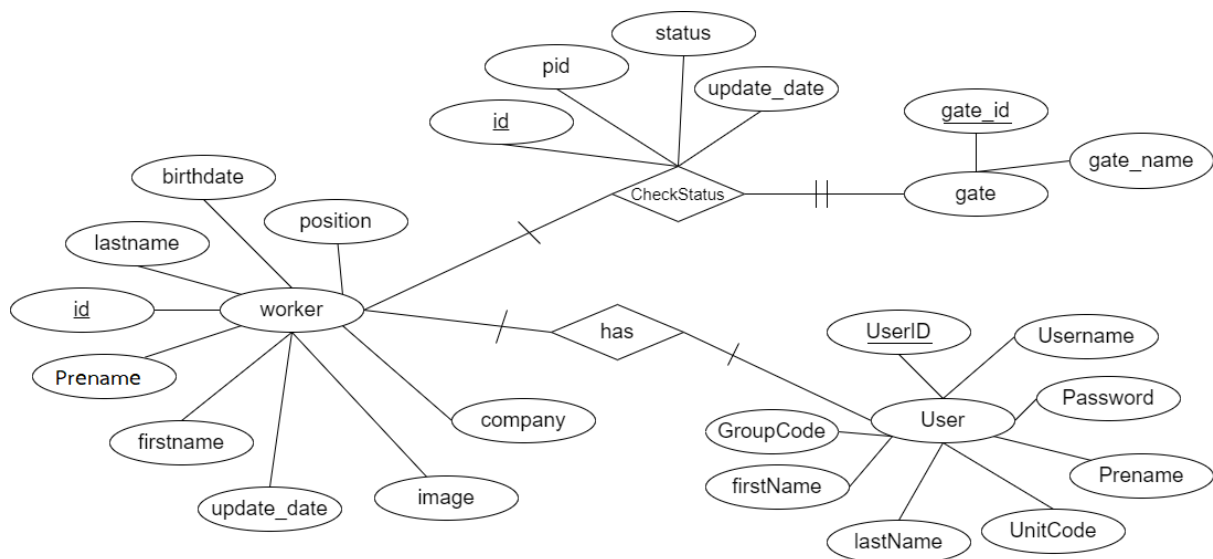
จาก Context Diagram ผู้วิจัยได้นำมาเขียนเป็นแผนภาพกระแสดังรูปที่ 4 ได้แบ่งการทำงานเป็น 4 กระบวนการได้แก่ เข้าสู่ระบบ จัดการข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน พิมพ์บัตร QR และจัดการสถานะ โดยกระแสดังกล่าวเกี่ยวข้องกับข้อมูลทั้งหมด 4 ข้อมูล ข้อมูลผู้ดูแลระบบ ข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน ข้อมูลบัตร QR ข้อมูลสถานะ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดง Data Flow Diagram

การออกแบบ ER Diagram

จาก Data Flow Diagram ผู้วิจัยได้นำมาเขียนเป็น ER Diagram ได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ สามารถนำมาเขียนเป็นตารางได้ 4 ตาราง ได้แก่ตาราง Worker, CheckStatus, User, Gate



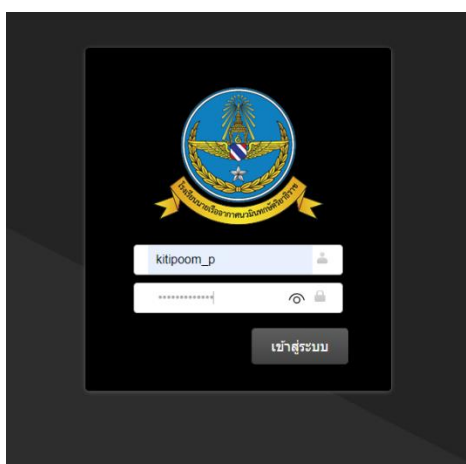
รูปที่ 6 แสดง ER Diagram

ตารางที่ 2 ข้อมูลตารางที่เก็บในระบบฐานข้อมูล

ชื่อตาราง	คำอธิบาย
Worker	เก็บข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน
User	เก็บข้อมูลของผู้ใช้งานและผู้ดูแลระบบ
CheckStatus	เก็บเวลาการเข้าออกของผู้ปฏิบัติงาน
Gate	เก็บข้อมูลชื่ออาคาร

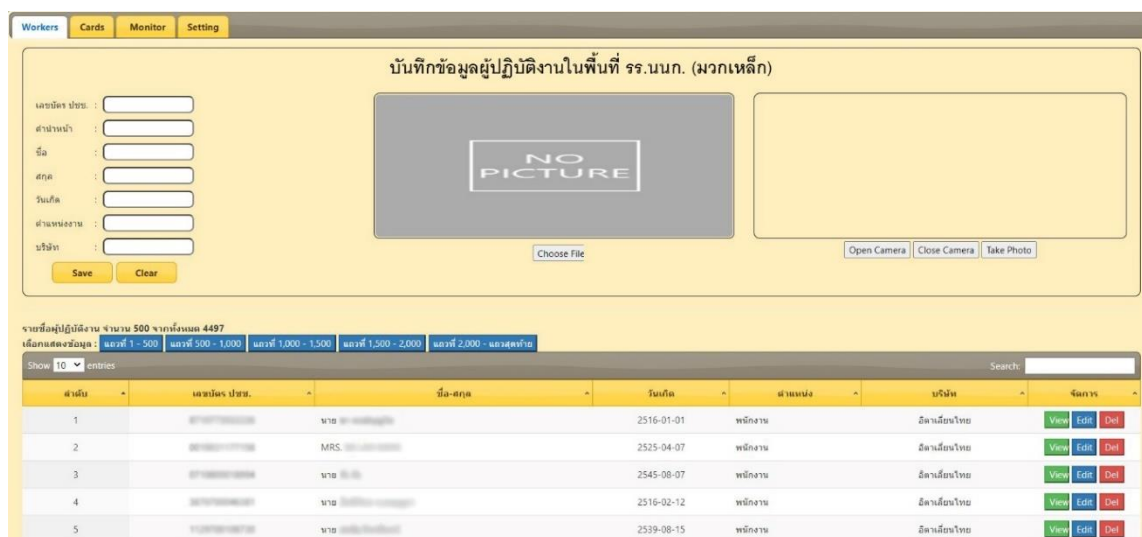
6. ผลการดำเนินการวิจัย

จากการออกแบบระบบได้ทำการพัฒนาระบบตามแผนที่วางไว้ โดยมีหน้าจอการเข้าใช้งานของผู้ดูแลระบบดังรูปที่ 7 หากกรอกรหัสผ่านผิดจะทำการแจ้งเตือน



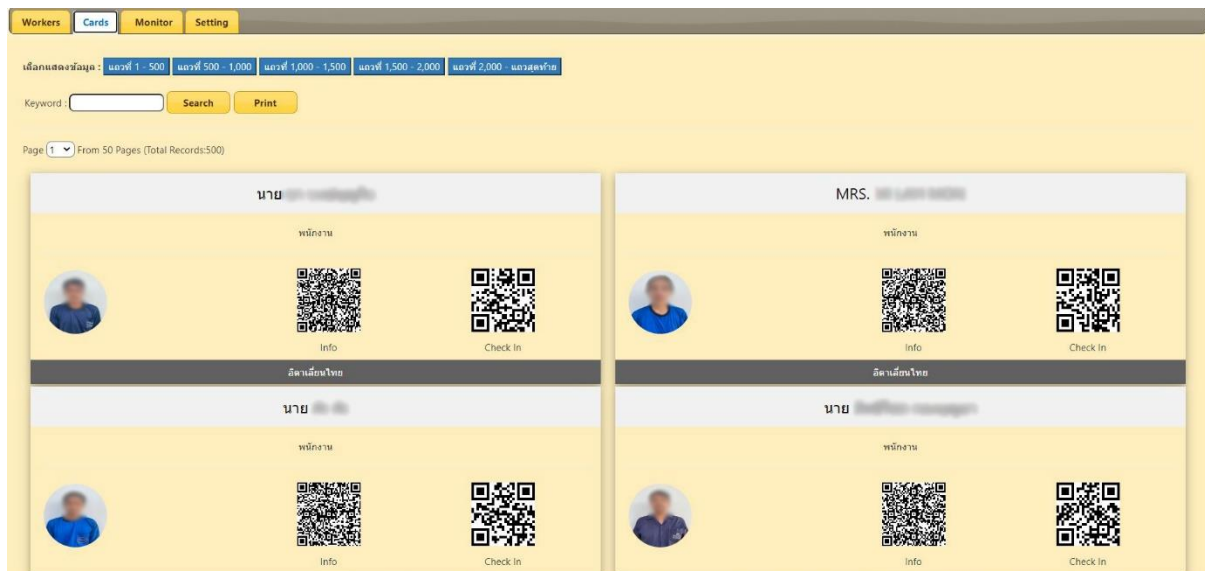
รูปที่ 7 แสดงหน้าจอการเข้าใช้งานระบบ

หน้าจอบันทึกข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน ที่ผู้ดูแลระบบใช้งานสามารถเก็บข้อมูลของผู้ปฏิบัติงาน และถ่ายภาพจากเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือจะต่อกล้องแยกจากตัวคอมพิวเตอร์ก็สามารถทำได้ดังรูปที่ 8



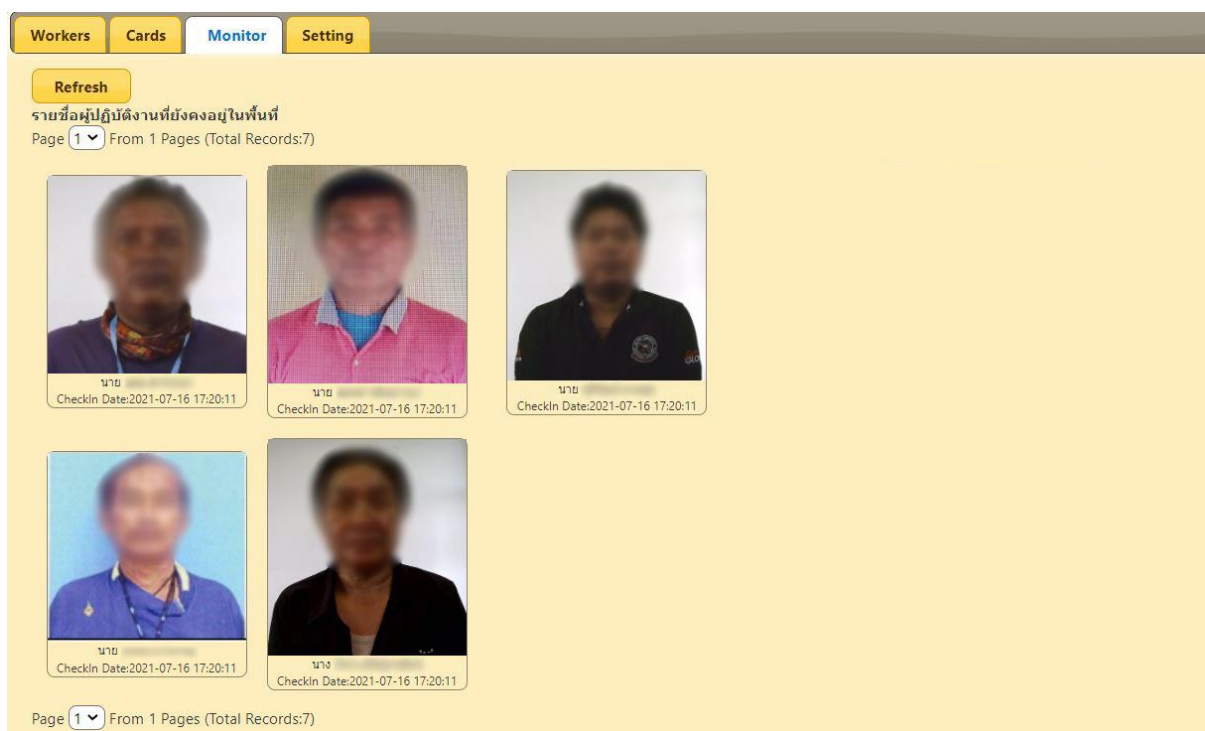
รูปที่ 8 แสดงหน้าจอการเก็บข้อมูลของผู้ปฏิบัติงาน

หน้า Cards แสดงบัตร QR Code ของผู้ปฏิบัติงานที่สามารถพิมพ์ให้ผู้ปฏิบัติงานเอาไว้ติดประจำตัวในการสแกนเข้าอาคารต่าง ๆ ในระหว่างการปฏิบัติหน้าที่ภายในโรงเรียนนายเรืออากาศ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงบัตรของผู้ปฏิบัติงาน

ผู้ดูแลระบบสามารถติดตามผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ และรายงานต่อผู้บังคับบัญชาอย่างทันเหตุการณ์โดยสามารถตรวจสอบเวลาเข้าออกดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 หน้าจอแสดงผู้ปฏิบัติงานที่อยู่ในพื้นที่

หน้าจอของผู้ปฏิบัติงานที่ใช้ในการ Check In โดยสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์มือถือ Tablet เมื่อสแกน QR Code แล้วจะขึ้นรูปของผู้ปฏิบัติงานพร้อมเลือกสถานที่ปฏิบัติงานโดยยกตัวอย่างในที่นี้มี Gate1 , Gate2 เป็นอาคารที่อยู่ในระหว่างการดำเนินการก่อสร้างดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงหน้าจอการ Check in ในอุปกรณ์มือถือ

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบรักษาความปลอดภัยด้วย QR Code กรณีศึกษา ณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ และใช้แบบสอบถามโดยมีรายการประเมินผลทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ และด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบพบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังมีส่วนการใช้งานที่พอใช้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1.ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ	4.25	0.72	ดี
2.ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.4	0.50	ดี
3.ด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบ	3.65	0.49	พอใช้
รวมเฉลี่ย	4.1	0.57	ดี

ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

การประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่ และใช้งานระบบการรักษาความปลอดภัยด้วย QR Code ณ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี จำนวน 1540 คน โดยใช้แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ และด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบพบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้งาน (n = 1540)

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1.ด้านความสามารถของระบบตรงกับความต้องการ	4.55	0.51	ดี
2.ด้านความถูกต้องในการทำงานของระบบ	4.05	0.76	ดี
3.ด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบ	4.65	0.49	ดี
รวมเฉลี่ย	4.42	0.59	ดี

7. สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยของโรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี โดยประยุกต์ใช้ QR Code สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในการรักษาความปลอดภัยในอาคารของโรงเรียนได้เป็นอย่างดี และทำให้นายทหารที่มีหน้าที่ในการควบคุมการปฏิบัติงานในพื้นที่ทำงานได้อย่างรวดเร็ว และมีระบบเก็บข้อมูลของผู้ปฏิบัติงานตามอาคารต่าง ๆ ภายในโรงเรียนที่มีจำนวนมาก สามารถสรุปผลการปฏิบัติงานของอาคารต่าง ๆ ว่ามีใครเข้าไปปฏิบัติงาน นำเรียนผู้บังคับบัญชาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่ตัวระบบมีข้อจำกัดของการใช้งานถ้าหากไม่มีระบบอินเทอร์เน็ตชั่วคราวกรณีไฟฟ้าดับ จะต้องใช้การแลกบัตรเป็นการชั่วคราวจนกว่าระบบอินเทอร์เน็ตจะกลับมาใช้งานได้

8. อภิปรายผล

จากการผลการวิจัยครั้งนี้ได้นำเทคโนโลยีของ QR Code มาใช้ในการยืนยันตัวตนในด้านการรักษาความปลอดภัยได้พบว่า ระบบรักษาความปลอดภัยด้วย QR Code ทำงานได้เป็นอย่างดี ระบบมีส่วนจัดการของผู้ดูแลระบบ ที่สามารถดูข้อมูล

ทั้งหมดได้ และส่วนของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งได้ประเมินผลประสิทธิภาพของระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ โดยประเมินระบบทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ด้านความสามารถที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน ด้านความถูกต้องในการทำงาน และด้านความใช้งานที่ง่ายของระบบ โดยได้คะแนนค่าเฉลี่ยรวมที่ 4.1 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ 0.57 คะแนน ผลการประเมินด้านความพึงพอใจของผู้ใช้งานทั้ง 3 ด้านเหมือนกันได้คะแนนค่าเฉลี่ยรวมที่ 4.42 คะแนน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.59 คะแนน โดยอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ข้อจำกัดของการใช้งานระบบคือระบบมีความจำเป็นที่ต้องใช้งานสัญญาณอินเทอร์เน็ตที่มีความเสถียร แต่เนื่องจากโรงเรียนนายเรืออากาศอยู่ในระหว่างทำการก่อสร้างบางส่วนทำให้ สัญญาณอาจไม่ค่อยเสถียรเท่าที่ควร และส่วนที่ให้ผู้ปฏิบัติงานใช้งานผ่านโมบายจะมีส่วนที่ต้องใช้งานกล้องเพื่อถ่ายภาพเก็บข้อมูลต้องทำการตั้งค่าที่เครื่องแม่ข่ายอย่างละเอียดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการบันทึกของรูปภาพของผู้ปฏิบัติงาน

9. ข้อเสนอแนะ

ในการเก็บข้อมูลในช่วงโรคระบาด Covid-19 เพื่อให้การเก็บข้อมูลใบหน้ามีความชัดเจนอาจต้องถอดหน้ากากซึ่งมีความเสี่ยงที่จะติดเชื้อได้ดังนั้นการเก็บข้อมูลควรต้องใช้ความระมัดระวังและให้ผู้ปฏิบัติงานวัดอุณหภูมิ และตรวจ ATK ก่อนเข้าปฏิบัติงาน

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Kalam, A. A. E., Baida, R. E., Balbiani, P., Benferhat, S., Cuppens, F., Deswarte, Y., & Trouessin, G. (2003). Organization based access control. In Proceedings POLICY 2003. IEEE 4th International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks. 120-131.
- [2] ปฏิภาณ กิตตินันทวัฒน์. (2563). การประยุกต์ใช้นวัตกรรมคิวอาร์โค้ดเพื่อพัฒนาการเรียนการสอนภาษาจีน. *ROMPHRUEK JOURNAL*. 38(3): 91-102.
- [3] Sivakami, N. (2018). Comparative study of barcode, QR-code and RFID system in library environment. *International Journal of Academic Research in Library & Information Science*. 1(1): 1-5.
- [4] Manurung, D. (2020). Designing of user authentication based on multi-factor authentication on wireless networks. *Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems*. 12(1).
- [5] จีรศักดิ์ หมวดโพธิ์กลาง และ วัชรพงศ์ เกตุปาน. (2564). อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิบุคคลพร้อมด้วยระบบจดจำและบันทึกใบหน้าอัตโนมัติ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ 16(2): 45-55.
- [6] จรรยา สายนุ้ย และคณะ. (2564). การประยุกต์ใช้การยืนยันตัวตนด้วยใบหน้าสำหรับระบบลงทะเบียนเพื่อเข้าร่วมงานอบรม/สัมมนา. วารสารวิชาการ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ, 7(2): 39-49.
- [7] กิตติศักดิ์ แก้วเนียม และ นิรมิตร ยอดเกลี้ยง. (2562). AV Self-Check บริการยืมโสตทัศนวัสดุด้วยตนเองผ่าน QR Code หอสมุดจอห์นเอฟเคนเนดี. *PULINET Journal*. 6(2): 23-32.
- [8] ปรีชาพล บุญส่ง และ ศุภศิริ สุวรรณเกษร. (2560). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด(QR Code) เพื่อพัฒนาระบบระบุตัวตนสำหรับจัดระเบียบการจราจรจักรยานยนต์:กรณีศึกษาคณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต. โครงการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ "ราชภัฏวิจัยครั้งที่ 4" (875-884), นุรีรัมย์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์.
- [9] สุภาภรณ์ อัฐจิ และคณะ. (2562). ระบบสารสนเทศไม่ขึ้นต้นและไม่ดกโดยใช้ QR Code การประชุมวิชาการระดับชาติ "สารสนเทศศาสตร์วิชาการ 2019".(1-7), นครศรีธรรมราช : มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

- [10] อภิชาติ ทองมั่ง กำเนิดว่า และ เสาวลักษณ์ ชกณวิ. (2564). ระบบคิวอาร์โค้ดและการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในองค์กร. วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม. 14(2): 24-37.
- [11] ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง แลคณะ (2565). การพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในการรักษาความปลอดภัยและความเป็นส่วนตัวของผู้ใช้ QR Code ด้วยเทคนิคการอำพรางในภาพเพื่อการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพในกองทัพอากาศ วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนาอเวออากาศ. 18(1): 15-25.

ระบบจัดการตารางเวลา: กรณีศึกษาภาควิชาคอมพิวเตอร์
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Scheduling Management System: A Case Study of department of Computer NKRAFA

^{1*}พนิดา แก้วชนิด ^{2#}ภูมินันท์ บัวงาม

^{1,2}ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์
กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*}Panida Kaewchanid and ^{2#}Phuminun Bua-ngam

^{1,2}Department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*panida_ka@rtaf.mi.th, #phuminun@rtaf.mi.th

Received : June 28, 2022

Revised : October 25, 2022

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เป็นภาควิชาที่จัดการเรียนการสอนโดยมุ่งเน้นความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติทางคอมพิวเตอร์เป็นหลัก โดยเน้นการนำความรู้ไปประยุกต์เพื่อใช้งานจริง มีการสนับสนุนการเรียนการสอนโดยจัดห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อให้ให้นักศึกษาได้พัฒนาความรู้ ทักษะ นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน โดยการจัดการเรียนการสอนในคาบปฏิบัติการนั้น มีความจำเป็นต้องมีอาจารย์พิเศษเพื่อทำการช่วยเหลือนักศึกษา และแบ่งเบาภาระของอาจารย์ผู้สอน การจัดการตารางอาจารย์พิเศษโดยพิจารณาข้อจำกัดด้านทรัพยากร อันได้แก่ จำนวนผู้สมัคร เวลาในการเรียนการสอน รวมถึงคุณสมบัติในการปฏิบัติงานของอาจารย์พิเศษ ถือเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน โดยเฉพาะเมื่อเป็นการจัดการโดยมนุษย์ มีขั้นตอนวิธีมากมายที่ถูกนำเสนอขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดการตารางเวลา เช่น ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) การค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) ในงานวิจัยชิ้นนี้ นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดการตารางโดยพิจารณาเงื่อนไขและหาเซตคำตอบที่สอดคล้องกับเงื่อนไข (Constraint Based) ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่ม (Cluster Method) และหลักการกำหนดเส้นตาย (Earliest Deadline First) งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาระบบจัดการตารางสำหรับอาจารย์พิเศษผ่านเว็บ โดยมีกรณีศึกษา คือ ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

คำสำคัญ: การจัดการตารางเวลา, ปัญหาความพึงพอใจภายใต้ข้อจำกัด, การแบ่งกลุ่ม

Abstract

The department of Computer Science belong to Science Faculty of Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA) has a main mission to improve students in both theoretical and practical skills. For each enrolled subject, the computer science students have laboratory for practicing. Therefore, special instructors are needed for supporting the students in each subject. The problem of selecting a set of appropriate special instructor and scheduling a right person in a right timeslot are challenging. Since the problem is large, complex and consumed time when solved by manual. Even there are many techniques have been proposed such as Tabu search, Genetic Algorithm, Constraint Based Approach. This research proposes a combined technique between Constraint Based Approach, Cluster method and Earliest Deadline First for timetabling special instructor problem. The implemented system works like a web-based application. Case study of the department of Computer Science, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy (NKRAFA)

Keywords: Scheduling, Constraint Satisfaction Problem, Clustering

1. บทนำ

ภาควิชาคอมพิวเตอร์ กองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช เป็นภาควิชาที่จัดการเรียนการสอนโดยมุ่งเน้นความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติทางคอมพิวเตอร์เป็นหลัก โดยเน้นการนำความรู้ไปประยุกต์เพื่อใช้งานจริง มีการสนับสนุนการเรียนการสอนโดยจัดห้องปฏิบัติการสำหรับการเรียนรู้เพิ่มเติม เพื่อให้ นักศึกษาได้พัฒนาความรู้ ทักษะ นอกเหนือจากการเรียนในห้องเรียน โดยการจัดการเรียนการสอนในคาบปฏิบัติการณ์นั้น มีความ จำเป็นต้องมีอาจารย์พิเศษเพื่อทำการช่วยเหลือนักศึกษา และแบ่งเบาภาระของอาจารย์ผู้สอน

การจัดตารางเวลา คือ การกำหนดวัน เวลา โดยทำการจัดสรรทรัพยากรภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ลงในช่วงเวลาที่มีเพื่อให้ได้ ตารางเวลาที่ตรงตามวัตถุประสงค์ ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยจะต้องไม่เกิดความขัดแย้งกันในเวลาดังกล่าว [1] การ จัดตารางอาจารย์พิเศษโดยพิจารณาข้อจำกัดด้านทรัพยากรอื่น ได้แก่ จำนวนผู้สมัคร เวลาในการเรียนการสอน รวมถึงคุณสมบัติ ในการปฏิบัติงานของอาจารย์พิเศษ ถือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยเฉพาะการจัดการโดยมนุษย์ ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่าง การดำเนินการจัดตารางเวลา เช่น มีการเปลี่ยนแปลงตารางเวลาของอาจารย์ผู้สอนหรือนักศึกษา การชนกันของเวลาเมื่อมีการจัด ตารางให้อาจารย์ผู้สอนมากกว่า 1 วิชา หรือมากกว่า 1 ห้อง ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และอีกปัญหาหนึ่งซึ่งเกิดจากการเกิดความ ต้องการอาจารย์ผู้สอน ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งพร้อมกัน ก็ทำให้การจัดตารางอาจารย์พิเศษมีความยุ่งยากมากขึ้น

เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาการจัดตาราง เป็นความท้าทายของนักวิจัยมายาวนาน มีขั้นตอนวิธีมากมายที่ถูกเสนอขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตาราง เช่น ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) -การค้นหาลำดับ (Tabu Search)

ส่วนในงานวิจัยนี้ นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางโดยพิจารณาเงื่อนไขและหาเซตคำตอบที่สอดคล้องกับเงื่อนไข (Constraint Based Approach) ร่วมกับเทคนิคการจัดกลุ่ม (Cluster Method) การค้นคืนฐานกรณี (Retriever) [2] และ หลักการกำหนดเส้นตาย (Earliest Deadline First)

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการจัดตารางสำหรับอาจารย์พิเศษ และพัฒนาระบบจัดตารางอาจารย์พิเศษผ่านเว็บแอปพลิเคชัน โดยอาจารย์ผู้สอนสามารถลงทะเบียนเพื่อสมัครเป็นอาจารย์พิเศษ อาจารย์ผู้รับผิดชอบในแต่ละรายวิชาสามารถลงทะเบียนความต้องการอาจารย์พิเศษ และระบบจะทำการจัดตารางเวลาสำหรับอาจารย์พิเศษแต่ละคนโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาค่าความยุ่งยากในระหว่างการจัดตาราง ทำให้ประหยัดทรัพยากรด้านเวลา ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน และก่อให้เกิดความสะดวกเมื่อเทียบกับการจัดตารางด้วยแรงงานมนุษย์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กว่าครึ่งศตวรรษของงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางเวลา มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา โดยปัญหาการจัดตารางการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัยเป็นกรณีศึกษาที่ถูกยกมาศึกษามากที่สุดเพราะเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน [3] ส่วนปัญหาการจัดตารางให้ตรงตามความเหมาะสมของรายวิชานั้นยังไม่ปรากฏในงานวิจัยมากนัก โดยการพัฒนาวิธีการเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาในการจัดตาราง สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการในการจัดตาราง ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

2.1 Sequential Method

วิธีการนี้มีหลักในการจัดตารางตามลำดับเหตุการณ์ และทำการกำหนดเหตุการณ์ลงในช่วงเวลาตามลำดับที่ได้จัดเอาไว้ ซึ่งจะต้องไม่มีเหตุการณ์ใดที่เกิดความขัดแย้งกับเหตุการณ์อื่น ๆ โดยเมื่อนำวิธีการแบบ Sequential มาใช้กับการจัดตารางส่วนใหญ่จะนำเสนอโดยการใช้โหนดเป็นตัวแทนของแต่ละเหตุการณ์ และเส้นที่เชื่อมระหว่างโหนดจะแทนค่าของระยะทางหรือความขัดแย้งของแต่ละเหตุการณ์

2.2 Cluster Method

วิธีการในกลุ่มนี้จะใช้การแบ่งเหตุการณ์ออกเป็นกลุ่มๆ จากนั้นในขั้นตอนวิธีของการจัดตาราง จะทำการจัดแต่ละกลุ่มลงในช่วงเวลาที่ได้รับการจัดสรร โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมและเงื่อนไขข้อบังคับต่างๆ

2.3 Meta-heuristic Method

วิธีการในกลุ่มนี้จะเริ่มต้นจากการสร้างตัวแทนของปัญหาขึ้นมา จากนั้นจะนำมาผ่านกระบวนการที่จะพัฒนาให้ตัวแทนปัญหามีคุณภาพที่ดีขึ้นในแต่ละรอบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการนี้มักจะมีคุณภาพสูง แต่ในแต่ละรอบของการพัฒนาจะใช้ทรัพยากรในการประมวลผลสูงด้วย

2.4 Constraint Based Approach

วิธีการนี้จะเป็นการแก้ปัญหาโดยมีการกำหนดเงื่อนไขและพิจารณาหาคำตอบที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนั้น ส่วนของเงื่อนไขต้องกำหนดตัวแปรขึ้นรองรับ เช่น ถ้ามีตัวแปรเพียงตัวเดียว (Unary) เงื่อนไขก็จะเกี่ยวข้องกับตัวแปรเพียงตัวเดียว ถ้ามี 2 ตัวแปร (Binary) เงื่อนไขก็จะเกี่ยวข้องกับ 2 ตัวแปร คือ จะต้องพิจารณาคู่ของตัวแปรนั้นๆ และในการแก้ปัญหาจะต้องทำตาม

ข้อบังคับต่าง ๆ ให้ได้ตามกฎเกณฑ์ของแต่ละตัวแปร ซึ่งความยุ่งยากในการจัดตารางจะแปรผันตรงกับเงื่อนไขที่ถูกกำหนดขึ้น โดยทั่วไปมีการแบ่งเงื่อนไขที่นำมาใช้เพื่อพิจารณาในการจัดตาราง โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

เงื่อนไขหลัก (Hard Constraint) เป็นข้อบังคับพื้นฐานในการจัดตารางโดยจะต้องไม่มีการละเมิดเงื่อนไขนี้ หากมีการละเมิดเงื่อนไข จะถือว่าตารางเวลาที่ได้นั้นไม่สามารถนำไปใช้ได้

เงื่อนไขรอง (Soft Constraint) เป็นเงื่อนไขที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดตารางเวลา แต่จะช่วยให้ตารางเวลามีความเหมาะสมหรือเป็นที่น่าพอใจสำหรับผู้ที่น่าตารางเวลาไปใช้งานการจัดตารางเวลาให้ออกมาตรงตามเงื่อนไขรองในทุกกรณีนั้น อาจเป็นไปได้ยากเนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งถึงแม้ว่าตารางเวลาที่ออกมาจะไม่ผ่านเงื่อนไขรองทุกข้อ แต่ตารางเวลาที่ได้นั้นสามารถรองรับการใช้งานได้

2.5 Earliest Deadline First

เป็นเทคนิคการจัดตารางเวลาแบบไดนามิกที่ใช้ในระบบปฏิบัติการ (Operating Systems) ซึ่งใช้ในการจัดคิวลำดับความสำคัญของโพรเซส โดยเมื่อมีการจัดตารางจะมีการค้นหาโพรเซสที่ใกล้เคียงกับเส้นตายหรือเร่งด่วนที่สุด และจะกำหนดให้โพรเซสดังกล่าวถูกดำเนินการในคิวถัดไป [4]

EDF เป็นวิธีการจัดการตารางงานใน Preemptive Uniprocessor โดยในการดำเนินการสำหรับงานใดๆ ในแต่ละโพรเซสย่อยที่เป็นอิสระต่อกัน มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันทั้งเวลาในการดำเนินการ (Execution Time) และกำหนดเส้นตาย (Deadline) ซึ่งระบบปฏิบัติการจะทำการจัดลำดับความสำคัญเพื่อช่วยให้งานทั้งหมดเสร็จสมบูรณ์ตามกำหนดเวลาของแต่ละโพรเซส

2.6 Constraint Satisfaction Problem

ปัญหาที่ถูกกำหนดโดยเงื่อนไขความพึงพอใจสามารถจำลองปัญหาผ่าน โมเดลทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้แก้ปัญหาที่ถูกกำหนดด้วยเงื่อนไข โดยมีสามสิ่ง ที่ต้องกำหนด คือ ตัวแปร โดเมนของตัวแปร และข้อจำกัดหรือเงื่อนไข การแก้ปัญหาแบบ CSP นั้นเป็นการค้นหาคำตอบในลักษณะที่ต้องค้นหาคำตอบไปเรื่อย ๆ โดยรูปแบบของเซตคำตอบที่ถูกต้องจะถูกจำกัดด้วยข้อกำหนดหรือเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น และการค้นหาคำตอบใน CSP นั้นสามารถใช้ขั้นตอนวิธีในการค้นหาทั่วไป (General - Purpose Search Algorithms) หากแต่จะใช้เวลานานในการแก้ปัญหา การใช้ขั้นตอนวิธี Backtracking หรือ Forward Checking จะทำให้ค้นหาคำตอบได้เร็วขึ้น [5]

Backtracking เป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหา โดยการค้นหาคำตอบไปที่ละส่วน (Partial Solution) โดยเมื่อได้คำตอบในส่วนหนึ่งแล้ว ก็ทำการค้นหาคำตอบในส่วนอื่นๆ ต่อไป เพื่อให้ได้เซตของคำตอบที่สมบูรณ์ โดยในระหว่างการค้นหาคำตอบนั้นเมื่อพบว่าคำตอบที่ได้นั้นขัดแย้งกับเงื่อนไข หรือไม่สามารถนำไปใช้ได้จะทำการย้อนกลับไป (Backtrack) เพื่อดำเนินการค้นหาคำตอบใหม่ในรูปแบบอื่นๆ ที่เป็นไปได้ต่อไป

Forward Checking เป็นวิธีการหาคำตอบของปัญหา ในลักษณะการตรวจสอบไปข้างหน้า คือ ในระหว่างการดำเนินการเพื่อหาคำตอบ จะมีการตัดตัวเลือกที่ไม่ใช่คำตอบออกทันที โดยอาจจะมีการตัดตัวเลือกดังกล่าวตั้งแต่แรก หรือตัดทิ้งทีละส่วนในแต่ละขอบเขตที่พิจารณา โดยในงานวิจัยชิ้นนี้จะใช้วิธีการหาคำตอบแบบ Forward Checking

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตาราง พบว่ามีการศึกษา และนำวิธีการต่างๆ มาใช้สำหรับการจัดตาราง ซึ่งในแต่ละงานวิจัยมีวิธีการและเทคนิคที่แตกต่างกันออกไป โดยผู้วิจัยแต่ละคนจะพิจารณาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมกับปัญหา และนำเทคนิคต่างๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้คำตอบที่ตรงตามวัตถุประสงค์

ปี ค.ศ. 2003 Valouxis และ Housos [6] ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางเรียนในโรงเรียนมัธยม โดยใช้ Constraint Based Programming และใช้เทคนิค Local Search ร่วมด้วย เพื่อลดพื้นที่และเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาเซตคำตอบ

ปี ค.ศ. 2011 Hussin และคณะ [7] ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางสอบของมหาวิทยาลัยในมาเลเซียโดยใช้วิธีการแบบ Heuristic และประยุกต์ใช้เทคนิค Cluster Heuristic กับ Sequential Heuristic ร่วมกัน โดยการจัดกลุ่มรายวิชาทั้งหมด 39 วิชานั้น มีเพียง 30 วิชาที่ได้รับการจัดกลุ่ม และ 9 วิชาซึ่งไม่สามารถจัดกลุ่ม โดยผู้วิจัยได้แยกทั้ง 9 วิชานี้ออกมาเป็นกลุ่มพิเศษ แล้วใช้วิธีการ Graph Coloring เข้ามาจัดการปัญหานี้

ปี ค.ศ. 2013 Mousa และ El-Sisi [8] ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดตารางเรียนในมหาวิทยาลัย โดยใช้ Genetic Algorithm ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ โดยวิธีการคัดเลือกกลุ่มประชากร 2 วิธี คือ Tournament Selection และ Roulette Wheel Selection ในการทดสอบกับปัญหขนาดเล็กลง และขนาดใหญ่นั้น พบว่าการเลือกกลุ่มประชากรโดย Tournament Selection ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าทั้งสองการทดสอบ และมีการใช้ Mutation Error Method เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบในกรณีที่เกิดความขัดแย้งหรือไม่สามารถหาคำตอบได้

ปี ค.ศ. 2015 Nagareda และ Camacho [9] ได้นำเสนอ Constraint Based Model สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางเรียนในโรงเรียนมัธยม ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ โดยทำการวิเคราะห์ เงื่อนไขข้อบังคับต่างๆ และกำหนดตัวแปรมารองรับ กฎเกณฑ์ เงื่อนไข ข้อบังคับ ที่กำหนดขึ้น ซึ่งทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน และง่ายต่อการยุบรวมกฎหรือเงื่อนไขที่มีความคล้ายคลึงกันเพื่อแก้ปัญหาไปพร้อมกัน

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 วิเคราะห์ปัญหาการจัดตารางเวลา

ปัญหาการจัดตารางเวลาอาจารย์พิเศษนั้น เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลผู้สมัครเป็นอาจารย์ผู้สอน และข้อมูลรายวิชา โดยเป็นการค้นหาคำตอบที่สอดคล้องกับเงื่อนไข และไม่มี ความขัดแย้งกันในด้านตารางเวลา เมื่อพิจารณาปัญหาการจัดตารางเวลาอาจารย์พิเศษ สามารถวิเคราะห์เป็นปัญหาในเชิงคณิตศาสตร์ และเขียนให้อยู่ในรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามหลักการ Constraint Satisfaction Problem ได้ดังนี้

$T = \{T_1, ..., T_i\}$	แทนเซตของผู้สมัครเป็นอาจารย์ผู้สอน (Teacher)
$S = \{S_1, ..., S_j\}$	แทนเซตของรายวิชาที่ต้องการอาจารย์พิเศษ (Subject)
$F = \{F_1, ..., F_m\}$	แทนเซตของชั่วโมงแรกใน (First Hour) ในคาบปฏิบัติการ

$$L = \{L_1, \dots, L_m\}$$

แทนเซตชั่วโมงสุดท้าย (Last Hour) ในคาบปฏิบัติการ

$$C = \{C_1, \dots, C_q\}$$

แทนเซตของเงื่อนไข (Condition) ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา

โดยคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ

$$W = T \times S \times F \times L$$

$$W = \{(T_1, S_1, F_1, L_1), \dots, (T_i, S_j, F_m, L_m)\} \text{ โดยที่ } |W| = i \times j \times m \times m$$

เมื่อทำการคัดกรองตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น จะได้เซตคำตอบที่ตรงตามวัตถุประสงค์ และสามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยในกระบวนการจัดตารางเวลานั้น ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบจัดตาราง ด้วยวิธี Constraint Based Approach ร่วมกับเทคนิค Cluster Method และ Earliest Deadline First โดยนำเงื่อนไขข้อบังคับที่กำหนดขึ้น มาพิจารณาเพื่อคัดกรองข้อมูลตั้งแต่กระบวนการรับข้อมูลเข้า ไปจนถึงกระบวนการในการจัดตารางเวลา เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากการได้เซตคำตอบที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาในการประมวลผล พร้อมทั้งจัดกลุ่มปัญหาเพื่อให้ง่ายต่อการหาคำตอบ และเทคนิค Earliest Deadline First ช่วยในการจัดตารางเวลาในกรณีที่มีทรัพยากรจำกัด

ในกระบวนการจัดตารางเวลาสำหรับอาจารย์พิเศษนั้น จำเป็นต้องพิจารณาเงื่อนไขในการจัดตาราง และตารางเวลาที่ได้จะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ โดยแบ่งเงื่อนไข ออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย เงื่อนไขหลัก และเงื่อนไขรอง ดังนี้

เงื่อนไขหลัก (Hard Constraint) ได้แก่

1. เวลาทำงานของอาจารย์พิเศษจะต้องมีจำนวนชั่วโมงครบถ้วน
2. จำนวนอาจารย์พิเศษจะต้องครบถ้วนตามความต้องการในแต่ละวิชา
3. ช่วงเวลาในการปฏิบัติงานของอาจารย์ผู้สอนจะต้องไม่ขัดแย้งกัน โดย ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งอาจารย์ผู้สอนจะมีคาบปฏิบัติงาน เพียงรายวิชาเดียว ห้องเดียว
4. ตารางเวลาในการปฏิบัติงานของอาจารย์ผู้สอน จะต้องสอดคล้องกับตารางเวลาของอาจารย์ผู้สอน โดยจะต้องจัดตารางปฏิบัติงาน ในช่วงเวลาที่อาจารย์ผู้สอนมีเวลาว่างสามารถปฏิบัติงานได้จริง

เงื่อนไขรอง (Soft Constraint) คือ

ในรายวิชาที่มีความสำคัญ (พิจารณาจาก priority ของแต่ละรายวิชา) กำหนดให้มีการคัดเลือกคุณสมบัติของอาจารย์ผู้สอน โดยพิจารณาจากวุฒิการศึกษา ผลการเรียนโดยเฉลี่ย หรือระดับผลการเรียนในรายวิชานั้น ๆ

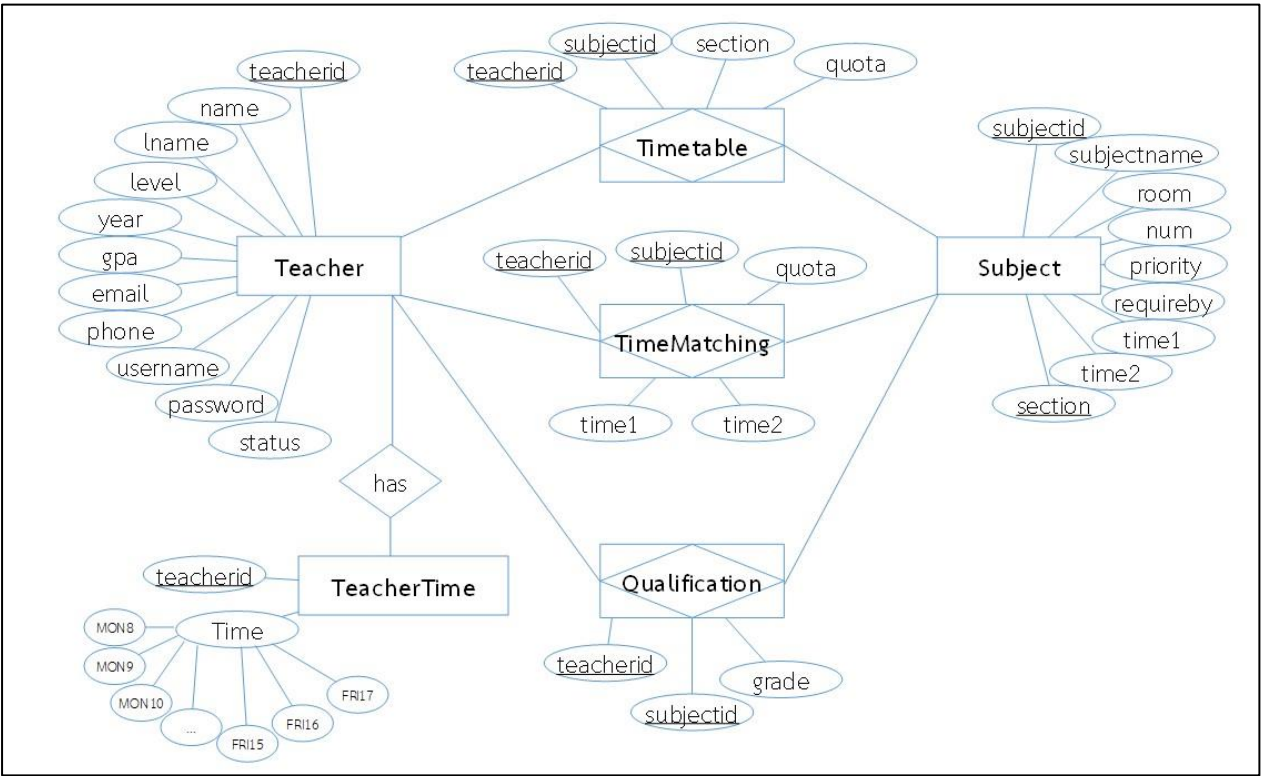
3.2 ฐานข้อมูลสำหรับระบบจัดตารางเวลา

โครงสร้างของฐานข้อมูลภายในระบบจัดตารางเวลา ใช้สำหรับจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางทั้งหมด โดยจะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับ รายวิชาที่มีการร้องขออาจารย์พิเศษ และข้อมูลเกี่ยวกับผู้สมัครอาจารย์พิเศษทั้งหมด โดยออกแบบให้

อยู่ในรูปของโครงสร้างฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database Structure) ซึ่งอธิบายตาม Entity Relationship Diagram หรือ ER Diagram ใน รูปที่ 1 (โดยมีคำอธิบายตามตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 คำอธิบายตารางในฐานข้อมูลสำหรับระบบจัดตารางเวลา

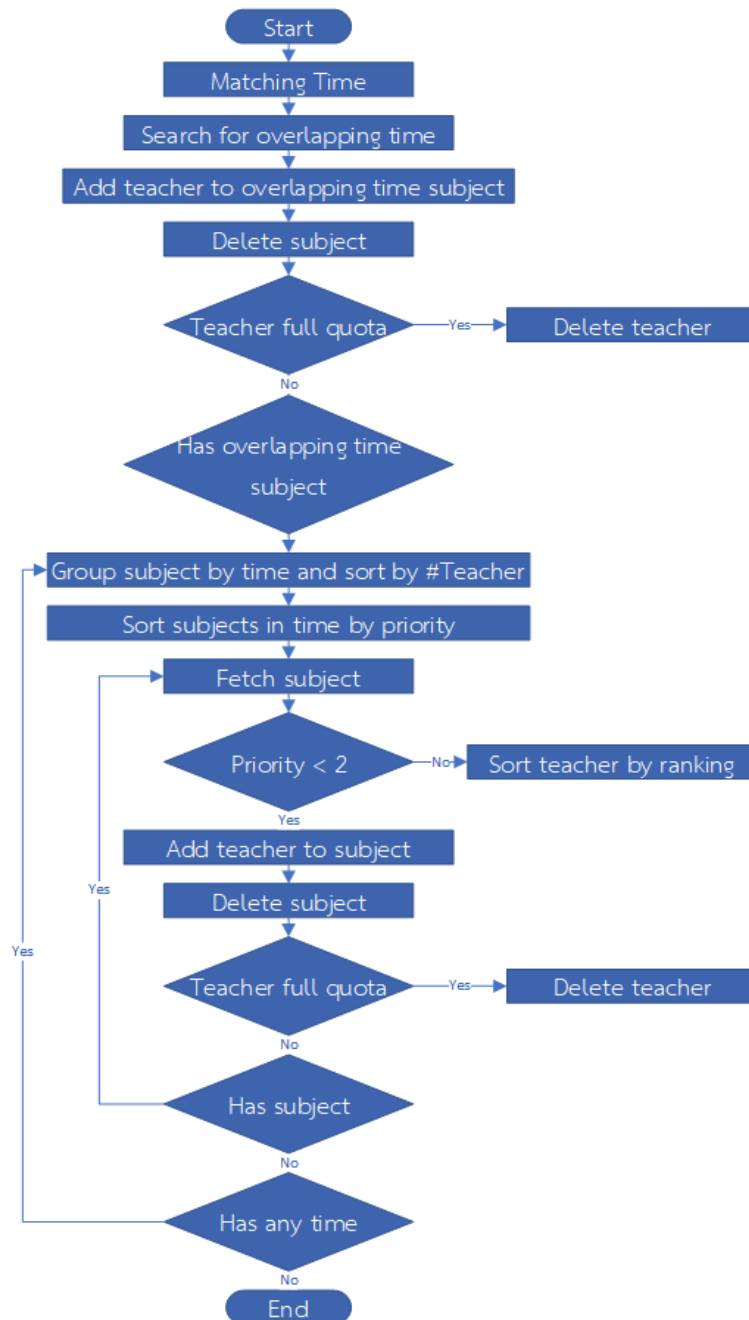
ชื่อตาราง	คำอธิบาย
Teacher	สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปและข้อมูลการเข้าสู่ระบบของผู้สมัครอาจารย์พิเศษ
TeacherTime	สำหรับเก็บข้อมูลตารางเวลาของผู้สมัครอาจารย์พิเศษ
Qualification	สำหรับเก็บข้อมูลผลการเรียนของผู้สมัครอาจารย์พิเศษ
Subject	สำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปและข้อมูลความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละรายวิชา
TimeMatching	สำหรับเก็บข้อมูลเวลาที่อาจารย์พิเศษสามารถทำงานได้ในรายวิชาต่างๆ
Timetable	สำหรับเก็บผลลัพธ์หรือเซตคำตอบสำหรับระบบจัดตารางเวลา



รูปที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ของตารางในฐานข้อมูลสำหรับระบบจัดตาราง

3.3 วิเคราะห์ขั้นตอนวิธีในการจัดตารางเวลา

เมื่อทำการวิเคราะห์และออกแบบระบบจัดตารางเวลาสำหรับอาจารย์พิเศษเสร็จครบถ้วนแล้ว ขั้นตอนวิธีในกระบวนการจัดตารางเวลาแสดงยังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนวิธีในการการจัดตารางเวลา

- Matching Time: เป็นการจับคู่กันระหว่างเวลาว่างของผู้สมัครอาจารย์พิเศษและเวลาเรียนในแต่ละรายวิชา โดยผลลัพธ์ที่ได้จะบอกว่าผู้สมัครแต่ละคนสามารถทำงานในช่วงเวลาใด
- Search for overlapping time: เป็นขั้นตอนในการค้นหาวิชาที่มีเวลาในการเรียนการสอนคาบเกี่ยวกับรายวิชาอื่น ๆ หรือกลุ่มผู้เรียนอื่น ๆ โดยจะเป็นกรณีพิเศษที่จะได้รับการจัดตารางให้เป็นอันดับแรก
- Add teacher to overlapping time subject: ในขั้นตอนนี้จะทำการพิจารณาจัดอาจารย์พิเศษให้แต่ละรายวิชาตามเงื่อนไขลำดับความสำคัญของแต่ละรายวิชา
- Delete Subject: เป็นขั้นตอนการลบรายวิชาที่ได้รับการจัดอาจารย์พิเศษเรียบร้อยแล้วออก
- Condition (Teacher full quota?): เป็นการตรวจสอบชั่วโมงการทำงานของอาจารย์พิเศษแต่ละคน หากคนใดมีชั่วโมงการทำงานครบตามกำหนดแล้ว จะทำการลบข้อมูลออกจาก Working Space เนื่องจากอาจารย์คนนั้น ๆ ไม่จำเป็นต้องได้รับการพิจารณาเพื่อเพิ่มภาระงานแล้ว
- Condition (Has overlapping time subject?): เป็นการตรวจสอบเพื่อทำการจัดอาจารย์พิเศษในรายวิชาที่มีเวลาคาบเกี่ยวกับ โดยจะทำการจัดอาจารย์พิเศษจนครบทุกรายวิชาที่อยู่ในช่วงเวลาที่ถูกลัดกรอง
- Group subject by time and sort by #teacher: ในขั้นตอนนี้จะทำการจัดกลุ่มรายวิชา โดยรวมรายวิชาที่สอน ณ เวลาเดียวกันมาจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน และจัดเรียงตามจำนวนอาจารย์พิเศษ ที่มีเวลาว่างในแต่ละช่วงเวลา
- Sort subject in time by priority: ในแต่ละช่วงเวลาที่ถูกแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ นั้น อาจมีหนึ่งหรือหลายวิชา ณ ช่วงเวลาเดียวกัน โดยในขั้นตอนนี้จะทำการจัดเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละวิชา เพื่อทำการพิจารณาจัดอาจารย์พิเศษให้ในขั้นตอนถัดไป
- Fetch subject: เป็นการหยิบแต่ละรายวิชาในแต่ละช่วงเวลามาทำการจัดการเรียนการสอน
- Condition (Priority < 2): ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขความสำคัญในแต่ละรายวิชา โดยหากรายวิชานั้น ๆ มี Priority มากกว่าหรือเท่ากับ 2 จะทำการพิจารณาคุณสมบัติของอาจารย์พิเศษเพื่อจัดให้รายวิชาดังกล่าวต่อไป
- Sort teacher by ranking: เป็นการตรวจสอบคุณสมบัติของอาจารย์พิเศษแต่ละคน เพื่อทำการพิจารณาจัดตารางงานในแต่ละรายวิชา
- Add TA to subject: ในขั้นตอนนี้จะทำการจัดอาจารย์พิเศษให้รายวิชาที่ถูกเลือก และวนทำซ้ำที่ละวิชา จนกระทั่งครบทุกรายวิชา

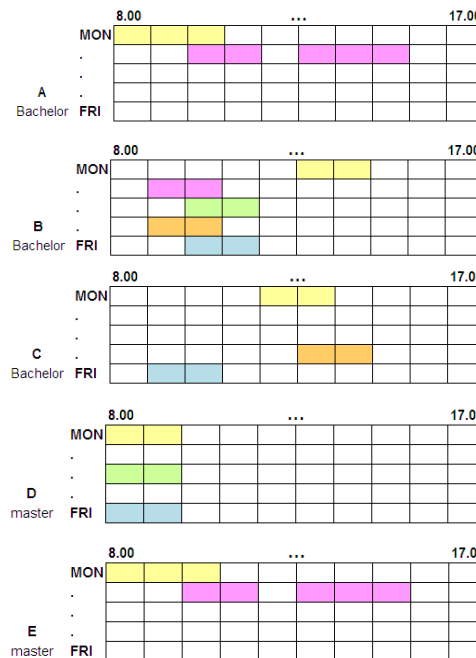
4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ระบบจัดตารางเวลาสำหรับอาจารย์พิเศษ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ สำหรับระบบจัดตาราง ซึ่งประกอบด้วยส่วนการทำงานหลัก ได้แก่ 1) การลงทะเบียนเพื่อเข้าใช้งานระบบ 2) การเพิ่ม ลบ แก้ไข รายละเอียดของผู้สมัคร และอาจารย์พิเศษ 3) การจัดการผู้สมัครอาจารย์พิเศษ 4) การลงทะเบียนความต้องการในแต่ละรายวิชา และ 5) การแสดงผลข้อมูลตารางอาจารย์พิเศษ ซึ่งผ่านกระบวนการจัดตารางเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดตารางสำหรับอาจารย์พิเศษ โดยการจัดสรรทรัพยากรในระบบให้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่ถูกกำหนดขึ้น

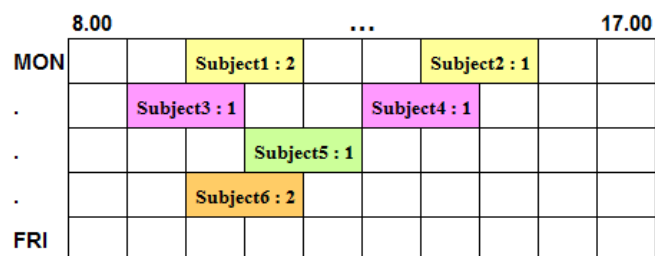
4.1 การทดสอบระบบ

เพื่อทำการทดสอบระบบจัดตาราง ผู้วิจัยได้ทำการสร้างกรณีทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้น โดยมีการออกแบบสภาพแวดล้อมของระบบ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยสอน ตารางเวลาของผู้สมัคร ตารางเวลาชั่วโมงเรียน และความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละรายวิชา

โดยในการทดสอบระบบนั้นจะทำการเพิ่มปริมาณความหนาแน่นในตัวแปรต่าง ๆ คือ ความหนาแน่นของตารางเวลา ผู้สมัครอาจารย์พิเศษ ความหนาแน่นของความต้องการอาจารย์พิเศษ เพื่อทำการทดสอบระบบการจัดตาราง และพิจารณาคุณภาพของตารางเวลาที่ได้



รูปที่ 3 ตารางเวลาผู้สมัครอาจารย์พิเศษ



รูปที่ 4 ตารางความต้องการอาจารย์พิเศษ

จากรูปประกอบที่ 3 แสดงตารางเวลาผู้สมัครอาจารย์พิเศษ โดยความหนาแน่นของตารางเวลาผู้สมัครอาจารย์พิเศษ จะพิจารณาจากจำนวนชั่วโมงที่ผู้สมัครจะต้องปฏิบัติงานตามเงื่อนไขที่กำหนด ต่อ จำนวนชั่วโมงที่ผู้สมัครมีเวลาว่างและสามารถปฏิบัติงานได้ตามตารางปฏิบัติการ เขียนเป็นสมการ ดังนี้

$$D_{ta} = \frac{TA_{work}}{TA_{free}}$$

โดยที่ D_{ta} แทนความหนาแน่นของตารางเวลาผู้สมัครอาจารย์พิเศษ

TA_{work} แทนจำนวนชั่วโมงที่ผู้สมัครอาจารย์พิเศษจะต้องปฏิบัติงานตามเงื่อนไขที่กำหนด

TA_{free} แทนจำนวนชั่วโมงที่ผู้สมัครอาจารย์พิเศษมีเวลาว่างและสามารถปฏิบัติงานได้ตามตาราง

จากรูปประกอบที่ 4 แสดงตารางเวลาคาบปฏิบัติการและจำนวนความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละวิชาโดยความหนาแน่นของความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละวิชา จะพิจารณาจาก จำนวนความต้องการอาจารย์พิเศษ ต่อ จำนวนอาจารย์พิเศษที่สามารถปฏิบัติงานได้ ณ ช่วงเวลาใด ๆ โดยช่วงเวลาที่มีความหนาแน่นสูงที่สุดจะเป็นตัวกำหนดความหนาแน่นของทั้งตาราง เขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$D_{timetable} = \max \left(\frac{TA_{requirement}}{TA_{amount}} \right) \quad (1)$$

โดยที่ $D_{timetable}$ แทนความหนาแน่นของตารางเวลาคาบปฏิบัติการ

$TA_{requirement}$ แทนจำนวนความต้องการผู้ช่วยสอน ณ ช่วงเวลาใด ๆ

TA_{amount} แทนจำนวนผู้ช่วยสอนที่สามารถปฏิบัติงานได้ในแต่ละช่วงเวลาใด ๆ

จากตัวอย่างกรณีทดสอบข้างต้น ประกอบด้วย ผู้สมัครอาจารย์พิเศษทั้งหมด 5 คน เป็นอาจารย์พิเศษในระดับปริญญาตรี 3 คน และระดับปริญญาโท 2 คน ในส่วนของความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละรายวิชา จากตัวอย่างประกอบด้วยรายวิชาทั้งหมด 6 วิชา โดยแต่ละวิชาจะแสดงจำนวนความต้องการอาจารย์พิเศษหลังเครื่องหมาย “ : ” เช่น Subject1 : 2 หมายความว่า Subject1 ต้องการอาจารย์พิเศษ 2 คน

การใช้งานระบบจะมี 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนของผู้ดูแลระบบและผู้ใช้ทั่วไปซึ่งก็คืออาจารย์พิเศษ ที่จะเข้ามาทำการลงทะเบียนเข้ารับการศึกษา โดยจะมีการเก็บข้อมูลประวัติ ผลการเรียนในรายวิชาที่สนใจ และตารางเวลาของผู้สมัคร เพื่อเป็นข้อมูลในการประกอบการพิจารณา ตัวอย่างหน้าจอของระบบ แสดงดัง รูปที่ 5, รูปที่ 6 และ รูปที่ 7

Profile	
ID	001
First name	Poramapom
Last name	Lporamapom
Level	Bachelor's degree ▾
Year	4 ▾
GPA	2.84
Email	P@e.c
Phone	0
Save Change	

รูปที่ 5 ประวัติส่วนตัวผู้สมัคร

Subject ID	Subject Name	Grade
คณ233	คณ233	A ▾
คณ331	คณ331	A ▾
คณ332	คณ332	A ▾
คณ432	คณ432	Non Regist ▾
คค231	คค231	Non Regist ▾
คค232	คค232	Non Regist ▾
คค233	คค233	Non Regist ▾
คค331	คค331	Non Regist ▾
คค333	คค333	Non Regist ▾
คค437	คค437	A ▾
Save Change		

รูปที่ 6 ระดับผลการเรียน

Day/Time	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00
Mon	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
Tue	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wed	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Thurs	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐
Fri	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒	☒	☐
Save Change										

รูปที่ 7 ตารางเวลาของผู้สมัคร

เมื่อทำการ Submit ข้อมูลเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว ผู้ดูแลระบบจะสามารถเรียกดูข้อมูลทั้งหมดได้ผ่าน View ของ Administrator ตัวอย่างมุมมองการใช้งานของผู้ดูแลระบบแสดงดังรูปที่ 8 แสดงภาพรวมของการสมัครอาจารย์พิเศษทั้งหมด โดยผู้ดูแลระบบสามารถ Disable ผู้สมัครที่คุณสมบัติไม่ผ่านเกณฑ์ เพื่อไม่ให้ระบบนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการประมวลผล เช่น วุฒิการศึกษาไม่ตรง ผู้สมัคร ไม่แสดงหลักฐานประกอบการสมัคร และในรูปที่ 9 แสดงข้อมูลรายบุคคลของผู้สมัคร

ID	Name	Level	Detail	Enable
001	Poramaporn	Bachelor's degree		
002	Wachiraya	Bachelor's degree		
003	Nattharika	Bachelor's degree		
004	Naphat	Bachelor's degree		
005	Jirasak	Bachelor's degree		
007	Patcharee	Bachelor's degree		
008	Kanokwan	Bachelor's degree		
011	Tanaporn	Bachelor's degree		
015	Poranat	Master's degree		
016	Siripanga	Master's degree		
017	Pawin	Master's degree		
018	Jakkrit	Master's degree		
019	Panida	Master's degree		
020	Natsarin	Bachelor's degree		
021	Paweena	Bachelor's degree		
024	Nattapon	Bachelor's degree		
006	Jiraporn	Bachelor's degree		
009	Noppadon	Bachelor's degree		
010	Methavee	Bachelor's degree		
012	Somchai	Bachelor's degree		
013	Sofia	Bachelor's degree		
014	Narongrit	Bachelor's degree		
022	Suchanart	Bachelor's degree		
023	Pattaraporn	Bachelor's degree		

รูปที่ 8 ภาพรวมผลการสมัครอาจารย์พิเศษผ่านระบบ

Profile		
ID	013	
First name	Sofia	
Last name	Lsofia	
Level	Bachelor's degree	
Year	3	
GPA	3.23	
Email	S@e.c	
Phone	0	

Result		
คต331	คต331	Non Regist
คต232	คต232	Non Regist
คต231	คต231	Non Regist
คณ432	คณ432	Non Regist
คณ332	คณ332	A
คณ331	คณ331	A
คณ233	คณ233	A
คต437	คต437	A
คต233	คต233	Non Regist
คต333	คต333	Non Regist

013	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00
Mon										
Tue										
Wed										
Thurs										
Fri										

รูปที่ 9 แสดงข้อมูลรายบุคคลของผู้สมัคร

สำหรับความต้องการอาจารย์พิเศษในแต่ละรายวิชา ผู้ดูแลระบบจะทำการนำข้อมูลความต้องการทั้งหมดเข้าสู่ระบบ โดยจะบันทึกข้อมูลรายละเอียดของแต่ละรายวิชา และช่วงเวลาที่ จะจัดให้มีการเรียนการสอนเพิ่มเติมแสดงดังรูปที่ 10

Subject Detail

Subject ID

344-141

Subject Name

344-141

Room

BSc606

Teacher

Supaporn

Section

01

Quantity

2

Priority

Very Important

Study Time

day/ time	8.00 9.00	9.00 10.00	10.00 11.00	11.00 12.00	12.00 13.00	13.00 14.00	14.00 15.00	15.00 16.00	16.00 17.00	17.00 18.00
Mon	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Tue	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Wed	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Thurs	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Fri	☐	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

รูปที่ 10 แสดงความต้องการอาจารย์พิเศษ

เมื่อทำการบันทึกความต้องการทั้งหมดเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว และการรับสมัครอาจารย์พิเศษมีจำนวนเพียงพอต่อการจัดการเรียน ระบบจะสามารถดำเนินการจัดการเวลา เพื่อคัดเลือกอาจารย์พิเศษที่เหมาะสมในแต่ละรายวิชา ภายใต้ทรัพยากรที่มีทั้งหมด ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลในรูปของตารางเวลาที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว แสดงดังรูปที่ 11

	8.00-9.00	9.00-10.00	10.00-11.00	11.00-12.00	12.00-13.00	13.00-14.00	14.00-15.00	15.00-16.00	16.00-17.00	17.00-18.00
Mon								คณ.432(01) 009 015	คณ.432(01) 009 015	
								คณ.231(04) 001 010 011	คณ.231(04) 001 010 011	
								คณ.437(02) 003 008	คณ.437(02) 003 008	
Tue						คณ.333(01) 017 019	คณ.333(01) 017 019	คณ.231(01) 015 019	คณ.231(01) 015 019	
								คณ.231(02) 016 018	คณ.231(02) 016 018	
								คณ.331(04) 003 017	คณ.331(04) 003 017	
Wed	คณ.331(01) 005	คณ.331(01) 005	คณ.231(05) 007 021	คณ.231(05) 007 021	คณ.232(01) 013 024	คณ.437(03) 007 024	คณ.437(03) 007 024	คณ.331(02) 011 015	คณ.231(03) 012 019	คณ.231(03) 012 019
Thurs	คณ.332(01) 016 017	คณ.332(01) 016 017		คณ.231(08) 005					คณ.331(02) 011 015	
	คณ.231(07) 001 019 020	คณ.231(07) 001 019 020	คณ.231(06) 012 020	คณ.231(06) 012 020	คณ.233(01) 016	คณ.331(03) 006 018	คณ.331(03) 006 018	คณ.233(01) 006 018	คณ.233(01) 006 018	คณ.232(01) 013 024
Fri			คณ.331(01) 008 019	คณ.331(01) 008 019						คณ.233(01) 016
			คณ.437(01) 008 020	คณ.437(01) 008 020						

รูปที่ 11 ตารางเวลาที่ ได้จากการประมวลผลของระบบ

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการเวลาอาจารย์พิเศษ โดยการเพิ่มความหนาแน่นของตาราง เวลาของผู้สมัครอาจารย์พิเศษ ความหนาแน่นของความต้องการอาจารย์พิเศษ เพื่อทำการทดสอบระบบการจัดการ และพิจารณาคุณภาพของตารางเวลาที่ได้ พบว่าระบบทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่ โดยตารางที่ได้มีอาจารย์พิเศษประจำในแต่ละวิชาอย่างเพียงพอต่อความต้องการ

การประเมินโดยการสอบถามจากผู้ทดลองใช้ระบบ ซึ่งเป็นอาจารย์ในกองวิชาคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช จำนวน 10 คน มีรายการประเมินผลทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ ด้านประสิทธิภาพ ด้านความถูกต้อง และด้านการใช้งานพบว่า อยู่ในเกณฑ์ดี ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ทดลองใช้ระบบ

รายการประเมินผล	$\bar{X}$	S.D.	แปลผล
1.ด้านประสิทธิภาพ	4.2	0.63	ดี
2.ด้านความถูกต้อง	4.8	0.42	ดี
3.ด้านการใช้งาน	4.3	0.48	ดี
รวมเฉลี่ย	4.43	0.51	ดี

5. สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาระบบจัดการเวลาอาจารย์พิเศษ สามารถลดระยะเวลาในการจัดการตารางได้อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการจัดการด้วยมนุษย์ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของตารางเวลา ระบบสามารถทำการจัดการใหม่ได้ทันที นอกจากจะลดระยะเวลาในการจัดการใหม่ ระบบยังสามารถลดค่าใช้จ่ายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการจัดการใหม่ ตารางที่ได้จากการจัดด้วยระบบจัดการอัตโนมัติ เป็นตารางที่เสร็จสมบูรณ์ครบถ้วนตามเงื่อนไขหลัก และสามารถนำไปใช้งานได้จริง สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

6. ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาระบบโดยแบ่งกลุ่มผู้ใช้ออกเป็น 2 ส่วน คือ ผู้ดูแลระบบและผู้ใช้งานทั่วไป ในส่วนของผู้ใช้งานทั่วไปจะเป็นการลงทะเบียนของผู้สมัครอาจารย์พิเศษ ผู้วิจัยพบว่า สามารถทำการพัฒนาต่อในส่วนนี้โดยการเพิ่มเติมการลงทะเบียน ความความต้องการผู้ช่วยสอนหรืออาจารย์พิเศษ ซึ่งระบบปัจจุบันจำกัดสิทธิ์ในการจัดการนี้โดยผู้ดูแลระบบเท่านั้น หากสามารถจัดการความต้องการจากผู้ใช้งานตารางโดยตรง จะช่วยให้การทำงานสะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yu, E. and Sung, K. (2002). A genetic algorithm for a university weekly courses timetabling problem. *International Federation of Operational Research Societies (IFORS)*. 703-717.
- [2] ภูมินันท์ บัวงาม. (2019). ระบบ แก้ไข ปัญหา ไอ พี ทีวี อัตโนมัติ โดยใช้ วิธี การ ให้ เหตุผล ด้วย ฐาน กรณี. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนายเรืออากาศ*. 15(1): 99-111.
- [3] Burke, E. K., Newall, J. P. and Weare, R. F. (1998). A Simple Heuristically Guided Search for the Time-table Problem. *International ICSC Symposium on Engineering of Intelligent Systems*. 98(1): 574-579.
- [4] Singh, J., Patra, B. and Singh, S. (2011). An Algorithm to Reduce the Time Complexity of Earliest Deadline First Scheduling Algorithm in Real-Time System. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 31-37.
- [5] Müller, T. (2005). Constraint-based Timetabling. Ph.D. thesis, Charles University.
- [6] Valouxis C. and Housos, E. (2003). *Computers & Operations Research*. 1555-1572.
- [7] Hussin, B., Basari, A., Shibghatullah, A. and Asmai, S. (2011). *Open Systems (ICOS)*. 133-138.
- [8] Mousa, H. and Elsis, A. (2013). *Computer Engineering & Systems (ICCES)*. 167-171.
- [9] Nogareda, A. and Camacho, D. (2015). Constraint-based model design for Timetabling problems in secondary schools. *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*. 1-6.

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการใช้ LEACH กับ Multi-hop LEACH ในโครงข่ายไร้สายบนภูมิประเทศสามมิติ

Investigating and comparing the use of LEACH and Multi-hop LEACH for wireless sensor networks on 3D Terrain

^{1#}เมษัณฑ์ ธรรมวิชัย, ^{2*}เทียนสิริ เหลืองวิลัย, ^{3#}สุเมธ สุทธารักษ์, ^{4#}วรวุฒิ ประทุมชาติ
และ ^{5#}สง่า ศรีศุภปรีดา

^{1,3,4,5}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²ภาควิชาคณิตศาสตร์ โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1#}Mason Thammawichai1, ^{2*}Thiansiri Luangwilai, ^{3#}Sumade Sutharuk,

^{4#}Vorawut Pratumshat and ^{5#}Sanga Srisuprapreeda

^{1,3,4,5}Electrical Engineering Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

²Mathematics Department, Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

^{1#}Mason@rtaf.mi.th, ^{2*}Thiansiri.L@gmail.com, ^{3#}Sumade@rtaf.mi.th, ^{4#}Vorawut_p@rtaf.mi.th, ^{5#}Sanga@rtaf.mi.th

Received : January 18, 2023

Revised : May 4, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างมากในปัจจุบัน เพราะถือว่าเป็นหนึ่งในกระบวนการที่แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการสำรวจ การติดตาม การเฝ้าระวัง หรือ ด้านความปลอดภัยในพื้นที่ที่สนใจ ซึ่งแนวคิดนี้คือการให้เซนเซอร์ไร้สายที่มีขนาดเล็กและถูก ไปกระจายตัวในพื้นที่ที่สนใจ จากนั้นส่งข้อมูลสำรวจและติดตามกลับมายังเสารับข้อมูล โดยหนึ่งในความต้องการหลักของแนวคิดนี้คือการทำให้โครงข่ายไร้สายนี้มีอายุขัยในการส่งข้อมูลยาวนานที่สุด และมีการครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดโดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการวิเคราะห์และเปรียบเทียบพฤติกรรมและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการจัดสรรเซนเซอร์ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายสองแบบ คือ อัลกอริทึมแบบ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH) เมื่อใช้กับภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นสามมิติ โดยดำเนินการเปรียบเทียบขีดความสามารถของจำนวนรอบในการส่งข้อมูล ในพื้นที่จำลองขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และพื้นที่ที่มีความสูงระหว่าง 0 - 20 เมตร ด้วยจำนวนเซนเซอร์ 50 ตัว และมีเสารับข้อมูลด้วย อยู่บริเวณเนินสูงใกล้จุดศูนย์กลางของพื้นที่

คำสำคัญ: โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย, อัลกอริทึม, LEACH, Multi-hop LEACH

Abstract

The wireless sensor network (WSN) has recently become more interesting to many researchers since it provides promising potential in many areas such as exploration, monitoring, surveillance and security. The idea is to deploy a large amount of small and cheap wireless sensors over an area. One crucial requirement of this method is to extend the network lifetime and coverage. This research investigates and compares the behaviour and performance of the Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) and the Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH) when applied to a 3D terrain. The number of transmission rounds is used for performance comparison in this study. The simulation is done on the generated terrain with a size of 256 x 256 square meters. The terrain height varies between 0 - 20 meters. There are 50 sensor nodes randomly located over the terrain with one sink node located on the highest peak near the center of the terrain.

Keywords: Wireless sensor network (WSN), algorithm, LEACH, Multi-hop LEACH

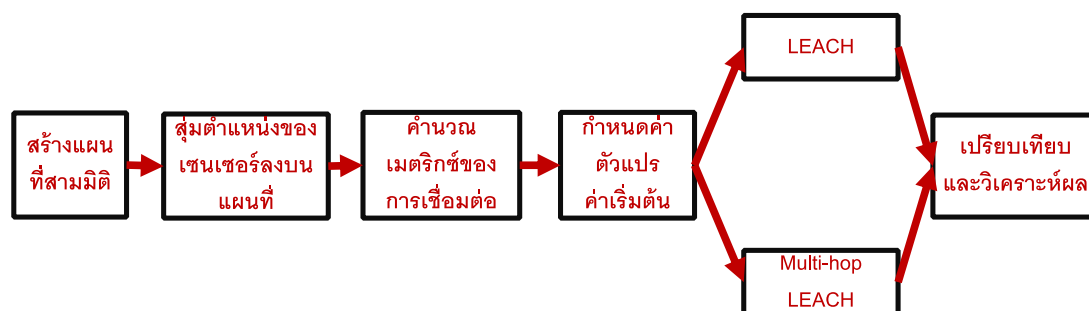
1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการใช้ระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Network Sensor (WSN)) เริ่มเป็นที่สนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการตรวจจับสภาพสิ่งแวดล้อม ความชื้น ปริมาณฝน หรือข้อมูลชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่ที่สนใจ [1] นอกจากนี้ในทางการรักษาความปลอดภัยและทางการทหาร ยังสามารถใช้ในการตรวจจับสิ่งแปลกปลอมหรือการบุกรุกพื้นที่ได้อย่างดี โดยข้อสำคัญของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย คือ ตัวเซนเซอร์แต่ละตัวนั้น มีราคาถูก สามารถใช้จำนวนเซนเซอร์มากได้ และง่ายต่อการสร้าง ง่ายต่อการนำไปใช้ ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างดี แต่เนื่องจากตรวจเซนเซอร์แต่ละตัวมีขนาดเล็ก ทำให้มีพลังงานที่บรรจุไว้ในตัวเซนเซอร์มีอย่างจำกัด ด้วยข้อจำกัดนี้ ทำให้อายุขัย (Network Lifetime) ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น มีอย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีงานวิจัยมากมายที่พยายามจะยืดอายุขัยของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายออกไป เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ตรวจจับและส่งข้อมูลในการตรวจจับกลับมายังสถานีได้ยาวนานที่สุด [1]

โดยได้มีงานวิจัยที่พยายามพัฒนาอัลกอริทึมในการเลือกตัวเซนเซอร์และเส้นทางของการส่งข้อมูล เพื่อให้อายุขัยของระบบโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายอยู่ได้นานที่สุด และครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด โดยใช้หลากหลายอัลกอริทึม [2] และหนึ่งในอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมอย่างสูง และมีประสิทธิภาพในการยืดอายุขัยของระบบโครงข่ายไร้สายได้อย่างมากคือ อัลกอริทึมแบบ Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH) [3] เพราะจะมีการกระจายและสุ่มเลือกเซนเซอร์มาปฏิบัติหน้าที่ เพื่อรักษาสมดุลของระดับพลังงานของเซนเซอร์แต่ละตัว ทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างดี และยังประหยัดพลังงานอีกด้วย อีกทั้งอัลกอริทึมชนิดนี้ยังง่ายต่อการนำไปใช้จริง โดย Heinzelman et al. (2000) [4] ได้อธิบายขั้นตอนและกระบวนการใช้งานของอัลกอริทึมแบบ LEACH ได้อย่างละเอียด จากนั้น Al-Sodairi & Ouni (2018) [5] ได้พัฒนาต่อยอดอัลกอริทึมแบบ LEACH เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ให้ดียิ่งขึ้นและเพิ่มอายุขัยของโครงข่ายให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเรียกว่าอัลกอริทึมที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นี้ว่า อัลกอริทึมแบบ “Multi-hop Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (Multi-hop LEACH)” โดยอัลกอริทึมนี้จะเพิ่มขีดความสามารถของเซนเซอร์ให้มีการรีเลย์ข้อมูลผ่านเซนเซอร์ตัวอื่นได้ดียิ่งขึ้น [5,6,7]

ทั้งนี้ จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ส่วนใหญ่จะเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการทำงานของอัลกอริทึมทั้งสองชนิดนี้ในพื้นที่สองมิติ ไม่มีสิ่งกีดขวาง (Free Space) ซึ่งอาจจะไม่สะท้อนพฤติกรรมและข้อจำกัดของอัลกอริทึมทั้งสองเมื่อมีการนำไปใช้จริงในพื้นที่สามมิติ เพราะการนำไปใช้จริงของโครงข่ายไร้สายนั้น จำเป็นที่จะต้องเผชิญกับการบดบังการส่งสัญญาณของเซนเซอร์ด้วยภูมิประเทศ ทำให้ความสามารถในการส่งสัญญาณระหว่างเซนเซอร์นั้นถูกจำกัดลงอย่างมาก ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือ การเปรียบเทียบพฤติกรรม ข้อจำกัด และประสิทธิภาพขั้นต้นของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH บนพื้นที่สามมิติที่มีตัวแปรของการบดบังของภูมิประเทศเข้ามาด้วย เพื่อการพัฒนาต่อยอดในอนาคตต่อไป

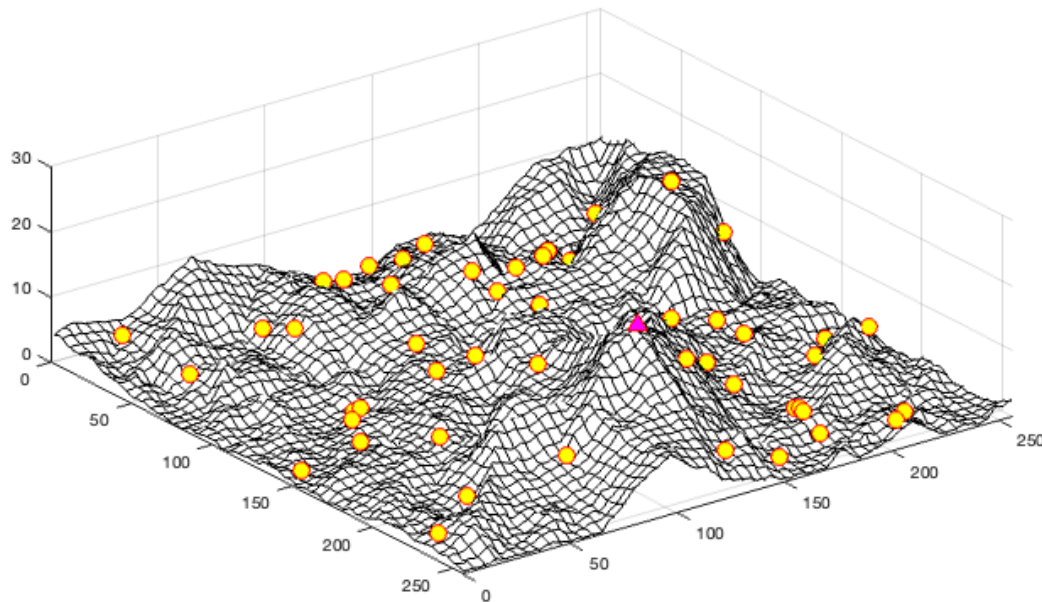
2. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH บนแผนที่สามมิติ

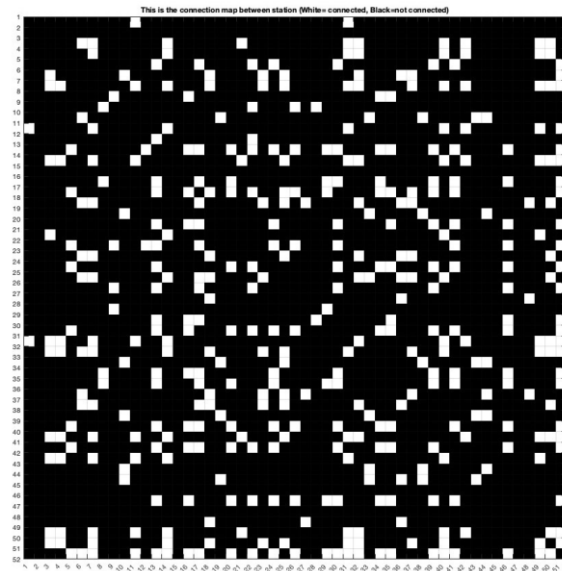
ในรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนของการทดสอบประสิทธิภาพและพฤติกรรมของอัลกอริทึมทั้งสองในงานวิจัยชิ้นนี้ โดยขั้นตอนแรกคือ การสร้างภูมิประเทศสามมิติจำลองขึ้นมา ในการวิเคราะห์เลือกภูมิประเทศนั้น หากแผนที่มีความกว้างเกินไป หรือภูมิประเทศมีความชันมากเกินไป จะทำให้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้นไม่สามารถทำงานได้ และไม่สามารถดำเนินการเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมได้ ในทางตรงกันข้ามหากแผนที่แคบจนเกินไปหรือความชันน้อยจนเกินไป จะทำให้ไม่เห็นพฤติกรรมการบดบังด้วยภูมิประเทศได้ หลังจากที่ได้ดำเนินการทดสอบแบบจำลองด้วยภูมิประเทศหลายรูปแบบ ดังนั้นในการวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกภูมิประเทศที่มีคุณลักษณะด้านต่าง ๆ อยู่ในระดับกลาง เพื่อให้ตอบวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมทั้งสองได้ดี ดังนั้นจึงดำเนินการการสุ่มความสูงแต่ละจุดเป็นพื้นที่ขนาด 256 x 256 ตารางเมตร โดยแผนที่ที่สุ่มสร้างขึ้นมานี้มีความสูงสูงสุดอยู่ที่ 17.1 เมตร และจุดต่ำสุดอยู่ที่ 0 เมตร ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่อยู่ที่ 4.65 เมตร จากนั้นขั้นตอนต่อไป คือการสุ่มตำแหน่งของเซนเซอร์จำนวน 50 เซนเซอร์ลงบนพื้นที่สามมิติที่สร้างขึ้นมาก่อนหน้าแล้ว โดยภูมิประเทศและตำแหน่งของเซนเซอร์ทั้ง 50 ตัวนี้ แสดงอยู่ในรูปที่ 2 และจะถูกบันทึกไว้เพื่อใช้ในการทดสอบของการ

ทำแบบจำลองทุก ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบที่ยุติธรรม โดยสถานีรับข้อมูลจะตั้งอยู่บนพื้นที่สูงของภูมิประเทศที่พิกัด (192,130,16.7271)



รูปที่ 2 แผนภาพภูมิประเทศจำลองแบบสามมิติและตำแหน่งของเซนเซอร์จำนวน 50 ตัวที่สุ่มวางลงบนแผนที่

ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์ (Connection Matrix) ทั้งหมดรวมทั้งเสารับข้อมูลด้วย (Sink Node) ว่าเซนเซอร์แต่ละตัวสามารถส่งสัญญาณไปหาเซนเซอร์ตัวอื่นตัวใดได้บ้าง ซึ่งการที่เซนเซอร์จะสามารถส่งข้อมูลไปหาเซนเซอร์ตัวอื่นได้นั้นระยะห่างของทั้งสองตัวจะต้องไม่เกินค่าของระยะสื่อสาร (Communication Range) โดยในงานวิจัยชิ้นนี้กำหนดไว้ว่าระยะสื่อสารของเซนเซอร์แต่ละตัวจะไม่เกิน 110 เมตร และจะต้องไม่ถูกบดบังด้วยภูมิประเทศ โดยขั้นตอนการคำนวณหาการบดบังของภูมิประเทศนั้น ใช้อัลกอริทึมของเบรเซนแฮม (Bresenham Algorithm) เพื่อวิเคราะห์ว่าเส้นแนวสายตา (Line of Sight) จากเซนเซอร์ตัวหนึ่ง โดยอัลกอริทึมนี้จะดำเนินการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดที่ต้องการเชื่อมแล้วตรวจสอบว่าถูกภูมิประเทศบดบังหรือไม่ [8] ซึ่งเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์แต่ละตัวบนแผนที่สามมิติในรูปที่ 2 มีผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 โดยตัวเลขด้านซ้ายแสดงหมายเลขของเซนเซอร์แต่ละตัว ส่วนตัวเลขที่อยู่ในการแนวนอนคือหมายเลขของเซนเซอร์ที่รับ/ส่งสัญญาณ ถ้าสามารถส่งสัญญาณถึงกันได้จะมีค่าเป็นหนึ่ง (สีขาว) แต่ถ้าไม่สามารถส่งสัญญาณหากันได้จะมีค่าเป็นศูนย์ (สีดำ) โดยเสารับข้อมูลด้วย (Sink node) นั้นแสดงด้วยหมายเลขที่ 51 ส่วนค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้แสดงอยู่ในตารางที่ 1



รูปที่ 3 แผนภาพเมทริกซ์ของความสามารถในการเชื่อมต่อของเซนเซอร์และแผนที่ในรูปที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าตัวแปรต่าง

ตัวแปร	ค่าตัวแปร
จำนวนเซนเซอร์ (n)	50
จำนวนสถานีรับ (s)	1
ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity)	0.5 – 0.9
ค่าพลังงานเริ่มต้นของแต่ละเซนเซอร์ (E_0)	1 J
ระยะส่งไกลสุด C_r	110 m
ค่าอัตราพลังงานในการตรวจจับ (E_S)	2.5 μ J/bit
ค่าอัตราพลังงานในการรับข้อมูล (E_R)	0.5 μ J/bit
ค่าพลังงานของวงจร (E_{elec})	5 μ J/bit
ค่าพลังงานขยายสัญญาณ (E_{fs})	100 pJ/bit/m ²
ความยาวข้อมูล (k)	128 bits

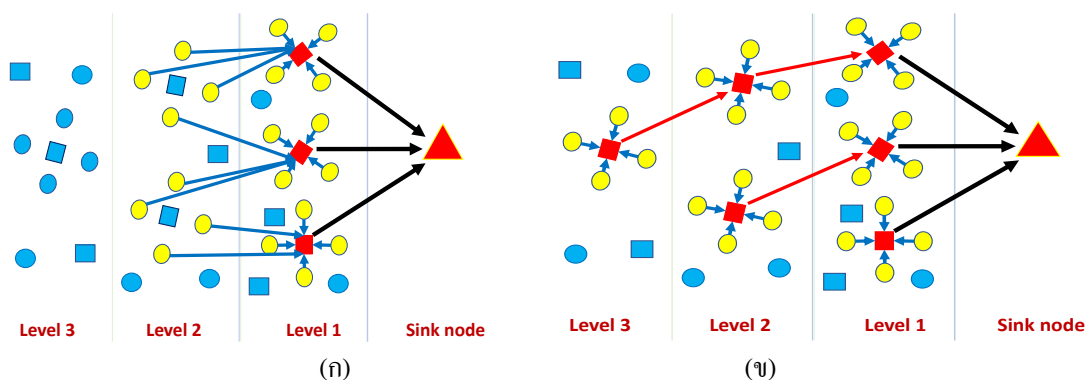
ขั้นตอนต่อไปนั้นจะเป็นการดำเนินการวิเคราะห์ว่าโครงข่ายไร้สายนั้น จะสามารถส่งข้อมูลได้กี่รอบและมีจำนวนอายุขัยของระบบโครงข่ายมากน้อยเพียงใด โดยอัลกอริทึมที่ใช้ในการเลือกเซนเซอร์ที่จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณแต่ละรอบนั้นจะใช้อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH มาเป็นตัวกำหนดการทำงานในแต่ละรอบ โดยอัลกอริทึมทั้งสองนั้น มีความเหมือนกันคือ จะดำเนินการสุ่มเซนเซอร์มาทำหน้าที่ หัวหน้ากลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) ในแต่ละรอบเพื่อรวบรวมข้อมูลจากเซนเซอร์ธรรมดา (Normal Node) จากนั้นจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยัง สถานีรับ (Sink Node) เพื่อเป็นการลดพลังงานของทั้งโครงข่าย ส่วนข้อแตกต่างนั้น คือ อัลกอริทึมแบบ LEACH นั้น หัวหน้ากลุ่มโครงข่ายจะส่งข้อมูลต่อไปยังสถานีรับได้เท่านั้น ในขณะที่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้น หากหัวหน้ากลุ่มโครงข่ายใด อยู่ไกลออกไปจากสถานีรับหรือถูกบังคับจากภูมิประเทศ ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสถานีรับได้ หัวหน้ากลุ่มโครงข่ายจะสามารถรีเลย์ข้อมูลไปยังหัวหน้ากลุ่มโครงข่ายตัวอื่น ๆ ที่จะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายได้ จนสุดท้ายข้อมูลสามารถรีเลย์ไปจนถึงสถานีรับได้ในที่สุด

โดยอัลกอริทึมทั้งสองนั้น จะเริ่มต้นจากการกำหนดอัตราส่วนของเซนเซอร์ (P) ที่ทำหน้าที่เป็นหัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) แล้วส่งข้อมูลไปยังสถานีรับ (Sink Node) ซึ่งจากงานวิจัยในอดีตพบว่า การที่จะให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีนั้น ค่าอัตราส่วน P นี้ ควรมีค่า 0.05 - 0.1 (Heinzelman et al., 2000) โดย Heinzelman et al., (2000) ได้วิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมสำหรับค่า P (อัตราส่วนการกำหนดหัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) โดยประมาณในแต่ละรอบของการสุ่ม อาจจะมากหรือน้อยกว่าค่านี้ ขึ้นอยู่กับการสุ่มจริง) โดยปกติการใช้โครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) แบบไม่มีสิ่งบดบัง ควรจะเป็นค่าประมาณ 0.05 - 0.1 เพื่อให้โครงข่ายมีอายุยาวนานที่สุด ในแต่งงานวิจัยชิ้นนี้ พื้นที่สามมิติได้ บดบังพื้นที่การเชื่อมต่อของโครงข่ายไปบางส่วน ทำให้มีเซนเซอร์ไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงต้องเพิ่มจำนวนหัวกลุ่มโครงข่ายเพิ่มมากยิ่งขึ้น และจากการทดสอบด้วยแบบจำลองภูมิประเทศ 10 แบบ ด้วยการวางจุดเซนเซอร์ต่างกันบน ภูมิประเทศ 10 แบบ และค่า (K -connectivity) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 พบว่า $P = 0.5$ ให้จำนวนรอบของการส่ง ข้อมูลของระบบโครงข่ายได้มากที่สุดและโครงข่ายยังมีอายุยาวนานที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จากกำหนดค่า P ไว้ที่ 0.5 เพื่อหาขีดความสามารถของอัลกอริทึมทั้งสอง

ขั้นตอนต่อไป ค่าอัตราส่วน P นี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการสุ่มเลือกหัวกลุ่มโครงข่าย โดยใช้จำนวนค่าขอบเขต หัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Selection Threshold) ไว้ตามสมการที่ (1) ด้านล่าง

$$T(rnd) = \frac{P}{1 - P * (rnd * \text{mod}(\frac{1}{P}))} \quad (1)$$

โดย $T(rnd)$ ค่าขอบเขตที่จะใช้กำหนดในการเลือกหรือไม่เลือกเซนเซอร์แต่ละตัวในการสุ่มเลือกทำหน้าที่ หัวกลุ่มโครงข่าย (Cluster Head Node) และ rnd คือ รอบที่ของการคำนวณเพื่อหาเซนเซอร์ในการส่งสัญญาณ จากนั้นเซนเซอร์ แต่ละตัวจะดำเนินการสุ่มตัวเลขระหว่างศูนย์ถึงหนึ่ง หากเซนเซอร์ตัวใดได้ค่าการสุ่มมากกว่าค่าขอบเขตหัวกลุ่มโครงข่าย จะถูกกำหนดให้เซนเซอร์ตัวนั้นทำหน้าที่เป็นหัวกลุ่มโครงข่ายในรอบนั้น ในทางตรงกันข้ามหากเซนเซอร์ตัวใดได้ค่าการสุ่ม น้อยกว่าค่าขอบเขตหัวกลุ่มโครงข่ายจะทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์เก็บข้อมูลธรรมดา



รูปที่ 4 แผนภาพจำลองการเลือกเซนเซอร์ในการทำหน้าที่รับ/ส่งข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ

(ก) LEACH และ (ข) Multi-hop LEACH

รูปที่ 4 แสดงแผนภาพจำลองของการเลือกเซนเซอร์ในการทำหน้าที่รับ/ส่งข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH ในรูปที่ 4(ก) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ในรูปที่ 4(ข) ซึ่งในกระบวนการเลือกเซนเซอร์นั้นเริ่มต้นจากการตรวจสอบ ว่าหัวกลุ่มโครงข่าย (รูปสี่เหลี่ยมในรูปที่ 4) ตัวใดสามารถเชื่อมต่อกับเสารับข้อมูล (รูปสามเหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) ได้หรือไม่

หากสามารถเชื่อมต่อได้ก็จะถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในรอบนั้น (รูปสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) ส่วนหัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่ถูกเลือกจะแสดงด้วยสี่เหลี่ยมสีฟ้าในรูปที่ 4 จากนั้นเซนเซอร์ธรรมดาหรือลูกข่ายจะเชื่อมต่อเข้ากับหัวกลุ่มโครงข่ายที่สามารถต่อเข้าเสารับข้อมูลได้ และถูกเลือกอยู่ก่อนแล้วในขั้นตอนก่อนหน้านี้ (เฉพาะหัวกลุ่มโครงข่ายที่เป็นสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปที่ 4) โดยจะเลือกหัวกลุ่มโครงข่ายตัวที่สามารถเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ธรรมดาตัวนั้นได้ และอยู่ในระยะที่ใกล้ที่สุด ถ้าเซนเซอร์ธรรมดาถูกเลือกทำงานจะแสดงเป็นรูปวงกลมสีเหลืองในรูปที่ 4 แต่ถ้าไม่ถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในรอบนั้นจะแสดงด้วยวงกลมสีฟ้า

อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้นจะมีขีดความสามารถเพิ่มเติมจากอัลกอริทึมแบบ LEACH ที่อธิบายมาแล้วข้างต้นอีกหนึ่งอย่าง คือ หัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเสารับข้อมูลได้ในขั้นตอนแรกและไม่ได้ถูกเลือกให้ทำหน้าที่ในตอนแรกจะพยายามเชื่อมเข้ากับหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่สามารถต่อเข้ากับโครงข่ายได้แล้วแทน ทำให้เพิ่มการถูกเลือกเพื่อส่งข้อมูลของหัวกลุ่มโครงข่ายมีเพิ่มมากยิ่งขึ้น และเพิ่มโอกาสให้เซนเซอร์ธรรมดาหาหัวกลุ่มโครงข่ายที่ตัวเองสามารถเชื่อมต่อได้ง่ายขึ้น ดังแสดงในภาพเปรียบเทียบในรูปที่ 4

ขั้นตอนต่อไปเป็นการตรวจสอบว่า จำนวนหัวกลุ่มโครงข่าย รวมกับเซนเซอร์ธรรมดาที่ถูกเลือกทั้งหมด มีจำนวนได้เท่ากับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) ที่กำหนดไว้ของรอบนั้น ๆ แล้วหรือไม่ ถ้าได้ตามจำนวนที่ต้องการก็จะดำเนินการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในรอบนั้น ๆ หากได้น้อยกว่าก็จะกระโดดไปสู่รอบการสุ่มต่อไปโดยไม่คำนวณการใช้พลังงานและถือว่ารอบการจัดสรรเซนเซอร์รอบนั้นใช้ไม่ได้ โดยสมการการใช้พลังงานที่เกี่ยวข้อง [9] ดังสมการที่ (2) ถึง สมการที่ (4) ต่อไปนี้

ค่าพลังงานที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_S(i) = \epsilon_S k \quad (2)$$

ค่าพลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_T(i) = (E_{elec} + E_{fs}d_{ij}^2)(m + 1)k \quad (3)$$

ค่าพลังงานที่ใช้ในการรับข้อมูลของเซนเซอร์หมายเลข i

$$E_R(i) = \epsilon_R mk \quad (4)$$

โดยค่า m เป็นจำนวนลูกข่ายรวมทั้งหมดที่ส่งข้อมูลมายังเซนเซอร์หมายเลข i ในกรณีที่ เป็นเซนเซอร์หัวกลุ่มโครงข่าย โดยค่า m นี้จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าเซนเซอร์หมายเลข i ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ธรรมดาในรอบนั้น และค่า k เป็นความยาวข้อมูล (bits)

3. ผลการวิจัย

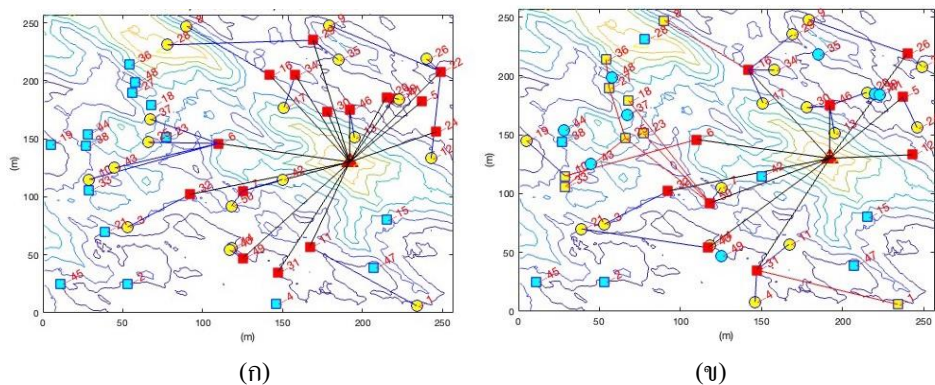
ในการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอริทึม นั้น จะดำเนินการเรียกใช้แบบจำลองของอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH สำหรับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 โดยค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อนั้น คือจำนวนอัตราส่วนของเซนเซอร์ที่จะใช้ในการส่งข้อมูลในรอบนั้น ๆ ต่อจำนวนเซนเซอร์ทั้งหมดที่มี

ในรูปที่ 5 แสดงตัวอย่างของระบบโครงข่ายที่ดำเนินการตรวจนับข้อมูลด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH สำหรับค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.7 หมายความว่าต้องมีเซนเซอร์ที่ดำเนินการเก็บข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมทั้งหมด 35 เซนเซอร์ จากเซนเซอร์ทั้งหมดที่มี 50 ตัว โดยในตัวอย่างนี้เป็นรอบการส่งที่ 200 ซึ่งการส่งข้อมูลกลับไปทีสถานรับข้อมูล (รูปสามเหลี่ยมสีแดง) ได้ผ่านการรวบรวมข้อมูลโดยหัวกลุ่มโครงข่าย (รูปสี่เหลี่ยม

สีแดงหรือสีเหลือง) โดยเซนเซอร์ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเดียวคือรูปวงกลมสีเหลือง ส่วนเซนเซอร์ที่ไม่ถูกเลือกจะแสดงด้วยรูปวงกลมสีฟ้าและหัวกลุ่มโครงข่ายที่ไม่ถูกเลือกจะถูกแสดงด้วยสีเหลี่ยมสีฟ้า ตามที่อธิบายมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้

รูปที่ 5(ก) จะเป็นโครงข่ายของอัลกอริทึมแบบ LEACH ซึ่งหัวกลุ่มโครงข่ายจะไม่สามารถรับข้อมูลไปยังหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นได้ ส่วนในรูปที่ 5(ข) จะเป็นโครงข่ายของอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ซึ่งในกรณีนี้ ถ้าหัวกลุ่มโครงข่ายตัวใด อยู่ไกลจากเสารับข้อมูล (Sink node) หรือว่าภูมิประเทศบังคับให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกับเสารับข้อมูลได้ หัวกลุ่มโครงข่ายตัวนั้น จะสามารถส่งข้อมูลไปยังหัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่สามารถรับข้อมูลไปยังเสารับข้อมูลได้แทน

จากการเรียกใช้อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH เพื่อดำเนินการเลือกในแต่ละรอบของการตรวจจับข้อมูลรอบ ๆ ในสิ่งแวดล้อมแล้วส่งกลับไปยังสถานีของเสารับข้อมูลนั้น จะใช้เซนเซอร์ตัวใดทำหน้าที่อะไรแล้วเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวใด เพื่อให้ได้ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อที่ต้องการของรอบการตรวจจับนั้น ๆ



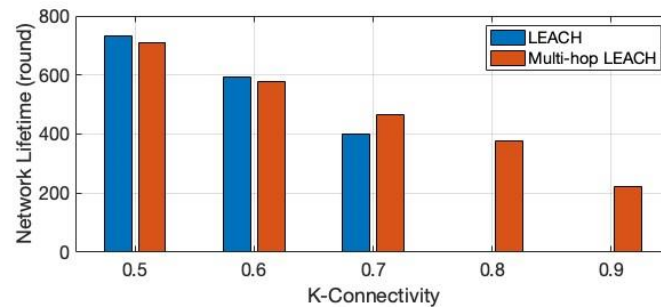
รูปที่ 5 แผนภาพแสดงโครงข่ายของเซนเซอร์ที่ถูกเลือกให้ส่งข้อมูลในรอบที่ 200 ด้วยอัลกอริทึมแบบ (ก) LEACH และแบบ (ข) Multi-hop LEACH

โดยรูปที่ 6 แสดงอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) ที่ได้จากการจัดสรรเซนเซอร์ทำงานด้วยอัลกอริทึมทั้งสอง โดยค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) ที่ใช้เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ซึ่งผลที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ LEACH แสดงด้วยกราฟแท่งสีฟ้า และผลที่ได้จากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH แสดงด้วยกราฟแท่งสีแดง จากการทดสอบพบว่า ถ้าค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อมีค่าน้อย (K-connectivity = 0.5 และ 0.6) และเซนเซอร์ที่อยู่ใกล้ ๆ กับเสารับข้อมูลมีมากเพียงพอแล้ว อัลกอริทึมแบบ LEACH จะสามารถมีรอบของการส่งข้อมูลได้ 732 และ 594 รอบ ตามลำดับ ซึ่งได้มากกว่าอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH อยู่เล็กน้อย ซึ่งส่งได้ 711 และ 579 รอบ ตามลำดับ เพราะมีเซนเซอร์ในภูมิประเทศอยู่รอบ ๆ เสารับข้อมูล (Sink Node) มากเกินพอต่อการส่งสัญญาณตรวจจับกลับมา ส่วนอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ก็สามารถหาจำนวนเซนเซอร์ได้เพียงพอ แต่การที่มีการรับข้อมูลผ่านหัวกลุ่มโครงข่ายแต่ละครั้งนั้น จะเสียพลังงานมากกว่าการส่งตรงครั้งเดียวไปยังเสารับข้อมูล ทำให้อายุขัยของโครงข่ายลดลงเล็กน้อย

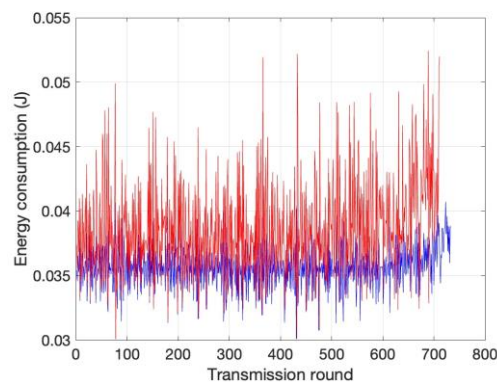
กรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อ (K-connectivity) เท่ากับ 0.7 นั้น หมายความว่าแต่ละรอบการตรวจจับและส่งข้อมูลต้องการเซนเซอร์มากถึง 70% คือ 35 เซนเซอร์ จากทั้งหมด 50 เซนเซอร์ ซึ่งการต้องการจำนวนเซนเซอร์ที่เยอะมากขึ้น ทำให้การหาเซนเซอร์เพื่อทำงานแต่ละรอบด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH มีความยากมากยิ่งขึ้น ทำให้ส่งได้เพียง 399 รอบ ในขณะที่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะสามารถทำรอบการส่งข้อมูลได้มากกว่า ซึ่งส่งได้ 467 รอบ

สุดท้าย ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อมีค่าสูง (K-connectivity = 0.8 และ 0.9) ในกรณีนี้ จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์ในการตรวจจับข้อมูลรวมกันมากถึง 40 และ 45 เซนเซอร์ จากทั้งหมด 50 เซนเซอร์ ตามลำดับ ซึ่งการใช้จำนวนเซนเซอร์มากขนาดนี้ ทำให้อัลกอริทึมแบบ LEACH ไม่สามารถหาจำนวนหัวกลุ่มโครงข่ายร่วมกับเซนเซอร์ธรรมดาได้เพียงพอต่อข้อกำหนดของความถี่ของการตรวจจับข้อมูลและส่งข้อมูล ทำให้ไม่สามารถทำงานได้

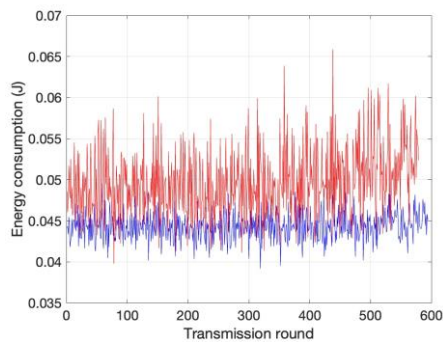
แต่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังคงสามารถจัดสรรเซนเซอร์ในโครงข่ายได้เพียงพอต่อความต้องการและสามารถมีรอบการส่งข้อมูลได้ 375 และ 223 รอบ ตามลำดับ



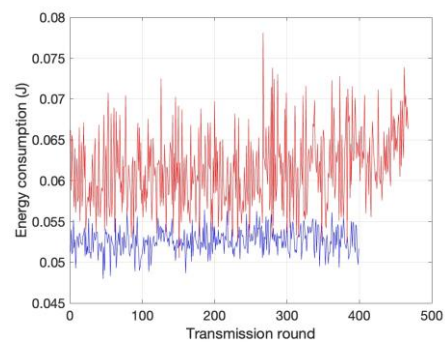
รูปที่ 6 แผนภาพเปรียบเทียบอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) จากการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH (สีน้ำเงิน) และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH (สีแดง)



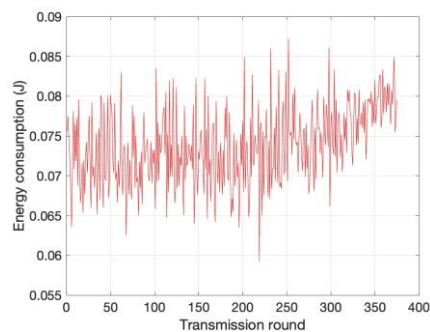
(ก)



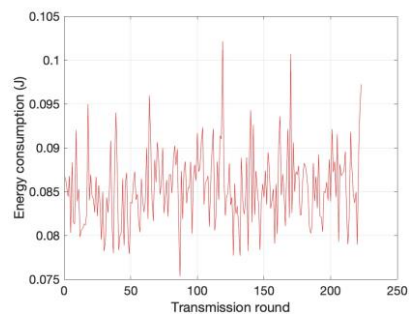
(ข)



(ค)



(ง)

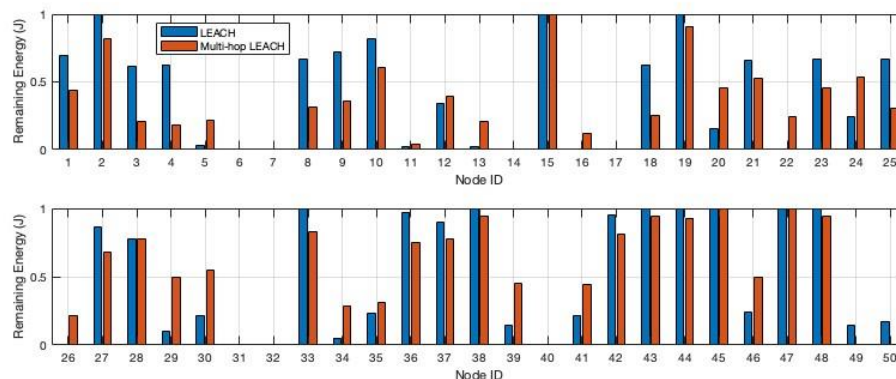


(จ)

รูปที่ 7 แผนภาพเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดต่อการส่งข้อมูลของอัลกอริทึมแบบ LEACH (เส้นกราฟสีน้ำเงิน)

และอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH (เส้นกราฟสีแดง)

รูปที่ 7 แสดงค่าพลังงานที่ใช้รวมทั้งหมดของทั้งโครงข่ายของแต่ละรอบการตรวจจับแล้วส่งข้อมูลกลับไปยังเสารับข้อมูล โดยแกน x แสดงลำดับรอบที่ของการส่ง (Transmission round) และแกน Y แสดงค่าพลังงานรวมที่ใช้ทั้งโครงข่ายในรอบนั้น (Joule) โดยรูปที่ 7(ก), 7(ข), 7(ค), 7(ง) และ 7(จ) แสดงผลที่ได้จากกรณีของค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ตามลำดับ โดยในรูปที่ 7(ก), 7(ข) และ 7(ค) นั้น จะเห็นได้ว่าการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH นั้น จะใช้พลังงานต่อรอบน้อยกว่า การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8 – 16 % แต่อย่างไรก็ตามในรูปที่ 7(ง) และ 7(จ) นั้น การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH จะไม่สามารถหาเซนเซอร์ได้เพียงพอทำให้ไม่สามารถตรวจจับและส่งข้อมูลได้ แต่การจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH นั้นยังคงสามารถทำได้ แต่เนื่องจากจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้มากขึ้น ทำให้จำเป็นต้องใช้พลังงานรวมเพิ่มมากกว่ากรณีในรูปที่ 7(ก), 7(ข) และ 7(ค) ด้วย



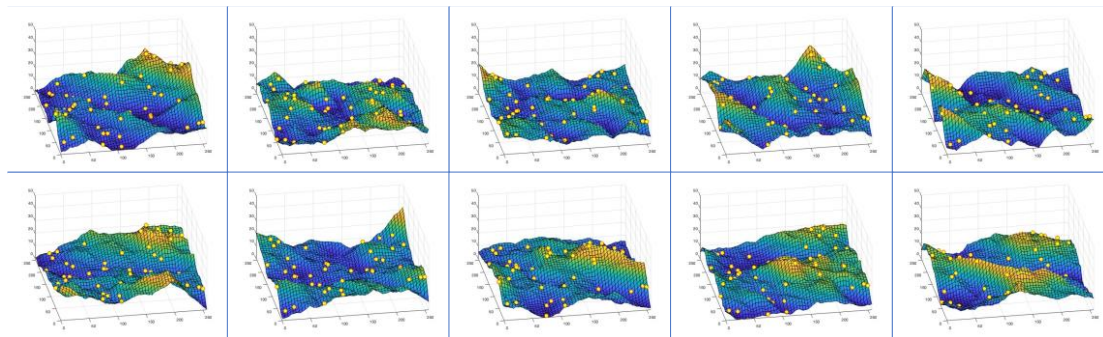
รูปที่ 8 แผนภาพแสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบค่าพลังงานคงเหลือของแต่ละเซนเซอร์หลังจากการส่งข้อมูลในรอบสุดท้ายของโครงข่ายในกรณีที่มี K-connectivity = 0.5 (กราฟแท่งสีน้ำเงิน - พลังงานของเซนเซอร์จากอัลกอริทึมแบบ LEACH หลังรอบการส่งที่ 732;

กราฟแท่งสีแดง - พลังงานของเซนเซอร์จากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH หลังรอบการส่งที่ 711)

จากรูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานคงเหลือของแต่ละเซนเซอร์หลังจากการส่งข้อมูลในรอบสุดท้ายของอายุขัยของโครงข่าย ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนจำนวนเซนเซอร์ที่ใช้เชื่อมต่อเท่ากับ 0.5 พบว่า อัลกอริทึมแบบ LEACH จะมีเซนเซอร์หมายเลข 2, 15, 19, 33, 38, 44, 45, 47 และ 48 ที่มีค่าพลังงานเหลืออยู่เท่ากับค่าพลังงานเริ่มต้น นั่นหมายความว่าเซนเซอร์เหล่านี้จะไม่ถูกเลือกใช้เลย ในทุก ๆ รอบของการทำงาน เพราะจะถูกภูมิประเทศบังจนไม่สามารถหาเซนเซอร์และ หัวกลุ่มโครงข่ายตัวอื่นที่เหมาะสมเพื่อเชื่อมต่อได้ โดยในกรณีนี้จะมีเซนเซอร์ที่ถูกใช้บ่อยจนหมดพลังงานอยู่ 10 ตัว ได้แก่ เซนเซอร์หมายเลข 6, 7, 14, 16, 17, 22, 26, 31, 32 และ 40 ในทางตรงกันข้าม ในกรณีของการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะมีเพียง 3 เซนเซอร์ที่ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ คือ เซนเซอร์หมายเลข 15, 45 และ 47 โดยในกรณีนี้จะมีเซนเซอร์ที่หมดพลังงานอยู่ 9 ตัว คือ เซนเซอร์หมายเลข 6, 7, 14, 17, 31, 32, 40, 49 และ 50

ในขั้นตอนต่อไป เป็นการดำเนินการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของทั้งสองอัลกอริทึม เมื่อดำเนินการเปลี่ยนแปลงในภูมิประเทศเป็นรูปแบบอื่น ๆ โดยในกรณีนี้ได้ดำเนินการสุ่มสร้างภูมิประเทศขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และมีความสูงอยู่ในช่วง 0 - 20 เมตร ขึ้นมาอีกจำนวน 10 ภูมิประเทศ ดังแสดงในรูปที่ 9 และในแต่ละภูมิประเทศนั้นจะดำเนินการสุ่มวางเซนเซอร์จำนวนทั้ง 50 เซนเซอร์ กระจายตัวลงบนแผนที่ อีกจำนวน 10 รูปแบบโดยสถานีรับข้อมูลจะถูกเลือกวางบนเนินสูงที่ใกล้จุด

กึ่งกลางของแผนที่มากที่สุด และในกระบวนการหาจำนวนรอบที่มากที่สุดที่สามารถส่งข้อมูลได้ของอัลกอริทึมแต่ละแบบนั้น จะดำเนินการเหมือนกรณีแรกเพื่ออธิบายไว้โดยละเอียดทุกประการ

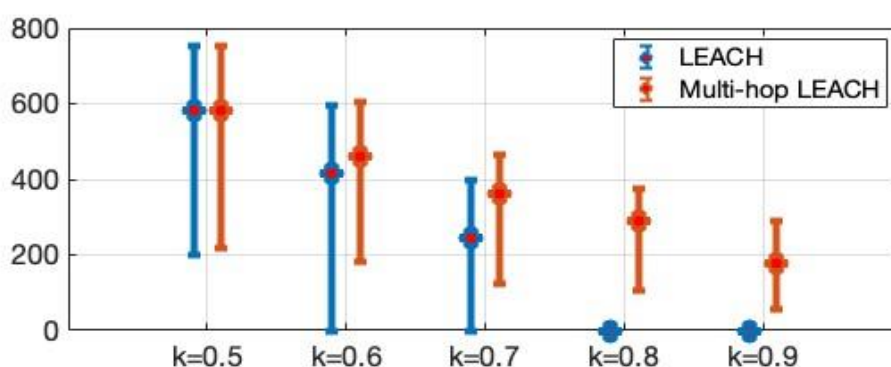


รูปที่ 9 ภูมิประเทศขนาด 256 x 256 ตารางเมตร และมีความสูงอยู่ในช่วง 0 - 20 เมตร
ที่สุ่มสร้างขึ้นจำนวน 10 แบบ เพื่อใช้ในการทดสอบ

การผลการดำเนินการด้วยแบบจำลองของภูมิประเทศทั้ง 10 แบบ และการสุ่มวางเซนเซอร์บนแต่ละภูมิประเทศอีก 10 แบบนั้น จะถูกนำมาทดสอบเพื่อหาจำนวนรอบการส่งที่ได้มากที่สุดของแต่ละอัลกอริทึม และแต่ละค่า K-connectivity ที่ต้องการ โดยผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 10 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กรณีอัลกอริทึมแบบ LEACH มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลในแต่ละกรณีของค่า K-connectivity เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ดังนี้ คือ มีค่าเฉลี่ยการส่งอยู่ที่ 580, 417, 224, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ โดยจำนวนรอบส่งน้อยสุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 201, 0, 0, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ และสุดท้าย จำนวนรอบส่งมากที่สุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 753, 594, 399, 0 และ 0 รอบ ตามลำดับ

ในกรณีอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH นั้น พบว่า มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลในแต่ละกรณีของค่า K-connectivity เท่ากับ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 ดังนี้ คือ มีค่าเฉลี่ยการส่งอยู่ที่ 584, 460, 363, 291 และ 178 รอบ ตามลำดับ โดยจำนวนรอบส่งน้อยสุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 220, 182, 123, 106 และ 56 รอบ ตามลำดับ และสุดท้าย จำนวนรอบส่งมากที่สุดของแต่ละค่า K-connectivity อยู่ที่ 752, 603, 467, 375 และ 290 รอบตามลำดับ



รูปที่ 10 แผนภาพเปรียบเทียบอายุขัยของโครงข่าย (Network Lifetime) จากการจัดสรรเซนเซอร์ด้วยอัลกอริทึมแบบ LEACH (สีน้ำเงิน) และ อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH (สีแดง) โดยวงกลมตรงกลางแสดงค่าเฉลี่ย

จากภาพรวมของการทดสอบในรูปแบบที่ 10 พบว่า พฤติกรรมยังคงมีความเหมือนกันกับกรณีแรก กล่าวคือ ในกรณี K-connectivity เท่ากับ 0.5 และ 0.6 นั้น ทั้งสองอัลกอริทึมให้ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการส่งข้อมูลสูงสุดที่ใกล้เคียงกัน แต่มีข้อพิจารณาคือ ในกรณี K-connectivity เท่ากับ 0.6 และ 0.7 ถ้าหากการส่งกระจายตัวของเซนเซอร์บนแผนที่ไม่ดีนั้น มีโอกาสที่จะมีสามารถเลือกเซนเซอร์ได้เพียงพอในการส่งข้อมูลได้ ในกรณีที่ K-connectivity เท่ากับ 0.8 และ 0.9 นั้น อัลกอริทึมแบบ LEACH ไม่มีขีดความสามารถเพียงพอต่อการจัดสรรเซนเซอร์เพื่อการส่งข้อมูล แต่อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังสามารถดำเนินการได้อยู่

4. วิเคราะห์ผลการวิจัย

จากผลการทดสอบพบว่า การจัดสรรเซนเซอร์ของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สายนั้น อัลกอริทึมแบบ LEACH และอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH ยังคงเป็นอัลกอริทึมที่มีความสามารถในการจัดสรรเซนเซอร์ เพื่อดำเนินการตรวจจับสิ่งแวดล้อมและส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีภาครับได้ แม้ว่าภูมิประเทศจะเป็นสามมิติที่มีตัวแปรการบดบังเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างเซนเซอร์ด้วยภูมิประเทศเข้มนั้น และทำให้เส้นทางหรือขีดความสามารถในการเชื่อมต่อของการเซนเซอร์แต่ละตัวลดน้อยลงไปมาก ข้อจำกัดในการเลือกเซนเซอร์ทำหน้าที่แต่ละรอบจึงเพิ่มมากยิ่งขึ้น หรือทำให้บางเซนเซอร์ไม่สามารถปฏิบัติงานได้เลยตลอดอายุขัยของโครงข่าย

กล่าวโดยสรุป ในการเลือกอัลกอริทึมเพื่อดำเนินการประยุกต์ใช้โครงข่ายไร้สายนั้น หากภูมิประเทศมีการบดบังน้อย จำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดต่ำ และพื้นที่ไม่ไกลมาก อัลกอริทึมแบบ LEACH ยังสามารถปฏิบัติงานได้ดี และไม่แตกต่างจากอัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH มากนัก แต่หากภูมิประเทศมีการบดบังสัญญาณอยู่มาก จำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดสูง และพื้นที่กว้าง อัลกอริทึมแบบ Multi-hop LEACH จะมีขีดความสามารถที่มากกว่า แต่ก็ต้องแลกมาด้วยค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละรอบที่สูงกว่า

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมแบบ LEACH กับอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH เมื่อมีการนำไปใช้ในการจัดสรรเซนเซอร์ในการตรวจจับ และส่งข้อมูลกลับมายังสถานีภาครับบนแผนที่สามมิติ

โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการวิเคราะห์เมทริกซ์ของการเชื่อมต่อว่าเซนเซอร์ตัวใดสามารถส่งข้อมูลไปหาเซนเซอร์ตัวใดได้บ้าง หรือถูกบดบังการส่งสัญญาณโดยภูมิประเทศหรือไม่ จากนั้นจึงนำข้อมูลเมทริกซ์ของการเชื่อมต่อมาใช้ในการประยุกต์กับอัลกอริทึมทั้งสองแบบ เพื่อใช้ในการจัดสรรเซนเซอร์ในการส่งข้อมูลแต่ละรอบ แล้วทดสอบว่าอายุขัยของโครงข่ายจะมากน้อยเพียงใด เป็นการประเมินว่าการจัดสรรนั้นมีประสิทธิภาพในการยืดอายุขัยของโครงข่าย ซึ่งเป็นความต้องการหลักข้อหนึ่งของโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย อีกทั้งยังเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละรอบอีกด้วย

จากการเรียกใช้อัลกอริทึมทั้งสองแบบ พบว่า ถ้ามีเซนเซอร์จำนวนมากกว่าจำนวนที่ใช้จริง เช่น K-connectivity เท่ากับ 0.5 ทั้ง LEACH และ M-LEACH นั้น มีอายุขัยไม่ต่างกันมาก เพราะเซนเซอร์ที่เชื่อมต่อได้มีมากเกินไปจนจำนวนใช้จริงในแต่ละรอบการส่งข้อมูลและมีเซนเซอร์สำรองอยู่มาก จึงสามารถส่งข้อมูลจนพลังงานหมด และได้รับการส่งที่มาก แม้ว่าจะมีเซนเซอร์บางตัวถูกภูมิประเทศบดบัง ไม่สามารถเชื่อมต่อได้เลยก็ตาม ในทางตรงกันข้าม หากจำนวนอัตราเซนเซอร์ที่ใช้ต่อรอบต่อเซนเซอร์ทั้งหมดสูง เช่น K-connectivity เท่ากับ 0.9 ในกรณีนี้ จำเป็นต้องใช้เซนเซอร์มากถึง 90% ของโครงข่ายในแต่ละรอบการส่ง ทำให้มีเซนเซอร์สำรองน้อย ในกรณีอัลกอริทึม LEACH พบว่า ถ้าหัวโครงข่ายส่งข้อมูล

ไปยังสถานีรับไม่ได้ จะสูญเสียหัวโครงข่ายนั้นไปเลย แต่ในอัลกอริทึม Multi-Hop LEACH หัวโครงข่ายจะพยายามเชื่อมกับหัวโครงข่ายอื่นแทน เพื่อรีเลย์ข้อมูลไปได้มากกว่า จึงได้รอบการส่งที่มากกว่า

งานวิจัยนี้ช่วยเพิ่มความรู้ความเข้าใจพฤติกรรมและข้อจำกัดของอัลกอริทึมแบบ LEACH กับอัลกอริทึมแบบ Multi-Hop LEACH เมื่อนำไปใช้จริงบนพื้นที่สามมิติ ซึ่งจะสามารถทำให้ผู้ใช้จริง สามารถวางแผนและวิเคราะห์เลือกอัลกอริทึมเพื่อให้เหมาะกับพื้นที่ สถานการณ์ และข้อจำกัดของแต่ละกรณีได้เหมาะสมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Priyadarshi, R., Gupta, B., & Anurag, A. (2020). Deployment techniques in wireless sensor networks: a survey, classification, challenges, and future research issues. *The Journal of Supercomputing*. 76(9): 7333-7373.
- [2] Elhabyan, R., Shi, W., & St-Hilaire, M. (2019). Coverage protocols for wireless sensor networks: Review and future directions. *Journal of Communications and Networks*. 21(1): 45-60.
- [3] Kaur, P., & Kad, S. (2017). Energy-efficient routing protocols for wireless sensor network: a review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 6(12): 92.
- [4] Heinzelman, W.B., Chandrakasan, A.P., Balakrishnan, H.R., (2000). Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 10 pp. vol.2.
- [5] Al-Sodairi, S., & Ouni, R. (2018). Reliable and energy-efficient multi-hop LEACH-based clustering protocol for wireless sensor networks. *Sustainable computing: informatics and systems*, 20: 1-13.
- [6] Kalidoss, T., Kulothungan, K., Rajasekaran, L., Selvi, M., Ganapathy, S., Kannan, A., (2019). Energy-aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in iot. *Comput. Networks*, 151: 211223.
- [7] Deepa, O.S., Suguna, J., 920200. An optimized QoS-based clustering with multipath routing protocol for wireless sensor networks. *J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci.* 32: 763-774.
- [8] Bresenham, J. E. (1965). Algorithm for computer control of a digital plotter, *IBM Systems Journal*. 4 (1): 25-30.
- [9] Liu, X., Zhu, R., Anjum, A., Wang, J., Zhang, H., Ma, M., 2020. Intelligent data fusion algorithm based on hybrid delay-aware adaptive clustering in wireless sensor networks. *Future Gener. Comput. Syst.* 104: 1-14.

การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำใต้ดินและหาความสัมพันธ์การใช้ประโยชน์ที่ดินจากการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

Spatial Distribution of Groundwater Quality and Finding the Relationship of Land Use from Groundwater Use in Chon Buri Province

^{1*}ณภัทร หลวงเมือง, ^{2#}ตุลวิทย์ สถาปนajarุ, ^{2#}แอน กำภู ณ อยุธยา,
^{3#}สุนทรี ขุนทอง และ ^{4#}พงศ์พันธุ์ จันทะคัต

¹โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา สาขาการใช้ที่ดินและการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ อย่างยั่งยืน

²ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ภาควิชาทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชาวิทยาเขตศรีราชา

⁴กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

^{1*}Naphat Loungmuang, ^{2#}Tulawit Satapanajaru, ^{2#}Ann Kambhu Na Ayudhya,
^{3#}Soontree Khuntong and ^{4#}Pongphan Juntakut

¹Sustainable Land Use and Natural Resource Management Program

²Department of Environment Science Faculty of Environment Kasertsart University

³Environment Science Faculty of Resource and Environment Si Racha Campus

⁴Civil Engineering Department, Education Division, Royal Military Academy

*ann.k@ku.ac.th, #srcstk@ku.ac.th, #juntakut37@gmail.com

Received : October 28, 2022

Revised : January 29, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของคุณภาพน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรี โดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์และศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพน้ำใต้ดินกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวอย่างน้ำใต้ดินจากบ่อเก็บจำนวน 182 บ่อ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเรียงค่าระดับค่าคุณภาพน้ำใต้ดิน Ground Water Quality index (GWQI) จากอันดับ ที่ 1-5 หรือ (จากระดับดีมากที่สุดจนถึงคุณภาพน้ำแย่มาก) พบว่าค่า GWQI คุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดีเยี่ยมอยู่ในอันดับ 1 คือมีค่า GWQI ที่น้อยกว่า 50 มีจำนวนทั้งสิ้น 92 บ่อหรือคิดเป็นร้อยละ 50.50 ของบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมดและมีการใช้ที่ดินในกลุ่ม U405 คือถนนมาเป็นอันดับที่ 1 และกลุ่ม U201 คือหมู่บ้านบนพื้นราบมาเป็นลำดับที่สอง ค่า GWQI อยู่ระหว่าง 51-100 ซึ่งอยู่ระดับ 2 คือระดับที่มีคุณภาพน้ำใต้ดินระดับดีคิดเป็นร้อยละ 42.85% ของจำนวนบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมดมีการใช้ที่ดินในกลุ่ม A302 คือพื้นที่ปลูกยางพารามาเป็นอันดับที่ 1 และพื้นที่ชุมชนบนพื้นราบมาเป็นลำดับที่สองซึ่งค่า GWQI ทั้งสองช่วงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำน้ำใต้ดินไปใช้ประโยชน์ได้ ประโยชน์ของการศึกษาในครั้งนี้พบว่าคุณภาพของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่า GWQI ไม่เกิน 100 แสดงถึงความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ประเภทที่อยู่อาศัยและพื้นที่การเกษตร ซึ่งค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรีอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำไปอุปโภคและบริโภคได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การกระจายตัวเชิงพื้นที่, คุณภาพน้ำใต้ดิน, ชลบุรี

Abstract

The objective of this research was to study the spatial distribution of groundwater quality in Chon Buri Province using Geographic Information System and study of relationship between groundwater quality and land use in the study area. 182 wells groundwater well were analyzed. The results showed that when sorting the groundwater quality rating (GWQI) from 1-5 or (from very good to very bad water quality). GWQI water quality that was in the excellent quality criteria was ranked The first, with a GWQI less than 50, a total of 92 wells, or a percentage of 50.50 percent of the total collection ponds, and the use of land in the group. U405 Road comes first and the group U201The village comes the second. GWQI values ranged from 51-100, with level 2 being the level of good groundwater quality as a percentage of 42.85% of the total sampled wells. The land use in group A302, rubber plantation area came in first place and the group U201The village comes second. In which both GWQI values are within the criteria that groundwater can be used for consumption. The study found that quality of most groundwater is in the range of GWQI of no more than 100. It was found that land use is residential and agricultural areas that the average groundwater quality in Chon Buri Province was good and can be consumed in the future.

Keyword: Spatial distribution , Groundwater quality, Chon Buri

1.บทนำ

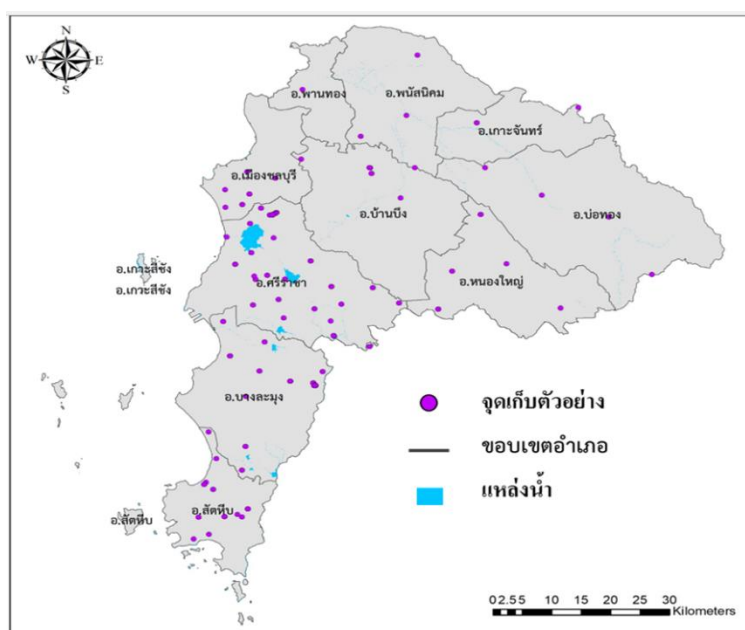
ในปัจจุบันปัญหาการปนเปื้อนของสารมลพิษในสิ่งแวดล้อมมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่ง จากรายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมและรายงานสถานการณ์ปริมาณสารมลพิษที่เกิดขึ้นใน แต่ ละปีที่ผ่านมาพบว่ามีปัญหามลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องรวมไปถึง ปัญหาการปนเปื้อนสารมลพิษและการเสื่อมคุณภาพของน้ำใต้ดิน[1] โดยการ ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินระดับต้นของสารพิษสารเคมีซึ่งอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่นการย่อยสลายตามกระบวนการทางธรรมชาติได้เข้าทำให้ ตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็น ระยะเวลาาน

จังหวัดชลบุรีมีความได้เปรียบในการเป็นหนึ่งในศูนย์กลางอุตสาหกรรมของประเทศไทย เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมหลายแห่ง พร้อมเส้นทางคมนาคมที่สะดวกและหลากหลาย โดยเฉพาะเส้นทางทางน้ำมีท่าเรือพาณิชย์ขนาดใหญ่ ซึ่งถูกพัฒนาให้เหมาะแก่การขนส่งสินค้าทั้งภายในและต่างประเทศ ในเขตจังหวัดชลบุรีถูกนำไปผนวกกับพื้นที่โครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) โดยพยายามผลักดันตามแผนยุทธศาสตร์ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจประเทศยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่มีจุดมุ่งหมายพัฒนาตลาดและฐานการผลิตของไทย สู่อุตสาหกรรมสินค้า การบริการ รวมถึงการลงทุนและแรงงานได้อย่างเสรี โดยตั้งเป้าให้เขตเศรษฐกิจภาคตะวันออกยกระดับสู่ศูนย์กลางด้านโลจิสติกส์และการคมนาคมในระดับภูมิภาค ASEAN สามารถดึงดูดการลงทุนอุตสาหกรรม Super Cluster จากต่างชาติ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งกลไกหนึ่งที่จะช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ส่งผลให้เกิดโครงการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานทางคมนาคมหลายโครงการด้วยกันในแถบภาคตะวันออก นำร่องใน 3 จังหวัด ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และฉะเชิงเทรา

ดังนั้นจังหวัดชลบุรีจึงมีความโดดเด่นและเป็นที่ยอมรับในฐานะ “เมืองอุตสาหกรรม” ที่สำคัญของประเทศที่มี พื้นที่ที่มีนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มากที่สุดติดอันดับแถวหน้าของเมืองไทย โดยปัจจุบันนิคมอุตสาหกรรมในประเทศไทยถือว่ายังไม่กระจายตัวมาก ส่วนใหญ่หรือประมาณ 67% ของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมทั้งหมดอยู่ในภาคตะวันออกโดยเฉพาะในจังหวัดชลบุรีมีโรงงานทั้งหมดประมาณ 5,090 โรงงาน และมีนิคมอุตสาหกรรมกว่า 8 แห่ง ในแง่ของศักยภาพจังหวัด

ชลบุรีถือว่ายังมีโอกาสเจริญเติบโตได้ อีกต่อเนื่องเป็นเวลหลายสิบปี ตามนโยบายการพัฒนาอุตสาหกรรมในจังหวัดที่อยู่บนเส้นทางระเบียงเศรษฐกิจตะวันออก เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีการกระจายตัวของนิคมอุตสาหกรรมและเขตอุตสาหกรรมจำนวนมาก ทำให้พื้นที่ในบริเวณนี้มีความต้องการการใช้น้ำเพื่อรองรับการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม อุทกธรณีวิทยาของจังหวัดชลบุรีจะมีลักษณะของหินอุ้มน้ำประเภท Multiple Aquifer คือจะประกอบไปด้วยกรวดทรายทั้งชนิดร่วน (Unconsolidated) และชนิดที่จับกัน (Semi Consolidated) แทรกอยู่ในชั้นดินเหนียวซึ่งบางแห่งจะพบว่ามีชั้นกรวดทรายเป็นแผ่นแทรกอยู่ในชั้นดินเหนียวความหนาของชั้นน้ำอยู่ระหว่าง 10 เมตร ถึง 200 เมตร เนื่องจากชั้นน้ำมีลักษณะของดินเหนียวมาก ดังนั้นปริมาณน้ำจืดที่สูบได้จึงมีปริมาณน้อยซึ่งมีอัตราการให้น้ำได้ดิน ได้สูงสุด 10 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง คุณภาพน้ำจะเป็นน้ำกร่อย โดยบริเวณที่ทำการศึกษาคพบว่า มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในพื้นที่กว้าง มีน้ำมาก และมีคุณภาพดี สภาพน้ำใต้ดิน โดยแหล่งน้ำที่สำคัญที่สามารถตอบสนองความต้องการนี้ก็คือแหล่งน้ำใต้ดินหรือบาดาล ในพื้นที่จังหวัดชลบุรีมีบ่อน้ำใต้ดินรวม 3,958 บ่อ เป็นบ่อน้ำใต้ดินที่ทางราชการขุดเจาะ 2,878 บ่อ และเป็นบ่อน้ำใต้ดินที่ทางเอกชนขุดเจาะ จำนวน 1,080 บ่อ (ใช้สำหรับธุรกิจ 718 บ่อ, อุปโภค – บริโภค 329 บ่อ, เกษตรกรรม 33 บ่อ) [2] ซึ่งปัจจัยด้านความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันและในอนาคตพิจารณาจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ การใช้น้ำด้านการเกษตรกรรม ด้านการอุปโภคบริโภค และด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมให้เป็นทั้งแหล่งอุตสาหกรรมหนัก และอุตสาหกรรมเบา มีการอพยพของประชากรเพื่อเข้ามาเป็นแรงงานในแหล่งอุตสาหกรรม ทำให้มีความต้องการใช้น้ำมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกปี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาแหล่งกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันด้วยปริมาณประชากรที่มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค น้ำใต้ดินจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนน้ำ ที่ตอบสนองต่อความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และการเกษตร อย่างมากในปัจจุบัน จากปริมาณความต้องการใช้น้ำใต้ดินที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ระดับน้ำใต้ดินและคุณภาพน้ำใต้ดินในบางพื้นที่ลดลงจนไม่สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้ ประโยชน์ได้

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการประเมินคุณภาพของน้ำใต้ดินที่เพื่อประเมินคุณภาพน้ำใต้ดินและเป็นแนวทางในการนำน้ำใต้ดินไปใช้ประโยชน์ของประชาชนในรูปแบบต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ และแปลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial analysis) ด้วยวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) เพื่อให้ข้อมูลมีความต่อเนื่องและทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการวางแผนการ จัดการมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดการ ทรัพยากรดิน และสิ่งแวดล้อมในพื้นที่จังหวัดชลบุรีต่อไป



รูปที่ 1 แผนที่จังหวัดชลบุรีและแสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดิน [2]

2.ขอบเขตการศึกษา

- 2.1. งานวิจัยนี้พื้นที่ใช้ในการศึกษาประเมินคุณภาพของน้ำใต้ดินที่เพื่อประเมินและเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ของประชาชนในรูปแบบต่างๆโดยทำการศึกษาบริเวณ พื้นที่ จังหวัดชลบุรีดังแสดงในรูปที่ 1
- 2.2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน

3. แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ [3] ได้ให้ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินดังนี้ แคดเมียม (cadmium) < 0.003 มิลลิกรัม/ลิตร, โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (hexavalent chromium) < 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร, ทองแดง (Copper) < 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร, ตะกั่ว (lead) < 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร, แมงกานีส (manganese) < 0.5 มิลลิกรัม/ลิตร, นิกเกิล (nickel) < 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร, สังกะสี (zinc) < 5.0 มิลลิกรัม/ลิตร, สารหนู (arsenic) < 0.01, ซีลีเนียม (selenium) < 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร,ปรอท (mercury) < 0.001 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่ง ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารอันตรายที่ยอมรับได้ในน้ำใต้ดิน โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเมื่อมีการนำน้ำใต้ดินมาใช้อุปโภคและบริโภค โดยกำหนดมาตรฐานปริมาณโลหะหนักในน้ำใต้ดินไว้

3.2.การประมาณค่าเชิงพื้นที่(spatial interpolation)

3.2.1. ความหมายของการประมาณค่าเชิงพื้นที่

การประมาณค่าเชิงพื้นที่(spatial interpolation) เป็นการประมาณค่าของตำแหน่งที่ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลจากตำแหน่งที่ได้ทำการตรวจวัดค่าหรือมีการเก็บ ตัวอย่างภายในขอบเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษาซึ่งจากพจนานุกรมศัพท์ของอ็อกฟอร์ดปี ค.ศ. 1989 ได้ให้คำแปลของ interpolation ไว้ว่าเป็นการเพิ่มส่วนที่ขาดเข้าไปหรือเป็นการแทรกเข้าไป ส่วนคำว่า spatial หมายถึง พื้นที่ดังนั้นจึงแปลความหมายได้ว่าการประมาณค่าเชิงพื้นที่ ซึ่งได้มี นักวิชาการหลายท่านได้ให้ความหมายไว้ ดังนี้

Borrough (1984) [4] กล่าวว่า เป็นการประมาณค่าของตำแหน่งที่ไม่มีข้อมูลหรือ ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่าง โดยจะประมาณค่าของตำแหน่งนั้นๆ จากชุดของข้อมูลที่ได้มีการสำรวจ และทราบค่าข้อมูล Water (1988) [5] กล่าวว่า เป็นการประมาณค่าคุณสมบัติให้กับส่วนที่ไม่ได้มีการ สำรวจหรือเก็บตัวอย่าง โดยจะประมาณค่าจากข้อมูลที่ทราบตำแหน่งในบริเวณที่ใกล้เคียงกันโดยค่าที่ประมาณนั้นจะเป็นช่วงหรือสัดส่วนต่อกัน Borrough and Mc Donal (1988) [6] กล่าวว่า เป็นกระบวนการทำนายค่าความผันแปรต่างๆของตำแหน่งที่ไม่ได้มีการเก็บตัวอย่าง โดยจะประมาณค่าบนพื้นฐานของค่าที่ทราบจากตำแหน่งที่ได้ทำการตรวจวัดหรือมีการเก็บตัวอย่างมาแล้วภายในขอบเขตพื้นที่ศึกษา Chang, KT(2002) [7] กล่าวว่า เป็นกระบวนการที่ใช้ตำแหน่งที่ทราบค่าข้อมูลมาทำการ ประมาณค่าตำแหน่งอื่นที่ยังไม่ทราบค่า โดยตำแหน่งที่ทราบค่าข้อมูลเรียกว่า ตำแหน่งที่ทราบค่า ตำแหน่งควบคุม ตำแหน่งที่ทำการเก็บตัวอย่าง หรือตำแหน่งที่มีการสำรวจ

3.3.วิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่

วิธีการประมาณค่าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือการประมาณค่าในช่วงแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete interpolation)และการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง (continuous interpolation)

3.3.1. การประมาณค่าในช่วงแบบไม่ต่อเนื่อง

เป็นการประมาณค่าในช่วงโดยเขียนแทนด้วยเส้นแนวเขต ข้อมูลที่อยู่ในแนวเขตเดียวกันจะมีค่าเท่ากันวิธีการประมาณค่าแบบไม่ต่อเนื่องเช่นการใช้วิธีรูปหลายเหลี่ยมทิสเซน(thiessen polygon) หรือเรียกว่าแผนภาพรูปหลายเหลี่ยม โวโรนอย (voronoi diagram)เป็นการสร้างอาณาบริเวณขึ้นรอบจุดตัวอย่างแต่ละจุดเพื่อแสดงเขตที่ค่าจุดนั้นมีอิทธิพลถึงซึ่งทุกตำแหน่งที่อยู่ในเขตพื้นที่จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าจุดตัวอย่างที่เป็นตัวแทนการประมาณค่าพื้นที่นั้นคำนวณโดยการสร้างพื้นที่สามเหลี่ยมจากจุดที่ทราบค่าแล้วลากเส้นตั้งฉากกับกึ่งกลางของแต่ละด้านภายในสามเหลี่ยม

3.3.2. การประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่อง

เป็นวิธีการประมาณค่าในช่วงโดยมีแนวคิดการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปของพื้นที่หรือการใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้พื้นผิวที่มีความต่อเนื่องกัน (continuous surface) วิธีการประมาณค่าในช่วงแบบต่อเนื่องเช่นวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (inverse Distance Weight, IDW), วิธีฟังก์ชันกระดุก / (spline) และวิธีกริดเป็นต้น [8]

3.4. ทรัพยากรน้ำใต้ดิน/น้ำใต้ดิน [2]

อุทกธรณีวิทยาของภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยจะมีลักษณะของหินอุ้มน้ำแบบ Multiple Aquifer คือจะประกอบไปด้วยกรวดทรายทั้งชั้นกรวด (Unconsolidated) และชั้นที่จับกัน (Semi Consolidated) แทรกอยู่ในชั้นดินเหนียว ซึ่งบางแห่งจะพบว่ามีชั้นกรวดทรายเป็นแผ่นแทรกอยู่ในชั้นดินเหนียวความหนาของชั้นน้ำอยู่ระหว่าง 10 เมตร ถึง 200 เมตร เนื่องจากชั้นน้ำมีลักษณะของดินเหนียวมาก ดังนั้นปริมาณน้ำจืดที่สูบได้จึงมีปริมาณน้อยซึ่งมีอัตราการให้น้ำใต้ดินได้สูงสุด 10 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง คุณภาพน้ำจะเป็นน้ำกร่อย โดยบริเวณที่ทำการศึกษาพบว่า มีปริมาณน้ำใต้ดินอยู่ในพื้นที่กว้าง มีน้ำมาก และมีคุณภาพดี สภาพน้ำใต้ดิน เมื่อพิจารณาจากแผนที่อุทกธรณีวิทยา ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่า จังหวัดชลบุรี สามารถแบ่งเขตน้ำใต้ดินตามลักษณะของ หินอุ้มน้ำ Aquifers และการกักเก็บน้ำ ได้ดังนี้

(1) เขตบริเวณที่มีปริมาณน้ำมาก มีพื้นที่กว้างขวาง พบตามที่ราบลุ่มดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำและชายฝั่งทะเล ความหนาของชั้นหินซึ่งเป็นดินตะกอนลำนํ้าประมาณ 30 เมตร ให้น้ำตั้งแต่ 10-100 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง แต่น้ำบริเวณใกล้ทะเลจะเค็มกร่อยได้แก่ ที่ราบลุ่มแม่น้ำบางปะกง

(2) เขตบริเวณที่มีปริมาณน้ำน้อย มีพื้นที่กว้างขวาง และพบอยู่บริเวณชายฝั่งทะเลหรืออยู่ลึกห่างจากฝั่งทะเลเข้าไป ชั้นหินซึ่งเกิดจากการทับถมบริเวณหุบเขา และหินแกรนิตผุรวมทั้งหินแข็งใกล้เขา ความหนาของหินน้อยกว่า 50 เมตร ให้น้ำระหว่าง 2 - 10 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง คุณภาพดีพอใช้ นอกจากใกล้ฝั่งทะเล

(3) เขตบริเวณที่มีน้ำปานกลาง มีบริเวณเล็ก ๆ ทางตอนกลางค่อนข้างไปทางใต้ของจังหวัด ชั้นน้ำได้จากรอยแยกหรือโพรงหินปูน ให้น้ำปานกลางระหว่าง 5 - 35 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง คุณภาพดี

(4) สักยภาพน้ำ 422 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน ระดับลึก 34 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ระดับตื้น 18 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี ปริมาณน้ำใต้ดินคงเหลือ 370 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี

(5) ในพื้นที่จังหวัดชลบุรีมีบ่อน้ำใต้ดิน รวม 3,958 บ่อ เป็นบ่อน้ำใต้ดินที่ทางราชการขุดเจาะ 2,878 บ่อ และเป็นบ่อน้ำใต้ดินที่ทางเอกชนขุดเจาะ จำนวน 1,080 บ่อ (ใช้สำหรับธุรกิจ 718 บ่อ, อุปโภค – บริโภค 329 บ่อ, เกษตรกรรม 33 บ่อ)

ปัจจัยด้านความต้องการใช้น้ำในปัจจุบันและในอนาคต พิจารณาจาก 3 ปัจจัยหลักคือ การใช้น้ำด้านการเกษตรกรรม ด้านการอุปโภคบริโภค และด้านอุตสาหกรรม เนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ที่ได้รับการส่งเสริมให้เป็นทั้งแหล่งอุตสาหกรรมหนัก และอุตสาหกรรมเบาที่มีการอพยพของประชากรเพื่อเข้ามาเป็นแรงงานในแหล่งอุตสาหกรรม ทำให้มีความต้องการใช้น้ำมากขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในทุกปี ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการจัดหาแหล่งกักเก็บน้ำเพิ่มขึ้น

4. การดำเนินการวิจัย

ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลทางกายภาพและเคมีดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรีโดยค่าที่ได้จากการตรวจของกรมทรัพยากรน้ำใต้ดินดังนี้ 1. ความเป็นกรด ด่าง (pH) 2. การนำไฟฟ้า (EC) 3. ความขุ่น (Turbidity) 4. สี (Colour) 5. แคลเซียม (Calcium) 6. แมกนีเซียม (Magnesium) 7. โซเดียม (Sodium) 8. โพแทสเซียม (Potassium) 9. เหล็ก (Iron) 10. แมงกานีส (Manganese) 11. ซัลเฟต (Sulfate) 12. คลอไรด์ (Chloride) 13. ฟลูออไรด์ (Fluoride) 14. ไนเตรต (Nitrates) และ 15. ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids) จากบ่อด้อย่างของน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรีเพื่อใช้ในการคำนวณดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดิน (GWQI) ดังแสดงในรูปที่ 1

4.1.วิธีการคำนวณดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดิน (GWQI)

การประมาณค่า GWQI ขึ้นอยู่กับการถ่วงน้ำหนักพารามิเตอร์ ใช้ค่าถ่วงน้ำหนัก โดยการใช้การเปรียบเทียบแบบคู่ซึ่งกันและกันและค่าถ่วงน้ำหนักที่กำหนดนี้มีบทบาทสำคัญ ในการคำนวณค่าดัชนี แสดงให้เห็นว่าเกณฑ์ที่ จำกัด ของค่าคุณภาพ ตามกฎระเบียบทางเทคนิคแห่งชาติเกี่ยวกับคุณภาพน้ำใต้ดินและใช้ในการคำนวณมาตราส่วนคะแนนคุณภาพ เนื่องจากพารามิเตอร์ที่พิจารณามีหน่วยและช่วงของค่าที่แตกต่างกันจึงต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์ทั้งหมดให้เป็นดัชนีย่อยที่แสดงในมาตราส่วนเดียว ดังนั้นเราจึงคำนวณจากสิ่งต่อไปนี้ น้ำหนักสัมพัทธ์ (W_i) มาตราส่วนการให้คะแนนคุณภาพ (q_i) และ GWQI

Relative Weight Calculation (W_i) การคำนวณน้ำหนักสัมพัทธ์ (W_i) [9,10]

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i \quad (1)$$

โดยที่ W_i คือน้ำหนักสัมพัทธ์สำหรับพารามิเตอร์ที่ n และ $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ และ w_i คือน้ำหนักของแต่ละพารามิเตอร์ตัวเลขระหว่าง 0 ถึง 1 และ n คือจำนวนพารามิเตอร์ การคำนวณมาตราส่วนคะแนนคุณภาพ (q_i) [9,10]

$$q_i = (C_i / S_i) \times 100 \quad (2)$$

$$S_{li} = W_i \times q_i \quad (3)$$

$$WQI = \sum S_{li} \quad (4)$$

ขั้นตอนที่หนึ่ง หา $\sum W_i$ คือผลรวมของน้ำหนักของพารามิเตอร์ทั้งหมด

ขั้นตอนที่สอง หาน้ำหนักสัมพัทธ์ (W_i) คำนวณจากสมการต่อไปนี้ โดยที่

W_i และ w_i คือน้ำหนักและน้ำหนักสัมพัทธ์ของแต่ละพารามิเตอร์ตามลำดับ และจำนวนพารามิเตอร์ทั้งหมดคือ n

ขั้นตอนที่สาม มาตราส่วนการให้คะแนนคุณภาพ (q_i) สำหรับแต่ละพารามิเตอร์คำนวณโดยการหารความเข้มข้นมาตรฐานที่กำหนดโดยที่

q_i คือมาตราส่วนการให้คะแนนคุณภาพ ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ทางเคมีแต่ละตัว

C_i คือความเข้มข้นของพารามิเตอร์ทางเคมีแต่ละตัวในตัวอย่างน้ำแต่ละตัวอย่างในหน่วย mg/L

S_i คือมาตรฐานของไทยสำหรับการดื่มน้ำใต้ดินของแต่ละพารามิเตอร์ในหน่วยมิลลิกรัม/ลิตร ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินของไทย

ขั้นตอนที่สี่ หาดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดิน (GWQI) เท่ากับคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้: [9,10]

$$GWQI = \sum S_{li} \quad (5)$$

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังนี้ 1. ความเป็นกรด ด่าง (pH) 2. การนำไฟฟ้า (EC) 3. ความขุ่น (Turbidity) 4. สี (Colour) 5. แคลเซียม (Calcium) 6. แมกนีเซียม (Magnesium) 7. โซเดียม (Sodium) 8. โพแทสเซียม (Potassium) 9. เหล็ก (Iron) 10. แมงกานีส (Manganese) 11. ซัลเฟต (Sulfate) 12. คลอไรด์ (Chloride) 13. ฟลูออไรด์ (Fluoride) 14. ไนเตรต (Nitrates) และ 15. ปริมาณสารทั้งหมดที่ละลายได้ (Total Dissolved Solids) โดยห้องปฏิบัติการของกรมทรัพยากรน้ำใต้ดินกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมประเทศไทย โดยใช้ขั้นตอนมาตรฐาน [9,10,11] จากข้อมูลของ WQI น้ำใต้ดินแบ่งออกเป็น 5 ระดับ ตั้งแต่ Rank ที่ 1 คุณภาพน้ำดีเยี่ยม WQI < 50 , Rank ที่ 2 คุณภาพน้ำดี WQI 51-100 , Rank ที่ 3 คุณภาพน้ำปานกลาง WQI 101-200 ไปจนถึง Rank ที่ 5 คุณภาพน้ำแย่มาก WQI > 200

ตารางที่ 1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณค่า GWQI และแสดงค่า GWQI ในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

อำเภอ	pH	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	GWQI
เกาะจันทร์	7.33±1.36	191.33±164.26	11±17.32	22±5.20	0.93±0.05	32.75±21.97
บ่อทอง	7.7±0.45	434±100.05	1.6±0.89	42.36±32.43	0.94±0.09	61.08±10.30
บางละมุง	7.35±0.59	275.95±122.17	7.95±11.69	28.30±30.65	7.99±9.83	45.41±15.38
บ้านบึง	7.57±0.49	560±349.85	3.55±6.94	120.57±133.18	2.22±1.69	70.42±32.09
พนัสนิคม	8.33±0.11	332.33±72.94	25±41.56	30.33±15.30	1.76±1.50	51.55±8.15
พานทอง	8.00±0.00	5360.00±00	410.00±0.00	2500.00±0.00	0.9±0.0	456.72±00
เมืองชลบุรี	7.26±0.42	353±184.85	46±73.87	28.6±22.63	1.27±0.59	51.86±21.27
ศรีราชา	7.24±0.61	343.14±235.72	11.51±17.79	44.84±74.14	6.98±14.74	51.99±25.12
สัตหีบ	7.17±0.53	405.26±280.18	35.61±48.86	85.26±92.78	5.58±9.59	54.43±27.63
หนองใหญ่	7.49±0.55	502.36±396.57	15±13.26	67.47±89.31	1.86±2.08	69.57±44.42
ค่ามาตรฐาน	7.0 – 8.5	< 600	< 200	250	45	

4.2. การคำนวณดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดิน

ในการศึกษานี้เรากำหนด GWQI โดยใช้วิธีดัชนีเลขคณิตถ่วงน้ำหนักที่แนะนำโดยองค์การอนามัยโลก (WHO) โดยใช้สมการ (5) วิธีดัชนีเลขคณิตถ่วงน้ำหนักสามารถใช้กับพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันได้ มีความยืดหยุ่นสำหรับการประเมินและการจัดการคุณภาพน้ำเนื่องจากถูกนำไปใช้ในการศึกษาก่อนหน้านี้หลายครั้ง คุณภาพน้ำใต้ดินถูกจำแนกตามค่าการจัดอันดับของ GWQI [9,10]

$$GWQI = \sum_{i=1}^n (W_i \times q_i) \quad (5)$$

โดยที่ GWQI: ดัชนีคุณภาพน้ำใต้ดินตัวเลขระหว่าง 0 ถึง 200 หน่วยถูกแบ่งออกเป็นระดับ 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2

5. ผลการวิจัย

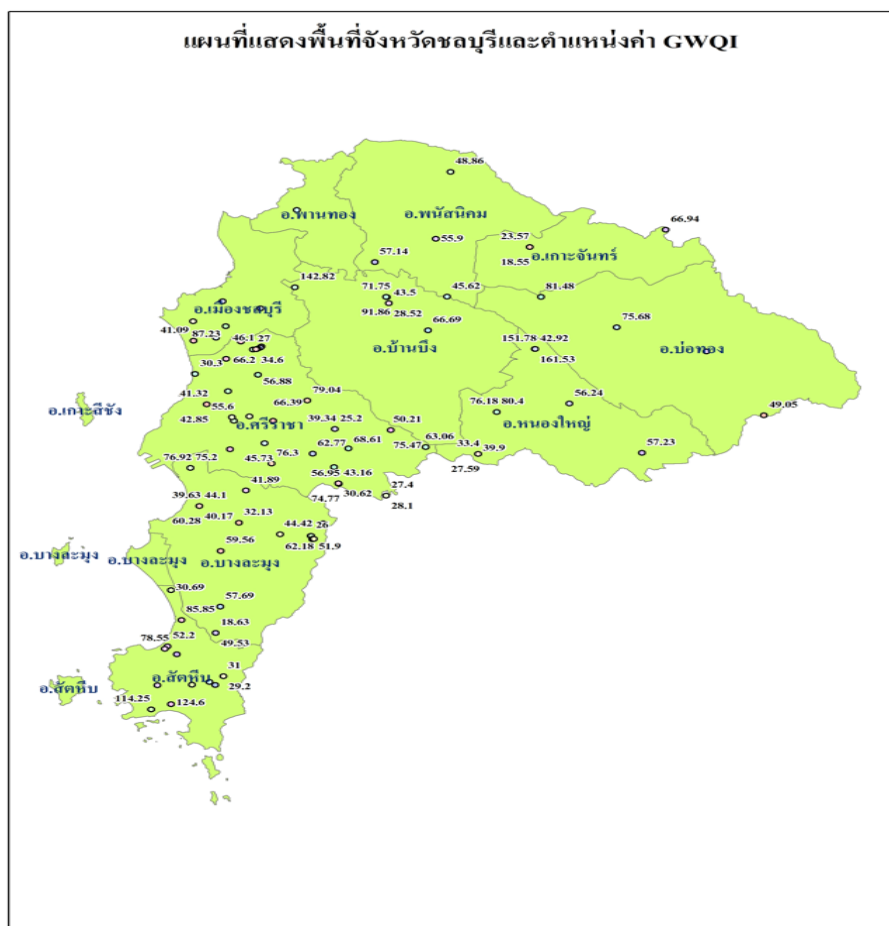
วิธีหาค่า GWQI สำหรับการประเมินคุณภาพน้ำใต้ดินมีการใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก เนื่องจากความสามารถในการแสดงข้อมูลคุณภาพน้ำอย่างเต็มที่ และเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดใน การประเมินและการจัดการคุณภาพน้ำใต้ดิน จากการศึกษาเก็บรวบรวมพารามิเตอร์ต่างๆจากบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินทั้งหมด 182 บ่อในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

พบว่าระดับคุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์คุณภาพดีเยี่ยม (Excellent water Quality) อยู่ในอันดับ 1 คือมีค่า GWQI ที่น้อยกว่า 50 มีจำนวนทั้งสิ้น 92 บ่อหรือคิดเป็นร้อยละ 50.55 จากจำนวนบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด มี 78 บ่อเก็บตัวอย่างมีค่า GWQI อยู่ระหว่าง 51-100 ซึ่งอยู่ระดับ 2 คือระดับที่มีคุณภาพน้ำดี (Good water quality) คิดเป็นร้อยละ 42.86 ของจำนวนบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด คุณภาพน้ำใต้ดิน GWQI อยู่ที่ 101-200 คืออยู่ในอันดับ 3 ซึ่งมีคุณภาพน้ำอยู่ในระดับปานกลาง (Medium or average water quality) ในการใช้ประโยชน์จากการศึกษาพบว่า มีจำนวนบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด 11 บ่อและคิดเป็น ร้อยละ 6.04 ส่วนคุณภาพน้ำใต้ดิน GWQI ที่มีค่ามากกว่า 300 จากการศึกษามีสภาพจำนวน 1 บ่อซึ่งอยู่อันดับระดับ 5 (Extremely poor water quality) คุณภาพน้ำแย่มาก Unsuitable for drinking ของการแบ่งคุณภาพน้ำคิดเป็นร้อยละ 0.55 ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 2

ตารางที่ 2. การจำแนกคุณภาพน้ำใต้ดิน(GWQI) ตามดัชนีค่ามาตรฐานสำหรับการใช้ประโยชน์ในจังหวัดชลบุรี

GWQI	< 50	51-100	101-200	201-300	>300
Rank	1	2	3	4	5
Quality classification	Excellent water Quality (คุณภาพน้ำดีเยี่ยม)	Good water quality (คุณภาพน้ำดี)	Medium or average water quality (คุณภาพน้ำปานกลาง)	Poor water quality (คุณภาพน้ำไม่ดี)	Extremely poor water quality (คุณภาพน้ำแย่มาก) Unsuitable for drinking
ร้อยละจากบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด	50.55	42.86	6.04	0	0.55
จำนวน(บ่อ)	92	78	11	0	1

ผลการศึกษาค่า GWQI กับประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆจากการศึกษาได้แยกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็นประเภทต่างๆดังต่อไปนี้ U คือพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง, A คือพื้นที่เกษตรกรรม, F คือพื้นที่ป่าไม้, M คือพื้นที่เบ็ดเตล็ด, W คือพื้นน้ำและM+A คือพื้นที่เบ็ดเตล็ด+พื้นที่เกษตรกรรม ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณพื้นที่บ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรีเรียงลำดับจากมากไปน้อย พบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินจากกลุ่ม U คือพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีจำนวนการใช้ประโยชน์ที่ดินมากที่สุด และพบในประเภท U405คือถนนจำนวน 71,186 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 71.15 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมดมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นลำดับที่หนึ่ง ตามมาด้วยลำดับที่สอง U301 คือสถานที่ราชการและสถาบันต่าง ๆ จำนวน 9,162 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 9.16 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด, ตามมาด้วยลำดับที่สามคือ U201คือหมู่บ้านบนพื้นราบจำนวน 6,497 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 6.49 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด



รูปที่ 2 แผนที่แสดงพื้นที่และตำแหน่งของค่า GWQI ในจังหวัดชลบุรี

กลุ่ม U502 คือโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 3,172 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.17 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด ประเภท U701คือสนามกอล์ฟจำนวน 985 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.98 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด จากการศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่ม A คือพื้นที่เกษตรกรรม โดยเป็นประเภท A302คือยางพาราจำนวน 3,867 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.87 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด, A703คือโรงเรียนเลี้ยงสัตว์ปีกจำนวน1,104ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.10 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด, จากการศึกษาพบว่าพื้นที่การใช้ประโยชน์กลุ่ม M คือพื้นที่เบ็ดเตล็ด โดยเป็นM701คือ ที่ทิ้งขยะจำนวน 906 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 0.90 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด, M101คือ หุ่นฐานธรรมชาติจำนวน 807 ไร่ คิดเป็นร้อยละ0.81 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3

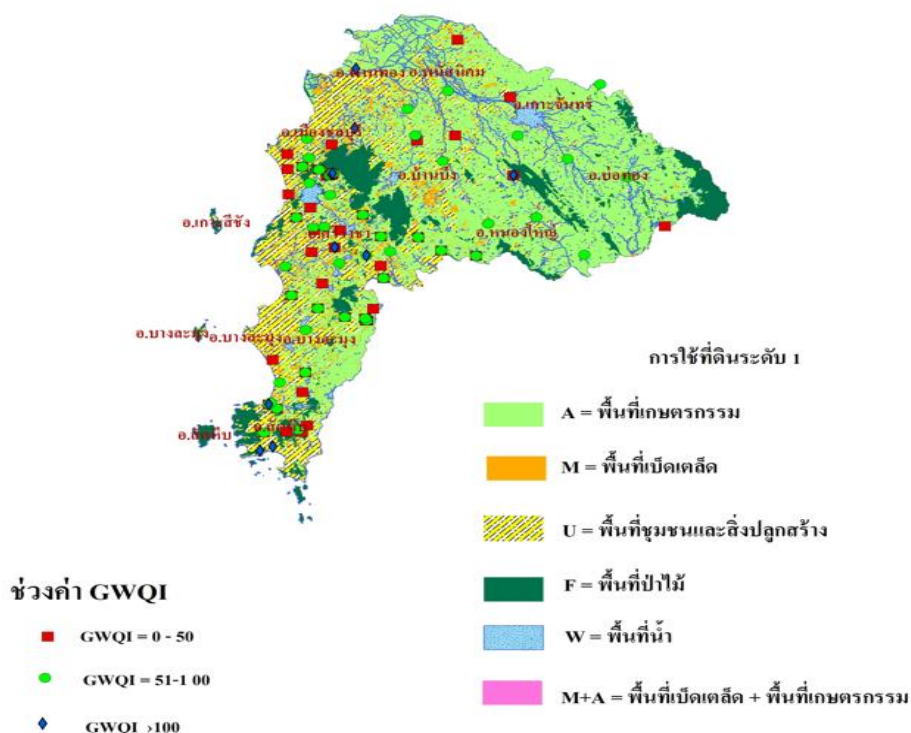
6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาในพื้นที่จังหวัดชลบุรีพบว่าค่าเฉลี่ย GWQI ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง GWQI น้อยกว่า 50 ซึ่งอยู่ในอันดับที่ 1 คุณภาพน้ำได้จัดอยู่ในระดับคุณภาพน้ำดีเยี่ยมและพบว่าค่า GWQI บริเวณดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินในกลุ่ม U=พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง โดยเป็นประเภท U405คือถนนมาเป็นอันดับที่จำนวน 71,186 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 71.15 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมดประกอบไปด้วยพื้นที่ อ.ศรีราชาร้อยละ 71.15 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด และกลุ่ม U201คือหมู่บ้านบนพื้นราบมาเป็นลำดับที่สองจำนวน 2,542 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.52 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด กลุ่ม U201 ประกอบไปด้วยพื้นที่ อ.บางละมุงร้อยละ 0.40 , อ.บ้านบึงร้อยละ 0.18, อ.เมืองชลบุรีร้อยละ 0.53, อ.ศรี

ราชาวร้อยละ 1.37 และ อ.สัทธิบร้อยละ 0.44 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด และ U502 พื้นที่อุตสาหกรรมจำนวน 1,560 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.56 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด ประกอบด้วยพื้นที่ อ.ศรีราชาร้อยละ 1.56 ของการใช้ประโยชน์ที่ดินทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 3

ค่า GWQI อยู่ระหว่าง 51-100 ซึ่งอยู่ระดับ 2 คือระดับที่มีคุณภาพน้ำใต้ดินระดับดี คิดเป็นร้อยละ 42.85 ของจำนวนบ่อเก็บตัวอย่างทั้งหมดมีการใช้ที่ดินในกลุ่ม A=พื้นที่เกษตรกรรม โดยเป็นประเภท A302คือพื้นที่ปลูกยางพารา มาเป็นอันดับที่ 1 จำนวน 3,739 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 3.73 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด กลุ่ม A302ประกอบด้วยพื้นที่ อ.หนองใหญ่ร้อยละ 3.73 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด กลุ่ม U201คือหมู่บ้านบนพื้นราบมาเป็นลำดับที่สองจำนวน 1,820 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.82 ประกอบด้วยพื้นที่ อ.บางละมุงร้อยละ 0.33, อ.บ้านบึงร้อยละ 0.07, อ.เมืองชลบุรีร้อยละ 0.22, อ.ศรีราชาร้อยละ 0.11 และ อ.สัตหีบร้อยละ 1.08 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด และกลุ่ม U502 โรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 1,066 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 1.07 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด ประกอบไปด้วยพื้นที่ อ.ศรีราชาร้อยละ 1.07 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3

ซึ่งกลุ่ม U201 และกลุ่ม U502 พบได้ทั้งช่วงค่า GWQI น้อยกว่า 50 และช่วงค่า GWQI อยู่ระหว่าง 51-100 ซึ่งจำนวนการใช้ประโยชน์ของพื้นที่กลุ่ม U201 มีจำนวน 4,344 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 4.33 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด และกลุ่ม U502 โรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 2,626 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 2.62 ของการใช้ประโยชน์จากที่ดินทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 3 การศึกษานี้ประเมินคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรี และผลการประเมินคุณภาพน้ำใต้ดินโดยการคำนวณ GWQI แสดงให้เห็นว่าวิธี GWQI เป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการประเมินคุณภาพน้ำใต้ดิน และผลการประเมินสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการน้ำใต้ดินเพื่อใช้ในการอุปโภคและบริโภคผลการประเมินค่า GWQI ยังมีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาซึ่งผลการศึกษาในครั้งนี้พบว่า คุณภาพของน้ำใต้ดินส่วนใหญ่อยู่ในช่วงค่า GWQI ไม่เกิน 100 พบว่าค่าเฉลี่ยของคุณภาพน้ำใต้ดินในจังหวัดชลบุรีอยู่ในเกณฑ์ดี และค่า GWQI ไม่เกิน 100 แสดงถึงความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ประเภทที่อยู่อาศัยและพื้นที่การเกษตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำใต้ดินในเขตพื้นที่จังหวัดชลบุรีนั้นเหมาะสมสำหรับการอุปโภคและบริโภค



รูปที่ 3 ภาพแสดงค่า GWQI และประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

ตารางที่ 3. แสดงค่าผลการศึกษาและการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่จังหวัดชลบุรี

ค่า WQI	ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	อำเภอ	จำนวน(ไร่)	ร้อยละของการใช้ประโยชน์ที่ดิน
0-50	U201	บางละมุง	402	0.40
		บ้านบึง	18	0.018
		เมืองชลบุรี	531	0.53
		ศรีราชา	1,137	1.14
		สัตหีบ	436	0.44
		ผลรวมทั้งหมด	2,524	2.52
		U405	ศรีราชา	71,186
	ผลรวมทั้งหมด	71,186	71.15	
	U502	ศรีราชา	1,560	1.56
		ผลรวมทั้งหมด	1,560	1.56
51-100	A302	หนองใหญ่	3,739	3.74
		ผลรวมทั้งหมด	3,739	3.74
	U201	บางละมุง	334	0.33
		บ้านบึง	71	0.07
		เมืองชลบุรี	219	0.22
		ศรีราชา	113	0.11
		สัตหีบ	1,083	1.08
		ผลรวมทั้งหมด	1,820	1.82
	U502	ศรีราชา	1,066	1.06
		ผลรวมทั้งหมด	1,066	1.06

7. อภิปรายผลการศึกษา

ค่า pH ของน้ำตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์อยู่ในช่วง 7.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมทุกบ่อเก็บตัวอย่างค่า pH ไม่เกินมาตรฐานของน้ำใต้ดินและน้ำแร่เพื่อการบริโภคกรมทรัพยากรธรณี[16] ค่า TDS ไม่เกิน 600 mg/L จากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมาวิเคราะห์พบว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการใช้น้ำใต้ดินที่สามารถนำน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ได้[16] พบเพียงบ่อเดียวในพื้นที่ อ.พานทองที่ค่า TDS เกินมาตรฐานที่กำหนดคือเกินค่า 600 mg/L ค่าไนเตรท NO_3^- ไม่เกิน 45 mg/L จากการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมาวิเคราะห์พบว่าทุกบ่อเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมีค่า ไนเตรทไม่เกินมาตรฐาน ค่าคลอไรด์ (Cl^-) ไม่เกิน 250 mg/L ทุกบ่อเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าคลอไรด์ไม่เกินมาตรฐาน[16] พบว่าค่า Cl^- เกินมาตรฐานน้ำใช้ที่บริเวณบ่อเก็บตัวอย่างในอำเภอพานทองเพียงแห่งเดียวค่าซัลเฟต (SO_4^{2-}) มีค่ามาตรฐานไม่เกิน 200 mg/L ทุกบ่อเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าซัลเฟตไม่เกินมาตรฐาน[16] พบว่าค่าซัลเฟตเกินมาตรฐานน้ำใช้ที่บริเวณบ่อเก็บตัวอย่างในอำเภอพานทองเพียงแห่งเดียวดังนั้นน้ำใต้ดินบริเวณอำเภอพานทองจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้อุปโภคและบริโภค

ควรวางแผนและเก็บตัวอย่างจากบ่อเก็บตัวอย่างหลายแห่งในพื้นที่อำเภอพานทองเพื่อนำค่า GWQI มาหาความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อวางแผนการใช้น้ำใต้ดินในอนาคต ความเข้มข้นของ TDS HCO_3^- SO_4^{2-} และ Cl^- สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเขตสูงในน้ำใต้ดินอาจเกิดจากการรุกของน้ำทะเล พื้นที่อยู่ใกล้ปากแม่น้ำตลอดจนการชะล้างจากแหล่งทิ้งขยะแบบเปิด หลุมฝังกลบ น้ำเสียในประเทศที่ไม่ผ่านการบำบัด และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม [14]

8. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาถึงการพัฒนาค่า GWQI ของพื้นที่แล้วศึกษาถึงความสัมพันธ์ว่ามีสมการความสัมพันธ์กันอย่างไรกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องถึงการที่ดินมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตาม ความรุนแรงของผลกระทบขึ้นอยู่กับประเภทของการใช้ที่ดินเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินและการจัดการการใช้น้ำใต้ดิน ควรมีการเก็บจำนวนตัวอย่างในบางพื้นที่ให้ได้จำนวนการเก็บตัวอย่างมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อได้ผลการศึกษาจากตัวอย่างมากกว่าการศึกษาในครั้งนี้ ควรรนำข้อมูลนี้จัดทำฐานข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาและเปรียบเทียบกับผลการแปลงสภาพการใช้ที่ดินในช่วงเวลาหนึ่งเกี่ยวกับคุณภาพน้ำใต้ดินและความสัมพันธ์ในการใช้ประโยชน์ที่ดิน

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม.(2553). Department of Industrial Works <https://www.diw.go.th>
- [2] แผนพัฒนาจังหวัดชลบุรี <http://www.chonburi.go.th> >. (2562).สรุปผลการดำเนินงาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562. สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดชลบุรี ธันวาคม 2562.
- [3] คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2543). กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดินออกตามความ พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- [4] Burrough, P.A. (1986). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon, Oxford.
- [5] Water, NM.(1988). Expert System and Systems of Experts. Chapter 12 in W.J.Coffey,ed. Geographical Systems and Systems of Geography: Essays in Honour of William
- [6] Burrough, P.A and R.A. McDonnell.(1998). Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press, Inc.New York.
- [7] Chang, KT.(2002). Introduction to Geographic Information Systems. McGraw Hill Higher Education, New York.
- [8] Napatsawan Noi Wong (2010). Spatial Distribution of Pb and Hg in Topsoils at Rayong Province. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field. Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Tunlawit Satapanajaru, Ph.D.
- [9] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, and R. G. Tozer, J.(1970). Water and Sewage Works 117.
- [10] S. A. Abbasi and D. S. Arya, Environmental Impact Assessment.(2000). Discovery Publishing House: New Delhi .
- [11] Shooshtarian, M.R.; Dehghani, M.; Margherita, F.; Gea, O.C.; Mortezaazadeh.(2018). Land use change and conversion effects on ground water quality trends: An integration of land change modeler in GIS and a new Ground Water Quality Index developed by fuzzy multi-criteria group decision-making models. Food Chem. Toxicol., 114, 204–214.
- [12] Ashiyani, N.; Suryanarayana, T.M.V.(2015). Assessment of groundwater quality using GWQI method .A case study of nadiad taluka, Gujarat, India. In Proceedings of the 20th International Conference on Hydraulics.Water Resources and River Engineering, Roorkee, India.

- [13] Rupal, M.; Tanushree, B.; Sukalyan, C(2012) . Quality Characterization of Groundwater using Water Quality Index in Surat city, Gujarat, India. Int. Res. J. Environ. Sci, 14–23.
- [14] Arina Khan Haris Hasan Khan Rashid Umar. Impact of land-use on groundwater quality(2017). GIS-based study from an alluvial aquifer in the western Ganges basin. Appl Water Sci, 7:4593–4603.
- [15] Pankaj Kumar , Rajarshi Dasgupta Brian Alan Johnson et.al.(2019). Effect of Land Use Changes on Water Quality in an Ephemeral Coastal Plain: Khambhat City, Gujarat, India, 11, 724.
- [16] มาตรฐานน้ำใต้ดินและน้ำแร่เพื่อการบริโภค – กรมทรัพยากรธรณี <http://www.dmr.go.th> ›

การศึกษาและพัฒนาต้นแบบชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx

The Study and Development of Laboratory Kits of Optical Transmission using
Broadband Network Fiber to the X^{1*}ปุณณกัญธุ์ ชำนาญกิจ และ ^{2#}ชนะ จันทรัมย์^{1,2}กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า^{1*}Poonnakan Chamnankij and ^{2#}Chana Jan im^{1,2}Department of Electrical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

*poonnakan.ch@crma.ac.th, #chana.ja@crma.ac.th

Received : February 9, 2023

Revised : April 24, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนาชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx จำนวน 16 รูปแบบช่องสัญญาณ โดยชุดสาธิตนี้จะประกอบด้วยการทดลอง 4 ใบงาน การทดลองที่จะแสดงการทดสอบส่งสัญญาณแสงโดยใช้เครื่องทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง (OTDR) เพื่อศึกษาเหตุการณ์ในแต่ละรูปแบบต่างๆ ที่กำหนดไว้ในตามระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งจะแสดงผลออกเป็นกราฟบนเครื่อง OTDR ตัวอย่างเช่น จุดที่มีการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), จุดที่มีการเชื่อมด้วยการต่อประกบกัน (Mechanical Splice), จุดที่มีการเชื่อมด้วยการหลอมละลาย (Fusion Splice), จุดที่มีการโค้งงอของสายใยแก้วนำแสง (Macro Fiber Optic Bending), และจุดที่มีการแยกกระจายของเส้นใยแก้วนำแสง (Planar Waveguide Circuit Splitter) จากการวิจัยพบว่าชุดสาธิตนี้มีการทดสอบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนโดยการทดสอบความรู้ทฤษฎีของนักเรียนนายร้อยจำนวน 16 นาย ก่อนและหลังการนำชุดสาธิตมาประกอบการทดลอง โดยทำการทดสอบพื้นฐานทางวิชาการสื่อสารทางแสง พบว่าก่อนการทดลองคะแนนเฉลี่ย 3.56 คะแนน (เต็ม 10 คะแนน) และหลังการทดลองคะแนนเฉลี่ย 9.50 คะแนน สรุปได้ว่าการนำชุดสาธิตประกอบใบงานการทดลองมาเป็นสื่อการเรียนการสอนนั้นสามารถอธิบายหลักการทำงานของการทำงานของการเชื่อมโยงโครงข่ายทางแสงได้

คำสำคัญ: โครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx

Abstract

The purposes of this study were to create and develop the Laboratory Kit of Optical Transmission using Broadband Network Fiber to the X for 16 Channel patterns. This kit consists of four experimental worksheets that show a test of optical signal transmission using a fiber optics tester (OTDR) to study each of the different events defined in accordance with the distance of the optical fiber which is displayed as a graph on the OTDR such as connection point with connector, mechanical Splice, Fusion Splice, Macro Fiber Optic Bending and Planar Waveguide Circuit Splitter. The research shows that it is used to test the learning achievement of 16 students before and after using the kit. The knowledge test involves foundations of optical communication by showing the average score of 3.56 out of 10 on a pre-test and an average score of 9.50 after working on this kit. In conclusion, this demonstration kit can be used to help explaining the mechanism of optical communication at its fundamental level.

Keywords: Broadband Network Fiber to the X

1. บทนำ

ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (สกส.ร.ร.จปร.) เป็นหน่วยงานหลักที่จะประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้านวิชาการในระดับอุดมศึกษาให้แก่ นักเรียนนายร้อย (นร.) ตามหลักสูตรของ รร.จปร. นอกจากนั้นยังมีส่วนรับผิดชอบในการปลูกฝังความเป็นผู้มีวินัยรู้หน้าที่และมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีให้ทันกับสถานการณ์โลกปัจจุบัน สกส.ร.ร.จปร. จึงจำเป็นต้องมีสื่อการเรียนการสอนที่จะให้กับ นร. เพื่อเพิ่มความเข้าใจมากยิ่งขึ้น

โดยความต้องการในการส่งข้อมูลที่มีปริมาณมากขึ้นและระยะทางที่ไกลขึ้น นำไปสู่การพัฒนา เทคโนโลยีใหม่ ๆ การใช้ โปรตอน (Protons) แทนอิเล็กตรอน (Electrons) สำหรับการรับส่งสัญญาณผ่านเคเบิล ทำให้ได้แบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น แต่ราคาต่ำลง การใช้แสงเป็นสื่อในการนำสัญญาณแล้วส่งไปในตัวกลางที่เรียกว่า เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีในการส่งสัญญาณแสงแบบ FTTx (Fiber to the X) มาใช้ในการรับ-ส่ง ข้อมูล ภาพและเสียงเป็นสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ปัจจุบันในด้านการศึกษา ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงแบบ FTTx มีจำนวนรูปแบบการส่งเพียง 4 รูปแบบช่องสัญญาณ ซึ่งมีรูปแบบการส่งสัญญาณน้อยและยังมีราคาค่อนข้างสูงเกินกว่าที่ นร. จะสามารถนำมาใช้งานในแนวทางการบริหารทางทหารต่อไป

เทคโนโลยี Fiber to the x (FTTx) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านโครงข่ายเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ที่มีใช้งานในกองทัพบก โดยเฉพาะเหล่าทหารสื่อสาร ผู้วิจัยจึงมีแนวทางในการพัฒนาชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx เพื่อเป็นสื่อการเรียนประกอบ วิชาการสื่อสารทางแสง EE5706 ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร (พ.ศ. 2563) ของ รร.จปร. และเป็นวิชาที่ นร. จะต้องนำไปใช้ในชีวิตรับราชการต่อไป

2. ขอบเขตงานวิจัย

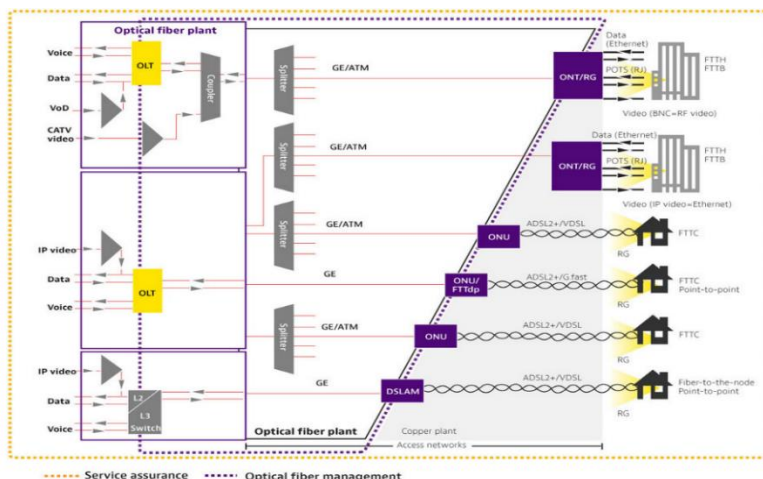
- 2.1 เพื่อพัฒนาชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) หลายรูปแบบสัญญาณ
- 2.2 เพื่อเป็นแบบจำลองในการตรวจสอบเส้นใยนำแสงและการส่งสัญญาณแสงในแต่ละรูปแบบ

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 โครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ (FTTx) ย่อมาจาก Fiber to the x ซึ่งหมายถึงเทคโนโลยีการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงผ่านโครงข่ายเส้นใยนำแสง (Fiber Optic) ที่ลากหรือต่อตรงไปยังสถานที่ปลายทาง (x) และทำให้ FTTx สามารถรองรับข้อมูลปริมาณมากรวมถึงรับ-ส่งสัญญาณในระยะทางไกลโดยไม่ถูกรบกวนจากภายนอกเมื่อเปรียบเทียบกับ ADSL ที่เป็นการส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านสายเคเบิลทองแดงแบบดั้งเดิมหรือ 3G/ 4G ที่เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายและมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลโดยเฉลี่ยเพียง 10-150 Mbps เท่านั้น

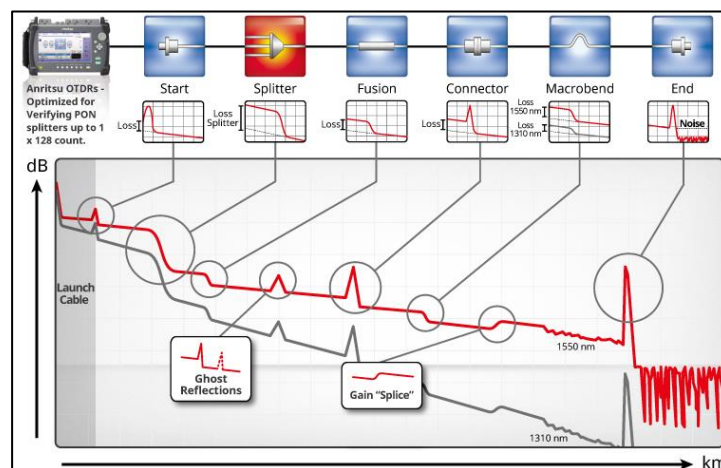
ในอดีต FTTx ไม่ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายมากนักโดยมีเพียงองค์กรขนาดใหญ่ที่มีงบประมาณเพียงพอและสามารถลงทุนได้แต่เนื่องจากต้นทุนของเทคโนโลยีที่ลดต่ำลงเรื่อย ๆ FTTx จึงเริ่มได้รับความนิยมมากขึ้นจากทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม ตัวอย่างของบริการ FTTx สำหรับตลาดผู้บริโภคได้แก่ การให้บริการ FTTH (Fiber to the Home) หรือ FTTB (Fiber to the Building) ที่เป็นบริการสัญญาณบรอดแบนด์ไฟเบอร์ความเร็วสูงระดับ Gbps เชื่อมต่อเข้าไปยังสถานที่พักอาศัยหรืออาคารโดยตรงซึ่งปัจจุบันก็มีผู้ให้บริการเช่น กลุ่ม True, AIS, จัสมิน (3BB) เป็นต้น



รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ FTTx

3.1.2 โครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ (FTTB) การรวมสัญญาณแบบแบ่งเวลา

FTTB (Fiber To The Building): เป็นโหนดการเชื่อมต่อเครือข่ายของ FTTx + LAN ส่วนใหญ่เชื่อมต่อสัญญาณอปติกเข้ากับกล่องกระจายหลักของอาคารสำนักงานหรืออาคารอพาร์ทเมนต์เพื่อให้สามารถเข้าถึงสัญญาณใยแก้วนำแสงได้ ภายในอาคารอพาร์ทเมนต์ยังคงใช้สายโคแอกเซียลคู่บิดหรือใยแก้วนำแสงเพื่อรับรู้อินพุตการกระจายสัญญาณเพื่อให้เกิดการใช้ข้อมูลความเร็วสูง เราเรียกว่า Broadband Access Network (FTTB) สำหรับ FTTx + LAN ซึ่งเป็นวิธีการเข้าถึงบรอดแบนด์ที่สมเหตุสมผลใช้งานได้จริงและคุ้มค่าที่สุด โดยคุณสมบัติความเร็วของการส่งข้อมูลผ่านไฟเบอร์เข้ากับอาคารสายเคเบิลเครือข่ายไปที่บ้านและความเร็วต้นน้ำและปลายน้ำสามารถเข้าถึง 10Mbps อีกทั้งราคาในการติดตั้งระบบมีความคุ้มค่า เนื่องจากความเป็นเอกลักษณ์และอัตราการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงจึงต้องใช้วิศวกรที่มีความชำนาญ



รูปที่ 2 ร่างโครงสร้างของโครงข่ายสายไฟเบอร์ออฟติกแบบพาสซีฟ FTTB

3.1.3 เส้นใยนำแสง (Fiber Optic)

เส้นใยนำแสง (Fiber Optic) คือ สายนำสัญญาณที่ใช้แสงเป็นตัวกลางในการสื่อสาร ข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยทำจากแก้วที่มีความบริสุทธิ์มาก เส้นใยแก้วนำแสงที่ดีต้อง สามารถนำสัญญาณแสงจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยมีการสูญเสียของสัญญาณแสงน้อยที่สุด

3.1.4 การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector)

การเชื่อมต่อเส้นใยนำแสงด้วยหัวเชื่อมต่อทำให้ผู้ใช้มีความสะดวก สามารถถอดเปลี่ยนได้ตามความจำเป็น ในปัจจุบันมีการผลิตหัวเชื่อมต่อสำหรับเส้นใยนำแสงออกมาหลายแบบให้เลือกใช้ตามสภาพการใช้งานเป็นหลัก หัวเชื่อมต่อได้ถูกออกแบบเพื่อช่วยให้ปลายเส้นใยนำแสงอยู่ใกล้กันมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆ อีกเช่น แข็งแรงทนทานทำให้เกิดการสูญเสียของแสงต่ำและมีราคาถูก เป็นต้น

3.1.5 ค่าการสูญเสียของสัญญาณแสงใน Fiber Optic System (LOSS)

การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสง เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลข่าวสาร ทำให้การเชื่อมต่อสื่อสารด้วยระยะทางไม่เป็นไปตามที่คาดหวัง (ปกติเส้นใยนำแสง สามารถเชื่อมต่อได้ด้วยระยะทางที่ยาวมากๆ ตั้งแต่ 100 เมตรขึ้นไป จนถึงหลัก 100 กิโลเมตร) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่า เลือกใช้เส้นใยนำแสงแบบใดเป็นแบบ Multimode หรือ Single mode รวมทั้งยังขึ้นอยู่กับโปรโตคอลของเครือข่าย การสูญเสียของสัญญาณแสงในเส้นใยนำแสง ที่เกี่ยวกับการทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังแสงในสาย มีหลายประการ ดังนี้

3.1.5.1 Bending Loss

เนื่องจากการโค้งงอของสายเกินค่ามาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนด เกิดจากปัญหาการโค้งงอของสาย เกินค่ารัศมี ความโค้งงอของสายตามปกติ (Minimum Bend Radius) อย่างไรก็ตาม Bending Loss ยังสามารถเกิดขึ้นได้จากการรองรับประกอบย่อย ๆ ดังนี้ 1. ความโค้งที่มีความแหลมบริเวณแกนของสาย 2. ความไม่สมบูรณ์ของ Buffer และ Jacket โดยมีความคลาดเคลื่อนของการวางตำแหน่งระหว่างกันที่ห่างประมาณ 2-3 มิลลิเมตรและ 3. การติดตั้งสายไม่ถูกวิธีหรือไม่เรียบร้อย

3.1.5.2 Splice Loss

สามารถเกิดขึ้น ณ ที่ใดก็ได้ที่มีการตัดต่อและเชื่อมสายเข้าด้วยกัน การสูญเสียอันเนื่อง มาจากการทำ Splice ที่ไม่สมบูรณ์ ประกอบด้วย การลดทอน 2 แบบ ได้แก่ Mechanical Loss และ Fusion Splicing Loss

- Mechanical Loss จะมีอัตราสูงที่สุด เมื่อเทียบกับ Fusion Splicing โดยมีอัตราการลดทอน ตั้งแต่ 0.1dB ไปจนถึง 0.5dB ขึ้นไป

- Fusion Splice มีอัตราการลดทอน ต่ำสุด โดยมีอัตราการลดทอน ตั้งแต่ 0.01-0.2dB

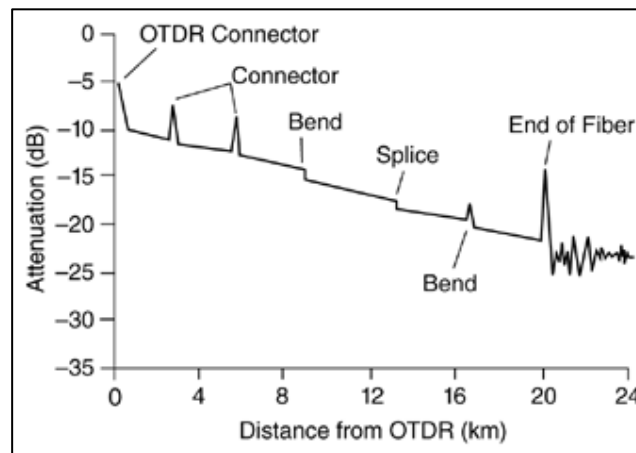
3.1.5.3 Connector Loss

การสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก Fiber Optic Connector สามารถมีระดับ 0.25-1.5dB และขึ้นอยู่กับชนิดของ Connector ที่ใช้งานอีกด้วย นอกจากนี้ยังมี Factor อื่นๆ ที่ทำให้เกิดการลดทอน ของ Connector ได้แก่ ปัญหาสกปรก หรือ Contamination บน Connector (ปัญหาที่เกิดบ่อยที่สุด), การติดตั้ง Connector ที่ไม่ถูกต้องไม่เรียบร้อยและการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของ Connector ซึ่งถือเป็นปัญหาหลังจากการติดตั้งและใช้งานไปแล้ว

3.1.5.4 การลดทอน จากการติดตั้ง

เนื่องจากว่า สาย Fiber Optic มีส่วนมากที่ทำมาจาก Silica และกระจก ดังนั้น ถึงแกนกลางของสายจะได้รับการป้องกันจาก Jacket เปลือกนอกของเส้นใยนำแสง รวมถึงโครงสร้างอื่นๆ ด้วยแล้ว แต่การติดตั้งที่ขาดความระมัดระวัง การติดตั้งที่ทำให้เกิดความเสียหายกับแก้วแกนกลางภายใน เมื่อสายได้ถูกกระทำจากแรงเหล่านี้ในการติดตั้งมากเกินไป อาทิ แรงกด แรงกระแทก แรงเหวี่ยง แรงดึง แรงบิด ก็จะทำให้เกิดค่า การลดทอน ได้

จากสาเหตุการเกิดค่าความสูญเสียหรือค่า การลดทอน ในระบบ เมื่อเราทำการทดสอบระบบด้วยเครื่องทดสอบ OTDR เราจะได้กราฟที่แสดงผลในระบบที่ทำการทดสอบดังตัวอย่างภาพด้านล่าง



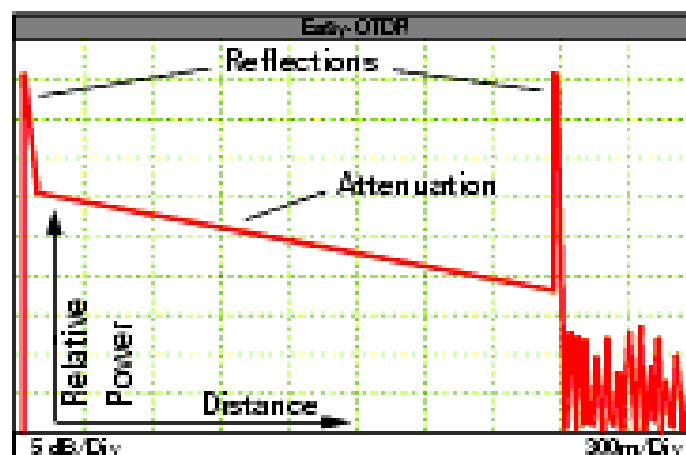
รูปที่ 3 แสดงค่า การลดทอน ของ Even ในแค่ Even ของระบบผ่านเครื่อง OTDR

3.1.6 เครื่อง OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) คือ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติของเส้นใยนำแสง จุดประสงค์ของเครื่องมือนี้ก็เพื่อตรวจวัดและค้นหาเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเส้นใยนำแสง เช่น ความยาวของสาย, ตำแหน่งที่มีการเชื่อมต่อ (Splice) หรือหัวเชื่อมต่อ (Connector) และอัตราการสูญเสียของสัญญาณ (Attenuation)

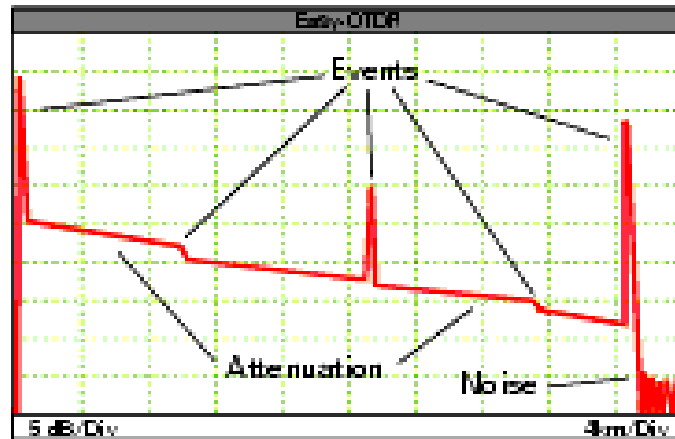
ข้อดีของ OTDR ก็คือ เราสามารถใช้ทดสอบเส้นใยนำแสงจากปลายข้างเดียวเท่านั้น OTDR จะแสดงผลเป็นกราฟ ที่แสดงการสูญเสียของสัญญาณในระหว่างการส่งข้อมูล ดังนั้น OTDR จึงเป็นเครื่องมือที่นิยมมากที่สุดสำหรับทดสอบ เส้นใยนำแสง อีกทั้งการตรวจวัดโดย OTDR จะแสดงการเหตุการณ์ (Event) บนเส้นใยนำแสงจะเกิดจากการสูญเสีย (Loss) หรือ การสะท้อน (Reflection) มากกว่า การกระจาย (Scattering) ที่เกิดจากวัสดุของเส้นใยนำแสงที่ผลิต หลักการนี้จะใช้กับการเชื่อมต่อ ทุกแบบ รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการโค้งงอ (Bending), การแตก (Crack) หรือ การขาด (Break) ของสายใยแก้วนำแสง

3.1.6.1 Single Fibers จะแสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟีก (OTDR Trace) ตามรูปที่ 4 จะเห็นว่ามี การลดของ กำลังแสง (Power level attenuation) ลงเรื่อยๆ และที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายของเส้นใยนำแสงจะมีการสะท้อนกลับ (Reflection) สูง



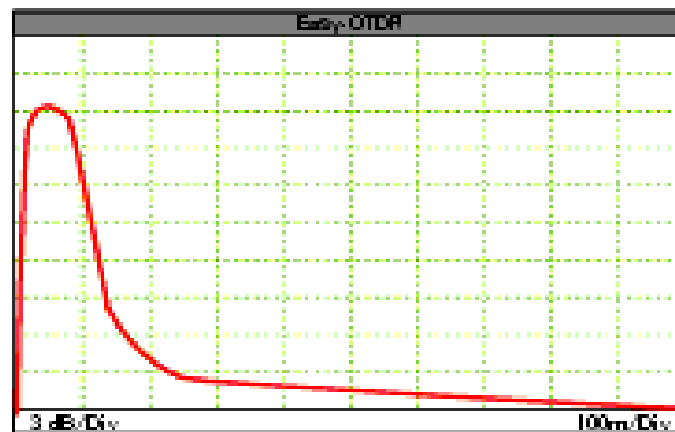
รูปที่ 4 แสดงกราฟของ Single Fibers ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.2 Whole links คือการเชื่อมโยงเส้นใยนำแสงกับตัวเชื่อมต่อทั้งหมด สามารถสังเกตให้เป็นรูปแบบ Whole link ได้ นอกจากจะมีการลดทอนแบบทั่วไปแล้ว (normal attenuation) จะเห็นว่า มี Event ต่าง ๆ และ Noise หลังจากจุดปลาย ของ link ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5



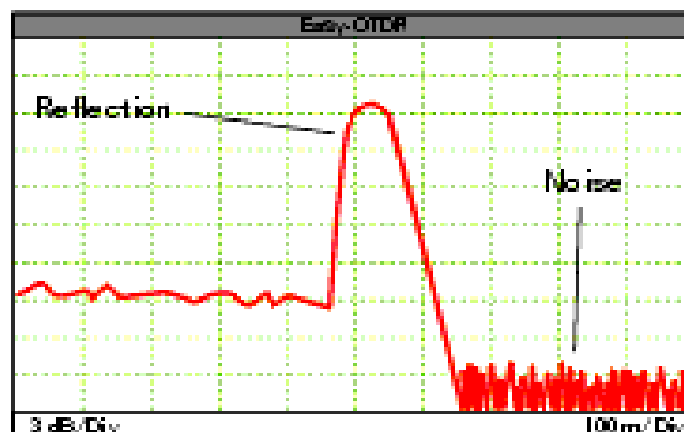
รูปที่ 5 แสดงกราฟของ Whole links ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.3 Beginning of a Fiber ในเหตุการณ์นี้จะเกิดจากการนำการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อในกรณีของ Normal straight connector จะเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นใยนำแสงเป็นการสะท้อนกลับอย่างแรงที่ Front connect ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงกราฟของ Beginning of a Fiber ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.1.6.4 Fiber End คือ จุดสิ้นสุดของกำลังส่งผ่านเส้นใยนำแสงโดยทั่วไปแล้วจะมองเห็นเป็นการสะท้อนอย่างแรง (Strong reflection) ที่จุดปลายของสายใยแก้วนำแสงก่อนที่จะแสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟิค (OTDR Trace) จะลดต่ำลงถึงระดับของ Noise ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงกราฟของ Fiber End ที่แสดงบนเครื่อง OTDR

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) นี้ คณะผู้วิจัยได้มีการค้นคว้าหาข้อมูลและนำบทความวิจัยหรือปริยฐานิพนธ์ต่างๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำชุดสาธิตนี้ขึ้นมา โดยในส่วนของภาคทฤษฎีของการทดลองต่างๆ ได้ศึกษามาจากการพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด (ดิศพล จำเริญกุล:2558) โดยมีที่มาจากการนำเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ใหม่และพัฒนาให้เป็นชุดฝึกปฏิบัติการ ซึ่งผู้สอนสามารถซ่อมแซมชุดฝึกปฏิบัติการได้ด้วยตนเองโดยง่าย และใช้ต้นทุนไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ชุดฝึกปฏิบัติการที่นำเข้าจากต่างประเทศ ผลการทดสอบพบว่าชุดฝึกปฏิบัติการนี้สามารถฝึกฝนและเพิ่มทักษะให้แก่ผู้ทำการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นสื่อการเรียนการสอน ซึ่งหนึ่งในวิชาเหล่านั้นก็คือวิชาในภาคทฤษฎี และปฏิบัติด้านการสื่อสารทางแสง,การกระจายของคลื่น,ชนิดคุณสมบัติ,การเข้ารหัส,การมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์ เป็นต้น ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบภายในชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) นี้ขึ้นมา (ไกรสร สาริษา : 2546) ออกแบบชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัลเพื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาระบบสื่อสาร 1 และ 2 ของภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ออกแบบใบงานประกอบการใช้งานชุดทดลองให้มีความเหมาะสมกับหลักสูตร

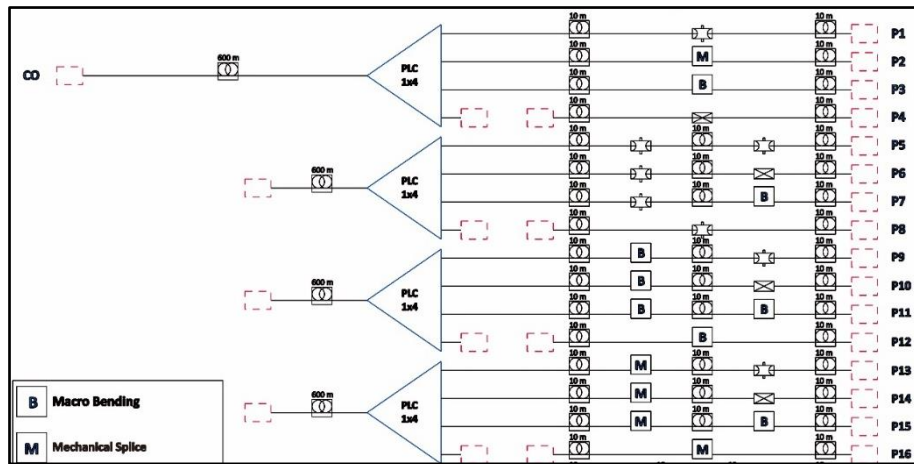
ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1310 นาโนเมตร (ชนะ จันทร้อม : 2565) มีขั้นตอนการจัดทำ 2 ส่วนคือชุดสาธิตการส่งสัญญาณทางแสงและใบงานประกอบการทดลอง ในส่วนของชุดสาธิตการส่งสัญญาณทางแสงใช้อุปกรณ์การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น (WDM) ในการรับและส่งสัญญาณผ่านใยแก้วนำแสง โดยที่ภาคส่งจะใช้เลเซอร์ไดโอด เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยใช้ชนิด Single Mode ไปยังโฟโต้ไดโอดที่เป็นอุปกรณ์ในส่วนภาครับสัญญาณ การวิจัยนี้จึงมีประโยชน์สำหรับ นนร. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของ การสื่อสารทางแสงด้วยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น การวิจัยนี้พบว่าสามารถทดลองในคุณสมบัติของเลเซอร์ไดโอด โฟโต้ไดโอด และหลักการทำงานของ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่นได้ ทั้งนี้ มีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 5-10 dBm จากจุดเทรซโฮลของเลเซอร์ ทั้ง 2 ความยาวคลื่น อันเกิดจากสัญญาณผ่านตัวกลางอย่างคับเปอร์เส้นใยแก้ว

4. การดำเนินการวิจัย

การดำเนินการพัฒนาชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ซึ่งเนื้อหาในบทที่ผ่านมาจะเป็น การศึกษาค้นคว้ารายละเอียดของการจัดทำวิจัยนี้ แล้วนำมาวิเคราะห์อีกครั้งเพื่อดำเนินการออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ ออกแบบกล่อง จัดเก็บอุปกรณ์ และจัดทำประเมิน วิเคราะห์ผลตามที่ได้ออกแบบ โดยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาข้อมูลและแนวทางการออกแบบการทดลอง

การออกแบบและการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ได้แบ่งการสร้างออกเป็น 4 ใบงานการทดลอง ทำการศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1-P16 จากเครื่อง OTDR โดยผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การใช้งานของสัญญาณแสงผ่านเครื่องมือวัดตรวจจบบระบบไฟเบอร์ออฟติก (Optical Time Domain Reflectometer: OTDR) เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสง เช่น การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice), จุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) และจุดที่มีการแยกกระจายของเส้นใยนำแสง (Planar Lightwave Circuit splitter) เป็นต้น



รูปที่ 8 ตัวอย่างการวิเคราะห์สัญญาณในงานทดลอง

4.2 วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูล

ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ

4.2.1 ส่วนที่ 1 ส่วนประกอบหลักของการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง

- ตัวกำเนิดแสง (Light Source) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณแสงหรือ Optical Transmitter

- สายนำสัญญาณไฟเบอร์ออฟติก (Optic Fiber) ซึ่งทำจากแก้วหรือพลาสติกคุณภาพสูงทำหน้าที่เป็นสื่อกลางในการนำสัญญาณ หรือ Channel

- ตัวแยกสัญญาณแสง (Light Detector) เป็นอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งจะมีอุปกรณ์ประเภท PIN Diode ทำหน้าที่ เป็นตัวแยกสัญญาณหรือถอดรหัส เปลี่ยนสัญญาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือ Optical Receiver

4.2.2 ส่วนที่ 2 คุณสมบัติการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง

การส่งสัญญาณหลาย ๆ สัญญาณผ่านทางสายใยแก้วนำแสง เส้นเดียวนั้น สามารถทำได้โดยการกำหนดระยะเวลาและองศาของ Source ที่ป้อนเข้าไปให้มีความแตกต่างกันและเมื่อสัญญาณแสงผ่านเข้าไปในสายใยแก้วนำแสงจะเกิดการสะท้อนที่ผิวสาย แสงที่สะท้อนนี้จะเดินทางไปยังปลายทาง การสะท้อนนี้จะเกิดภายในสายเท่านั้น โดยไม่ทะลุผ่านผิวออกไปข้างนอก

4.3.3 ส่วนที่ 3 เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายในเส้นใยแก้วนำแสง

เหตุการณ์ (Event) บนสายใยแก้วนำแสงจะเกิดจากการสูญเสีย (Loss) หรือการสะท้อน (Reflection) มากกว่าการกระจาย (Scattering) ที่เกิดจากวัสดุของสายใยแก้วที่ผลิต หลักการนี้จะใช้กับการเชื่อมต่อทุกแบบ รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการโค้งงอ (Bending), การแตก (Crack) หรือ การขาด (Break) ของสายใยแก้วนำแสง

เครื่อง OTDR TEST แสดงผลของการวัดเป็นกราฟฟิบบนจอภาพ โดยแกนในแนวตั้งจะเป็นแกนกำลัง (Power Axis) ส่วนแกนในแนวนอนเป็นแกนระยะทาง ในกราฟต่างๆ เหล่านี้จะแสดงให้เห็นรู้จักกับ กราฟการแสดงผลของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่มักจะเกิดขึ้นในการทดสอบ



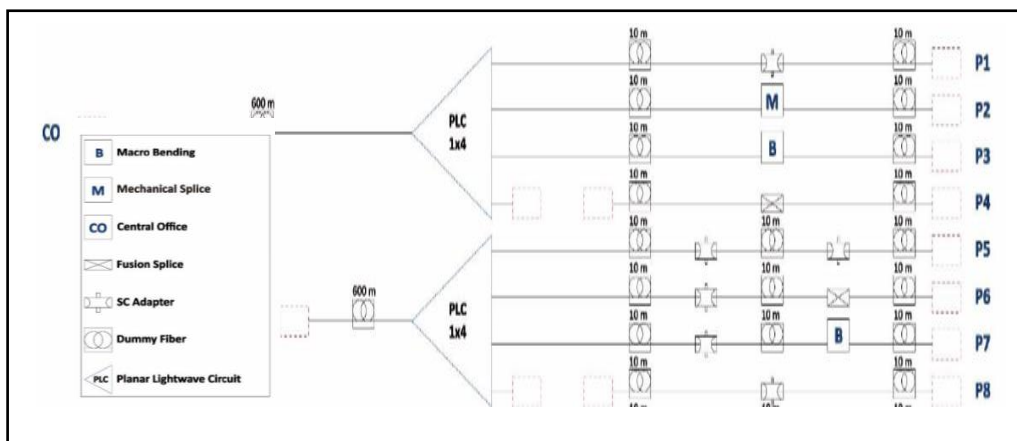
รูปที่ 9 เครื่อง OTDR Test

4.4 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ภายในชุดสาธิต

4.4.1 การออกแบบการจัดวางอุปกรณ์ ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CoreIDRAW 2020 ตามรูปที่ 10 แสดงภาพออกแบบการจัดวางอุปกรณ์

4.4.2 การออกแบบแผ่นหน้ากล่อง ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม CoreIDRAW

4.4.3 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของแผ่นหน้ากล่อง ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022



รูปที่ 10 แสดงภาพออกแบบแผ่นหน้ากล่องชุดสาธิต

4.5 การออกแบบและวางจุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสง

4.5.1 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของกล่องได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022

4.5.2 การออกแบบระยะและตำแหน่งในการเจาะของกล่องเก็บ Event ออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD รุ่น 2022
การเชื่อมต่อสายไฟเบอร์ออฟติกภายในกล่องชุดสาธิต



รูปที่ 11 การออกแบบจุดเชื่อมต่อของเส้นใยแก้วนำแสงภายในชุดสาธิต

4.6 การทดสอบการทำงาน

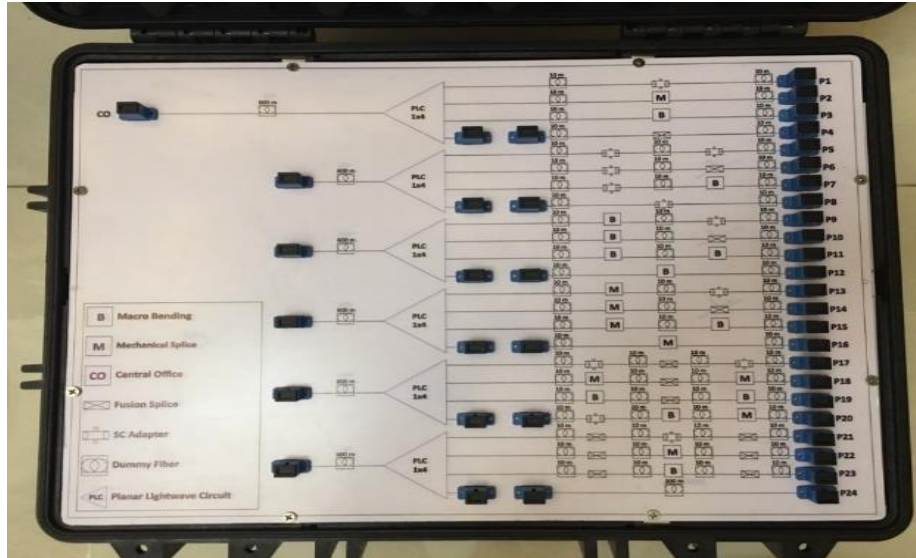
เมื่อทำการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) สามารถเชื่อมต่อรับ-ส่งสัญญาณผ่านการทดสอบการทำงานร่วมกับเครื่อง OTDR เพื่อตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ว่าถูกต้องหรือเป็นไปตามทฤษฎีที่รองรับหรือไม่

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทดลองชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) กับนักเรียนนายร้อย (นร.) ชั้นปีที่ 4 จำนวน 16 นาย โดยมีรายละเอียดผลการทดลอง ดังนี้

5.1 ชุดสาธิตที่เสร็จสมบูรณ์

ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ที่เสร็จสมบูรณ์มีลักษณะรูปแบบภายนอกและอุปกรณ์บรรจุชุดสาธิตดังกล่าว ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 ชุดสาธิตที่เสร็จสมบูรณ์

5.2 การทดลองที่ 1 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1 - P4 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสง เช่น การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ, การเชื่อมต่อเชิงกล, การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลายและจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ จากผลการศึกษาผ่านใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสัญญาณและรูปแบบที่แตกต่างกันของแต่ละเหตุการณ์สังเกตได้จาก ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.2.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 1 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P1

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	10.009	26.496	0.288	0.291	
E	1.70225	-	15.333	12.646	3.554	

ตารางที่ 2 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P2

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	2.221	28.721	0.286	0.288	
2.	1.08007	9.603	54.955	-1.502	-	
E	1.70430	-	13.411	8.783	1.092	

ตารางที่ 3 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P3

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	9.891	27.853	0.283	0.286	
E	1.48459	-	-	14.832	10.503	

ตารางที่ 4 ใบงานที่ 1 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P4

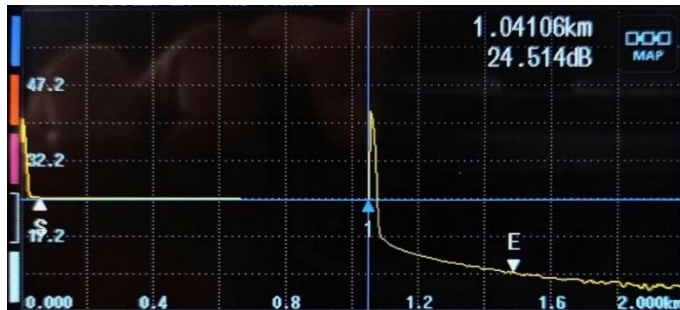
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-43.266	27.426	0.286	0.288	
2.	1.07391	11.051	35.456	-3.332	-	
E	1.70430	-	13.632	8.753	1.640	



รูปที่ 13 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P1



รูปที่ 14 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P2



รูปที่ 15 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P3



รูปที่ 16 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P4

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 13 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) (2) รูปที่ 14 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) (3) รูปที่ 15 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) และ (5) รูปที่ 16 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการทำงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง ที่อาจมีผลต่อระบบได้ อีกทั้งใบงานการทดลองยังออกแบบให้ศึกษาเปรียบเทียบค่า Pulse width ในรูปแบบที่แตกต่างกันด้วย

5.3 การทดลองที่ 2 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P5 - P8 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วย : การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.3.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

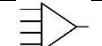
ตารางที่ 5 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P5

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-33.345	27.350	0.282	0.288	
2.	1.08829	9.014	40.060	0.195	-	
3.	1.40656	0.620	-	10.148	2.953	
E	1.71251	-	15.627	11.241	1.542	

ตารางที่ 6 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P6

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	-10.254	29.819	0.285	0.286	
2.	1.08623	9.956	40.559	-2.206	-	
3.	1.42299	0.534	-	8.637	2.635	
E	1.71046	-	14.891	9.408	0.822	

ตารางที่ 7 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P7

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04106	11.981	27.223	0.282	0.286	
2.	1.30184	0.468	-	12.445	0.698	
E	1.64270	-	-	15.898	8.756	

ตารางที่ 8 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P8

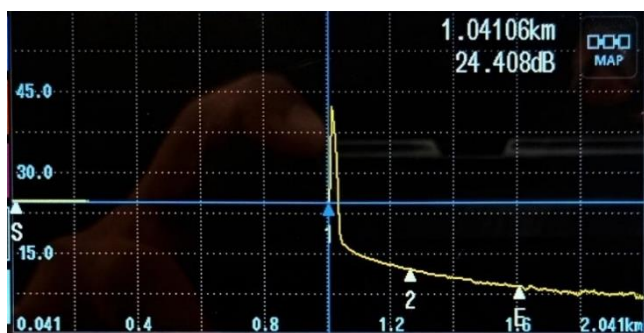
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	-9.963	26.619	0.303	0.306	
2.	1.07782	8.980	38.217	-1.652	-	
3.	1.40574	0.360	-	9.019	5.156	
E	1.70820	-	15.146	9.676	0.980	



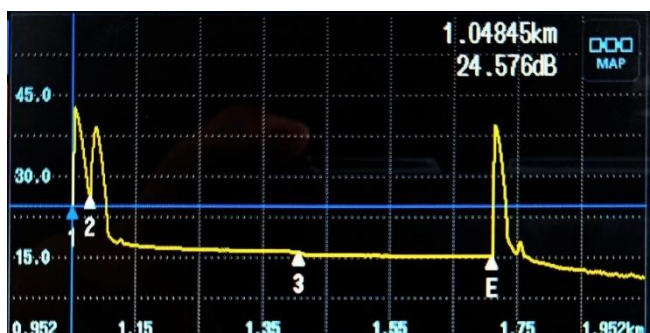
รูปที่ 17 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P5



รูปที่ 18 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P6



รูปที่ 19 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P7



รูปที่ 20 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P8

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 17 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 18 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 19 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 20 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.4 การทดลองที่ 3 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P9 – P12 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วย : การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.4.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 9 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P9

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	7.183	26.625	0.300	0.301	
2.	1.15338	0.306	-	10.129	25.219	
3.	1.41508	26.261	73.958	13.896	13.225	
4.	1.51436	0.217	-	14.745		
E	2.04844	-	68.290	16.934	3.692	

ตารางที่ 10 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P10

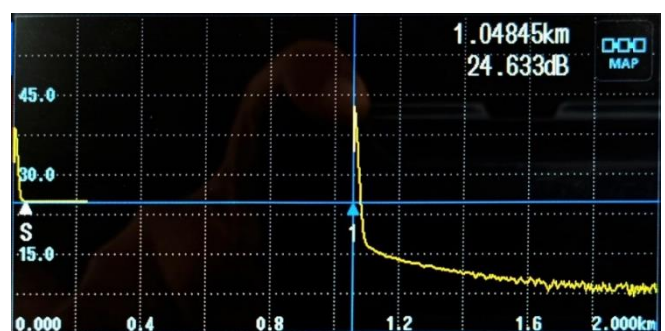
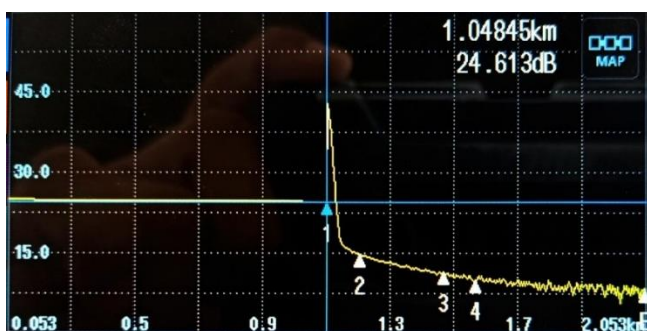
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	10.414	26.530	0.304	0.300	
E	2.04957	-	-	17.656	6.930	

ตารางที่ 11 ใบงานที่ 2 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P11

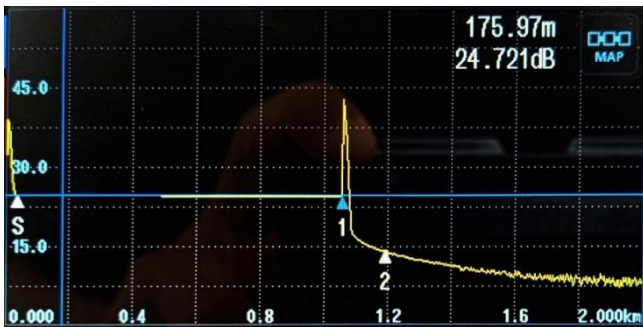
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.048.45	8.286	26.215	0.304	0.300	
2.	1.18634	1.306	-	10.595	14.539	
E	2.03859	-	67.100	17.401	6.454	

ตารางที่ 12 ใบงานที่ 3 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P12

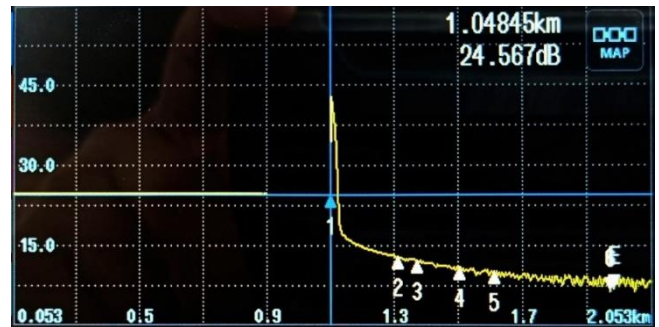
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	8.278	26.617	0.300	0.299	
2.	1.25800	0.148	-	11.945	16.067	
3.	1.31868	0.185	-	12.539	7.361	
4.	1.45122	0.179	74.753	14.142	10.700	
5.	1.55789	0.176	71.035	14.926	5.670	
6.	1.92073	0.448	68.055	16.701	4.404	
E.	1.93099	-	65.115	16.718	-41.897	



รูปที่ 21 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P9



รูปที่ 22 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P10



รูปที่ 23 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P11

รูปที่ 24 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P12

แสดงผลของค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง (Return Loss) ที่ใช้ค่า Pulse width 50 นาโนเมตร โดยทำการวัดค่าผ่านเครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยนำแสง เช่น (1) รูปที่ 21 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 22 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 23 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 24 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต๋อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.5 การทดลองที่ 4 การศึกษาการเก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P13 – P16 จากเครื่อง OTDR

ในการทดลองนี้ เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความเข้าใจในการทำงานของเครื่อง OTDR และอีกทั้งสามารถวิเคราะห์เข้าใจในเหตุการณ์ต่างๆ (Event) ที่เกิดขึ้นในการส่งสัญญาณแสงแบบซ้อนกัน 2 เหตุการณ์ โดยเหตุการณ์ที่ 1 จะประกอบไปด้วยการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector), การเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) และจุดที่มีการโค้งงอของสายมากๆ (Macro Bending) เหตุการณ์ที่ 2 คือ การเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Connector) ผลแสดงผ่านเครื่อง OTDR ดังนี้

5.5.1 ผลการทดลอง ค่า Pulse width : 50 ns

ตารางที่ 13 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P13

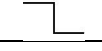
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04845	-17.196	26.539	0.298	0.298	
2.	1.07782	9.072	29.392	-1.454	-	
3.	1.20697	0.269	-	8.902	9.943	
4.	1.47822	0.348	-	11.138	7.252	
5.	1.56036	0.147	-	11.219	-3.246	

E	1.72247	-	17.758	11.596	1.421	
---	---------	---	--------	--------	-------	---

ตารางที่ 14 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P14

ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	1.04927	1.377	24.323	0.329	0.314	
2.	1.05184	0.000		0.329		
3.	1.07874	0.929	47.412	3.077	46.528	
E	1.08952			2.911		

ตารางที่ 15 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P15

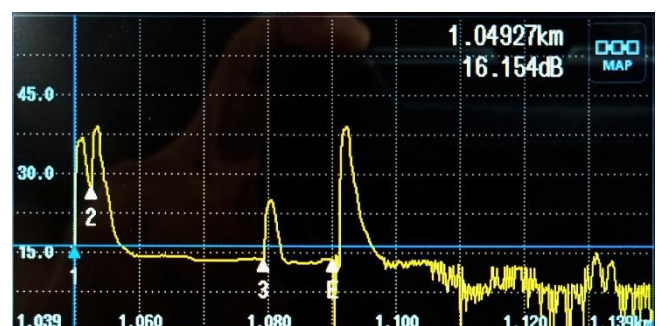
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	0.14599	0.122		0.572	15.704	
2.	0.22710	0.515		1.836	14.077	
E	0.83449		70.564	7.589	8.624	

ตารางที่ 16 ใบงานที่ 4 ตารางบันทึกค่าจากเครื่อง OTDR ที่ Port P16

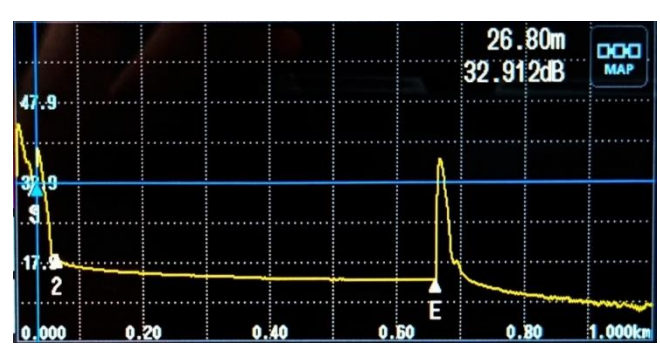
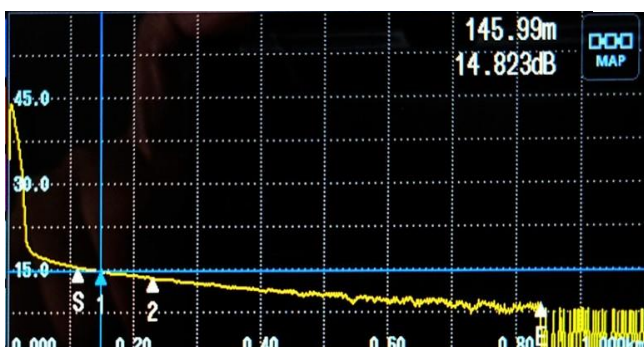
ลำดับที่	Distance(km)	Loss	Return Loss	Cumul-Loss	dB/km	Type
1.	0.02608	13.921	50.073	0.031	-	
2.	0.06047	3.134	-	13.442	-15.121	
E	0.65800	-	17.842	18.651	3.471	



รูปที่ 25 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P13



รูปที่ 26 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P14



รูปที่ 27 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P15

รูปที่ 28 แสดงกราฟที่จากการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ Port P16

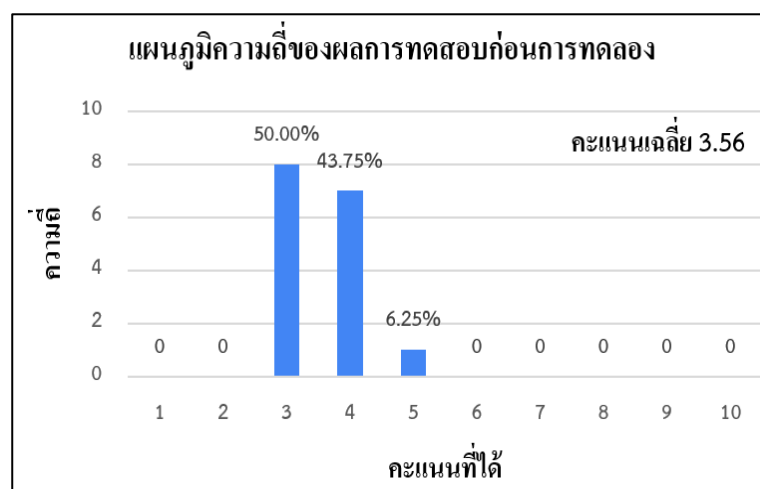
เครื่อง OTDR โดยจะสังเกตจากเหตุการณ์ (Event) ที่ทำการเชื่อมต่อ (Connector) ในรูปแบบต่างๆ กับเส้นใยแก้วนำแสง เช่น (1) รูปที่ 25 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยหัวเชื่อมต่อ (Sc Adapter Connector) 2 หัวต่อเชื่อมกัน (2) รูปที่ 26 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสง โดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อเชิงกล (Mechanical splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ (3) รูปที่ 27 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทจุดที่มีการโค้งงอของสายมาก (Macro Bending) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ และ (4) รูปที่ 28 จะแสดงให้เห็นถึงการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยแก้วนำแสงโดยส่งผ่านข้อต่อประเภทการเชื่อมต่อด้วยวิธีหลอมละลาย (Fusion Splice) เชื่อมต่อกับ Sc Adapter Connector 1 หัวต่อ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดและประเภทการใช้งานในการงานของข้อต่อชนิดต่างๆ ให้สอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เหมาะสมเพื่อต้นทุนและค่าสะท้อนกลับในเส้นใยนำแสง และสามารถเปรียบเทียบค่าความสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นในแต่ละตำแหน่งได้

5.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ทางผู้จัดทำได้จัดให้มีผู้มาทดลองชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง เพื่อที่จะทดสอบชุดสาธิตฯ ว่ามีประสิทธิรูปที่จะนำมาใช้งานหรือไม่ รวมไปถึงใบงานประกอบชุดสาธิตว่าสามารถนำไปใช้งานได้จริงและมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด จึงได้ให้นักเรียนนายร้อย (นร.) ชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เป็นผู้ทดลองใช้ชุดสาธิตจำนวน 16 นาย การทดสอบและการประเมินผลชุดสาธิตนี้มีขั้นตอนในการทำ 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

5.6.1 การทำแบบทดสอบก่อนใช้ชุดสาธิตกับผู้ทำการทดลอง

ก่อนที่จะให้ผู้ทำการทดลองได้ทดสอบชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ทางผู้วิจัยให้นร. ได้ทำแบบทดสอบก่อนใช้ชุดสาธิตเพื่อที่จะทดสอบความรู้เบื้องต้นของ นร. ก่อนที่จะใช้ชุดสาธิตโดยแบบทดสอบจะมีจำนวน 10 ข้อ โดยคำถามจะเป็นความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง ให้ความเวลาในการทำแบบทดสอบประมาณ 10 นาที โดยมีผลคะแนนของ นร. แสดงในรูปที่ 29



รูปที่ 29 แสดงกราฟผลการทดสอบก่อนการใช้งานชุดสาธิต

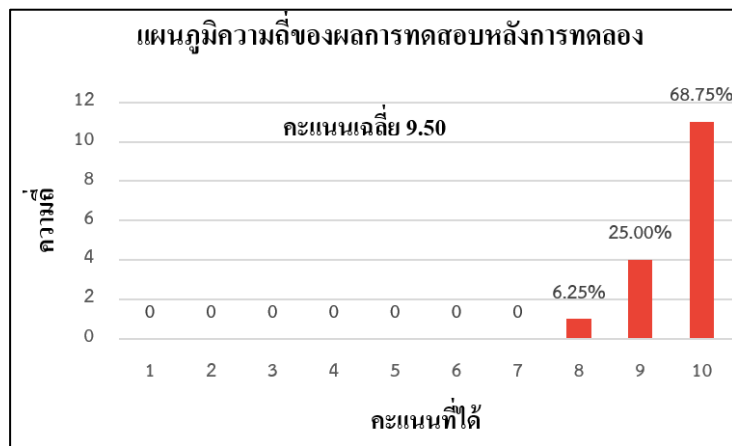
จากรูปที่ 29 ผลคะแนนที่ได้แสดงให้เห็นว่า นนร. ทั้งหมดได้คะแนนต่ำกว่าครึ่งเป็นส่วนใหญ่จากการ ทำแบบทดสอบ ก่อนการใช้ชุดสาธิตดังกล่าวโดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ประมาณ 3.56 คะแนน จากคะแนนเต็ม 10 คะแนน โดยทำการทดสอบก่อน ใช้งานผ่านระบบ Google Form

5.6.2 การทำใบงานประกอบชุดสาธิต

เมื่อทำแบบทดสอบก่อนการใช้งานชุดสาธิตเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการทำการทดลองชุดสาธิตดังกล่าว ผ่านใบงานการทดลองจำนวน 2 ใบงานการทดลอง โดย นนร. จะต้องทดลองตามขั้นตอนที่ได้ระบุไว้และบันทึกผลที่ได้ลงในใบงานประกอบการทดลองจนครบทั้ง 2 ใบงานการทดลอง

5.6.3 การทำแบบทดสอบหลังใช้ชุดสาธิตกับผู้ทำการทดลอง

เมื่อ นนร. ได้ทดลองใช้ชุดสาธิตดังกล่าวเสร็จสิ้นแล้ว ก็จะต้องทำแบบทดสอบหลังการใช้ชุดสาธิตเพื่อที่จะดูผลว่าเมื่อ หลังจากได้ทดลองใช้แล้ว นนร. ได้ความรู้จากการได้ใช้ชุดสาธิตไปมากน้อยเพียงใด โดยคำถามยังคงใช้คำถามเดียวกันกับ แบบทดสอบก่อนการใช้ชุดสาธิตดังกล่าว จำนวน 10 ข้อ โดยมีผลคะแนนของ นนร. แสดงในรูปที่ 30



รูปที่ 30 แสดงกราฟผลการทดสอบหลังการใช้งานชุดสาธิต

จากรูปที่ 30 ผลคะแนนที่ได้สรุปว่า นนร. มีความรู้เข้าใจความเข้าใจเกี่ยวกับชุดสาธิตนี้มากขึ้น สังเกตได้จากผลคะแนน ของแบบทดสอบก่อนและหลังใช้ชุดสาธิต นนร. มีผลคะแนนที่เพิ่มขึ้น โดยมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 9.50 จากคะแนนเต็ม 10 โดยผลจากการทำแบบทดสอบหลังการใช้ชุดสาธิตนี้ ทำการทดสอบหลังใช้งานผ่านระบบ Google Form

6. สรุป

ผู้วิจัยได้ทำการสร้างชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง (FTTx) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้าง สื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียนนาร้อยได้เรียนรู้และมีความเข้าใจในหลักการการส่งสัญญาณแสง ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีที่ เกี่ยวข้องกับการสื่อสารทางแสงโดยการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง มาออกแบบเป็นชุดสาธิตดังกล่าว นี้เพื่อใช้ประกอบในวิชาปฏิบัติการสื่อสาร EE4703 ผ่านใบงานการทดลองทั้ง 4 การทดลอง คือ การศึกษาการเก็บ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ Port P1-P16

โดยผลการทดลองที่การทำงานชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงผ่านเส้นใยนำแสงไปยังปลายทาง โดยใช้เครื่อง OTDR เพื่อการวัดค่าสัญญาณที่ส่งผ่านเส้นใยแก้วนำแสงผ่านชุดสาธิตดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้ว พบว่าการทดลองในการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์สำคัญต่างๆ เช่น ค่าการลดทอนสัญญาณ (Fiber Loss), ค่าการสูญเสียเนื่องจากการเชื่อมต่อ (Connection loss), ระยะทางของเส้นใยแก้วนำแสงรวมถึงสามารถแสดงเหตุการณ์ (Event) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับเส้นใยแก้วนำแสงที่พิจารณา เหล่านั้นได้ การเข้าใจถึงหลักการทำงานของเครื่อง OTDR และการพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ ถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อ

นักเรียนนายร้อย (นร.) ที่จะสำเร็จรับราชการในหน่วยที่มีอุปกรณ์และเทคโนโลยีทางด้านเส้นใยแก้วนำแสง อีกทั้งสามารถใช้งานเครื่อง OTDR ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ พร้อมทั้งวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นจากปัญหาแล้วสามารถวิเคราะห์เพื่อหาหนทางแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตส่งสัญญาณแสงด้วยวิธีผ่านโครงข่ายใยแก้วนำแสง FTTx สำเร็จลงด้วยดีนี้ ขอขอบคุณ บริษัท ภูมิคุ้ม อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการใช้งานวิจัย ทั้งการวิเคราะห์และประมวลผล ขอขอบคุณ โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร ที่สนับสนุนยุทธโธปกรณ์ที่นำมาทดลอง รวมทั้งขอขอบคุณ คณาจารย์จาก กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการต่างๆ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัส สิริฐกุล, การสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง, 1st ed. ประเทศไทย, สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2560
- [2] Pedram Keirkhah Sangdeh, "Overview of Multiplexing Techniques in Wireless Networks" Published on September 2019 from <https://www.intechopen.com/books/multiplexing/overview-of-multiplexing-techniques-in-wireless-networks>
- [3] Shiva Kumar, M.Jamal Deen, "Fiber Optic Communication: Fundamentals and Application" John Wiley and Son, 2014
- [4] R.Sokullu, "Digital Communication Systems", chapter 6, 2012.
- [5] วิทวัส สิริฐกุล จิรจิตต์ เจริญสกุล และ ปรีชา เกิดเจริญ. (2560). ชุดสาธิตการจำลองเหตุการณ์ผิดปกติบนสายใยแก้วนำแสง. การประชุมวิชาการงานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 9
- [6] แผนกการสื่อสารประเภทสาย ส่วนการศึกษา โรงเรียนทหารสื่อสาร กรมการทหารสื่อสาร, 2550
- [7] ชนะ จันทรอิม. (2563). ชุดสาธิตการส่งสัญญาณแสงโดยวิธีการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความยาวคลื่น 850 และ 1,310 นาโนเมตร. เอกสารงานวิจัย กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า.
- [8] ดิสพล ฉ่ำเฉียวกุล. การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการด้านการสื่อสารทางแสงแบบประหยัด. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา; 2557.
- [9] STMicroelectronics. (2001). Datasheet Series 74HC. Retrieved on December 6, 2020, from <https://datasheetz.com>
- [10] ภัทรพงษ์ รักน้อย, ปรีชา ยูพาพิน. (2539). การตรวจวัดระยะไกลทางสิ่งแวดล้อมโดยใช้เส้นใยนำแสง. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ปีที่ 4 เล่มที่ 2. 72-77

การปรับปรุงสายการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

An Improvement of Hard Disk Drive Assembly Line Using Computer Simulation

^{1*}ณัฐภัก พละพันธุ์, ^{2#}พชร วารินสิทธิกุล และ ^{3#}ยุทธณรงค์ จงจันทร

^{1, 2}สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

³สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์

^{1*} Nattapak Palaphan, ^{2#} Pachara Warinsitdhikul and ^{3#} Yuthanarong Jongjun

^{1,2} Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchathani Rajabhat University

³ Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University

*nattapak.p@ubru.ac.th, #pacharawar@gmail.com, #jongjun.2514@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงสายการประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยใช้เทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิต เทคนิคการปรับปรุงงาน และการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษาพบว่า เกิดปัญหาการว่างงานของพนักงานระหว่างกระบวนการในบางสถานีงาน เนื่องจากความไม่สมดุลของสายการผลิต จึงได้ทำการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งหมด 4 แบบจำลอง คือ 1) แบบจำลองก่อนการปรับปรุงที่ใช้ข้อมูลเวลาการทำงานคงที่ 2) แบบจำลองก่อนปรับปรุงที่ใช้ข้อมูลที่มีการกระจายตัวของเวลาการทำงานแบบปกติ เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง 3) แบบจำลองเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง สำหรับกรณีที่ความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสูงสุดเดิม ปรับปรุงโดยการจัดลำดับงานใหม่ของคน และเครื่องจักร และ 4) แบบจำลองเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงสำหรับกรณีความต้องการของลูกค้ายังไม่เกินปริมาณสูงสุดเดิม ปรับปรุงโดยการรวมสถานีเข้าด้วยกัน ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองที่ 3 สามารถลดเวลาการผลิตได้ร้อยละ 16.68 อัตราผลผลิตด้านแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.97 การใช้ประโยชน์เฉลี่ยของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตขึ้นร้อยละ 13.16 ตลอดจนสามารถรองรับปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิมได้อีกร้อยละ 20 และแบบจำลองที่ 4 สามารถลดจำนวนพนักงานได้ 7 คน จาก 24 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานที่จะสามารถลดลงได้ 785,400 บาทต่อปี ซึ่งคิดจากค่าแรงขั้นต่ำต่อวันของบริษัทกรณีศึกษา อัตราผลผลิตด้านแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 43.22 การใช้ประโยชน์เฉลี่ยของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.56 ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 44.29 จากการใช้เทคนิคต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถทำให้สายการผลิตมีความสมดุลมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้อัตราผลผลิตด้านแรงงาน ค่าการใช้ประโยชน์ และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

คำสำคัญ: การเพิ่มผลผลิต, การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์, การจัดสมดุลการผลิต

Received : February 17, 2023

Revised : March 21, 2023

Accepted : June 11, 2023

Abstract

The objective of this research article is to improve the assembly line of hard disk drives using techniques of production line balancing, process improvement, and computer simulation. Through the study and analysis of data from a case study factory, it was found that there were issues of employee idle time during certain process stations due to imbalances in the production line. To address this issue, four computer simulation models were developed, including: 1) a model using data with a constant work time before improvement, 2) a model using data with a normal distribution of work time before improvement, 3) a model for improvement guideline in case of increased customer demand from the previous maximum volume, adjusted by re-sequencing tasks for both workers and machines, and 4) a model for improvement guideline in case of customer demand not exceeding the previous maximum volume, adjusted by combining stations together. The first and second model were used to confirm the accuracy of the model. The study's findings indicate that Model 3 is capable of reducing production time by 16.68%, increasing labor productivity by 19.97%, improving the average utilization rate of machinery by 20%, and enhancing the efficiency of the production line by 13.16%. Additionally, Model 3 can accommodate a 20% increase in production volume from its baseline capacity. Furthermore, Model 4 can reduce the workforce by 7 employees from 24, resulting in a labor cost reduction of THB 785,400 per year, calculated based on the company's minimum wage rate per day in the case study. The application of various techniques, as aforementioned, can further enhance the production line's balance and consequently increase labor productivity, machinery utilization rate, and production line efficiency.

Keywords: Productivity improvement, Computer simulation, Line balancing,

1. บทนำ

การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด19 ทั่วโลกได้ก่อให้เกิดกระแสการทำงานที่บ้านหรือทำงานที่ใดก็ได้ (Work From Home / Work From Anywhere) รวมถึงกระแสการจัดการเรียนการสอนออนไลน์ ทำให้มีความต้องการคอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไปยังหลายตลาดมีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในตลาดจีน สหรัฐอเมริกาและอินเดีย มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 26.81, 19.43 และ 12.54 ตามลำดับ [1] แนวโน้มปีพ.ศ 2565-2567 คาดว่ามูลค่าส่งออก ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของไทยจะเติบโตเฉลี่ยร้อยละ 3.0-4.0 ต่อปี ตามความต้องการของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความจุสูงเพื่อรองรับความต้องการในการใช้งาน Cloud computing และ Data center [2] อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในตลาดโลกมีสภาพการแข่งขันที่สูงขึ้นทั้งภายในและภายนอกประเทศ ผู้ผลิตแต่ละรายต้องพยายามรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดเพื่อการอยู่รอดขององค์กร ราคาของผลิตภัณฑ์ที่ถูกลง และการเพิ่มปริมาณการผลิตเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค ทำให้ส่งผลกระทบต่อบริษัทผู้ผลิตโดยรวมเป็นอย่างยิ่ง ไม่ว่าจะเป็นขอคความต้องการสั่งซื้อที่มากขึ้น ราคาขายที่ลดลง รวมทั้งการ

แข่งขันของผู้ผลิตชิ้นส่วนที่มีหลายบริษัททั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ

ดังนั้นบริษัทต่างๆ ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์จึงจำเป็นต้องตระหนักในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเพื่อศักยภาพการแข่งขัน รวมถึงบริษัทที่ศึกษาในการวิจัยครั้งนี้ ซึ่งเป็นบริษัทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ มีทั้งหมด 12 ผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ A มียอดขายสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 55.22 ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด กระบวนการผลิตของบริษัทที่ศึกษาเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Auto) คือ มีการใช้ทั้งเครื่องจักรร่วมกับแรงงานคน ในเบื้องต้นจากการสังเกตสายการผลิตพบว่า เกิดภาวะการรอคอยงานของบางสถานีการผลิต ทำให้เกิดเวลาสูญเปล่า และสะท้อนถึงการใช้ทรัพยากรการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ รวมทั้งเกิดภาวะการกระจุกตัวของงานในบางกระบวนการ ทำให้เกิดการะงับที่มากเกินไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการนั้นๆ ทั้งนี้เนื่องจากความไม่สมดุลของสายการผลิตนั่นเอง ดังนั้น ในการศึกษาจึงเป็นการหาแนวทางการปรับปรุงสายการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดการสูญเสียของการผลิต ด้วยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ในการประเมินประสิทธิภาพที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้ได้มีการกำหนดจำนวนผลิตต่อวันเป็น 3 กรณี คือ จำนวนการผลิตร้อยละ 100 110 และ 120 ตามลำดับ เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาและเลือกแนวทางที่เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนสายการผลิตได้ง่าย โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับเปลี่ยนสายการผลิตจริง ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลา และต้นทุนดำเนินงานที่สูง สายการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นสามารถช่วยให้ทางบริษัทเพิ่มอัตราผลผลิต (Productivity) และเป็นการลดต้นทุนของการผลิตได้

2. ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงสายการผลิตผลิตภัณฑ์ A โดยการศึกษางานเทคนิคการปรับปรุงงานเพื่อการเพิ่มผลผลิต และการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยมุ่งเน้นการวางแผนการลดใช้ทรัพยากรการผลิต เช่น การใช้แรงงาน เป็นต้น เพื่อลดการสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรที่ไม่มีประสิทธิภาพและเพิ่มอัตราผลผลิต โดยกำหนดขอบเขตงานวิจัยไว้ดังนี้

2.1 ศึกษาและสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ประเภท A ตั้งแต่ขั้นตอนการติดป้าย DCM (DCM Attachment) จนถึงกระบวนการตรวจสอบลักษณะภายนอก (Visual Inspection) โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการจากการสังเกตและจับเวลาในกระบวนการผลิตจริง แล้วนำมาจัดทำเป็นเวลามาตรฐาน (Standard Time) เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์ ด้วยโปรแกรม Pro-Model

2.2 กำหนดให้คน และเครื่องจักรประเภทเดียวกัน มีความสามารถในการผลิตเหมือนกัน

2.3 การประเมินผลที่ได้จากการปรับปรุง จะวัดผลจากค่าต่างๆ ดังนี้ อัตราผลผลิต (Productivity), ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากร (Utilization), ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของสายการผลิต

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 อัตราผลผลิตและการเพิ่มผลผลิต

อัตราผลผลิตหรือผลิตภาพ (Productivity) คือ อัตราส่วนของหน่วยผลผลิตต่อหน่วยกำลัง หรือ วัสดุที่เข้าสู่กระบวนการผลิต หรือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณหน่วยที่ผลิตได้ต่อหน่วยของทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตนั้นๆ ทรัพยากรที่ใช้รวมถึงที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง วัตถุดิบ เครื่องจักร เครื่องมือ และแรงงาน

$$\text{อัตราผลผลิต (Productivity)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นที่ผลิตได้ต่อวัน}}{(\text{เวลาในการผลิตต่อวัน}) \times (\text{จำนวนพนักงาน})} \quad (1)$$

ในปัจจุบันมีการแบ่งประเภทอัตราผลผลิตเป็น 3 ประเภท ดังนี้ [3]

1. อัตราผลผลิตย่อย (Partial Productivity) เป็นอัตราส่วนของผลผลิตต่อทรัพยากรที่ใช้ในแต่ละชนิด
2. อัตราผลผลิตรวม (Total Productivity) เป็นอัตราส่วนของ ผลผลิตทั้งหมดต่อผลรวมของทรัพยากรที่ใช้ทั้งหมด ดังนั้น อัตราผลผลิตรวมจึงแสดงผลกระทบร่วมของทรัพยากรทั้งหมด
3. อัตราผลผลิตมูลค่าเพิ่ม (Value Added Productivity) อัตราผลผลิตมูลค่าเพิ่ม เป็นอัตราส่วนของผลผลิตสุทธิต่อผลรวมของทรัพยากร (ตัวส่วนของอัตราส่วน ประกอบไปด้วยปัจจัยแรงงานและทุน) ผลผลิตสุทธิ หมายถึง ผลผลิตรวมที่หักสินค้าและบริการระหว่างกระบวนการซื้อออก

3.2 การจัดสมดุลสายการผลิต

การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) คือ การจัดงานให้กับสถานีงานต่างๆ ในโรงงานที่มีการผลิตต่อเนื่องกันไปตลอดสายการผลิต โดยพยายามให้อัตราการทำงาน และเวลาที่ใช้ในแต่ละสถานีงานเท่ากัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้จำนวนสถานีงานที่จำเป็นในสายการผลิตน้อยที่สุด หรือมีประสิทธิภาพของสายการผลิตสูงสุด ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด และทำให้สายการผลิตมีอัตราผลิตสอดคล้องกับความต้องการ [4]

คำจำกัดความที่ใช้สำหรับการจัดสมดุลการผลิต

1. เส้นโซ่ลำดับก่อนหน้า คือ เส้นโซ่ทางกายภาพที่กำหนดลำดับดำเนินงานของสายการประกอบ ในการจัดสมดุลสายการผลิต เส้นโซ่ลำดับก่อนหน้าจะถูกแสดงด้วยแผนผังโดยจะเป็นแผนผังโครงข่ายที่เรียกว่าผังแสดงลำดับขั้นตอน โดยงานแต่ละงานจะแทนด้วยวงกลมหรือเรียกว่าจุดเชื่อม (Node) และลำดับก่อนหน้าจะแสดงด้วยลูกศรที่เชื่อมระหว่างจุดเชื่อม

2. รอบเวลาการผลิต คือ เวลามากที่สุดที่สินค้าจะใช้ในแต่ละสถานีงาน รอบเวลาการผลิตที่กำหนด (Desired Cycle Time : C_d) คำนวณได้จากการหารเวลาสำหรับการผลิตด้วยจำนวนหน่วยที่วางแผนไว้ว่าจะทำการผลิต

$$C_d = \frac{\text{เวลาสำหรับการผลิต}}{\text{จำนวนผลผลิตที่ต้องการ}} \quad (2)$$

3. รอบเวลาการผลิตจริง (Actual Cycle Time: C_a) คือ เวลามากที่สุดในสายการผลิตที่ชิ้นงานแต่ละชิ้นจะทำการผลิตออกมา

$$C_a \geq \max_{k=1, \dots, k} \sum_{i=1}^{S_k} t_i \quad (3)$$

เมื่อ S_k คือ จำนวนงานย่อยในสถานีงาน k ทั้งหมด โดยที่ $k = 1, 2, \dots, S_k$

t_i คือ เวลาของงานย่อย i

4. การประเมินประสิทธิภาพ (Efficiency: E) ของสายการผลิต

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{nC_a} \quad (4)$$

เมื่อ t_i คือ เวลาของงานย่อย i n คือ จำนวนสถานีงาน

i คือ จำนวนงานย่อยทั้งหมด

C_d คือ รอบเวลาจริง

5. การหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด (N)

$$N = \frac{\sum_{i=1}^i t_i}{C_d} \quad (5)$$

เมื่อ t_i คือ เวลาของงานย่อย i

C_d คือ รอบเวลาที่กำหนด

i คือ จำนวนงานย่อยทั้งหมด

6. การสูญเสียความสมดุล (Balance Delay: d)

$$d = 1 - E \quad (6)$$

เมื่อ E คือ ประสิทธิภาพของสายการผลิต

3.3 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และ การทำให้ง่าย (Simplify) เพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต [5] มีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยหลักการ ECRS ซึ่งเป็นการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่ม วิเคราะห์ความสมดุลของกระบวนการ จัดทำแผนการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา กำหนดเวลามาตรฐานและพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานใหม่ ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพหลังการปรับปรุงขึ้นได้ [6] มีการนำเสนอแนวทางการจัดสมดุลสายการผลิต โครงอูมเนียม โดยนำหลักการ ECRS มาใช้ พบว่าจำนวนสถานีงานลดลง 2 สถานีงาน ประสิทธิภาพสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 37.93 [7]

3.4 แผนภูมิคน - เครื่องจักร

แผนภูมิคน - เครื่องจักร (Man-Machine Charts) เป็นแผนภูมิแสดงการทำงานของคนร่วมกับเครื่องจักร ซึ่งอาจมีตั้งแต่หนึ่งคนกับหนึ่งเครื่องขึ้นไป จุดมุ่งหมายเพื่อดูสัดส่วนการเสียเวลาคอยของคน หรือของเครื่องจักร หรือเพื่อศึกษาว่าควรต้องมีการลด หรือเพิ่มจำนวนคนในการทำงานหรือไม่ [8] การคำนวณหาร้อยละการทำงานของคนงานและเครื่อง ดังสมการที่ 7

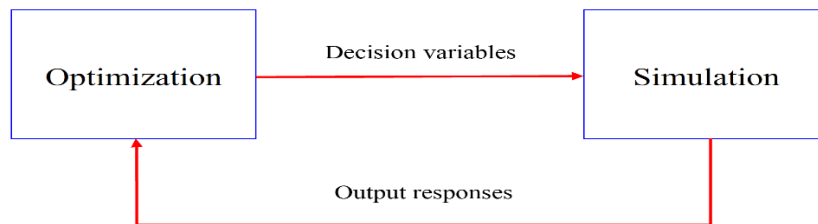
$$\text{ร้อยละการทำงาน} = \frac{\text{เวลาที่มีการทำงาน}}{\text{รอบเวลาในการทำงาน}} \times 100 \quad (7)$$

3.5 การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

การจำลองสถานการณ์ คือ กระบวนการออกแบบตัวแบบจำลอง (Model) ของระบบการทำงานจริง (Real System) ดำเนินการโดยใช้ตัวแบบจำลอง เพื่อเรียนรู้รูปแบบการทำงานของระบบหรือเพื่อประเมินหาแนวทางการใช้กลยุทธ์ (Strategy) ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนด การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการทำการศึกษาและวิเคราะห์หาผลลัพธ์ เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในคันต่างๆ ซึ่งมีระบบหรือขั้นตอนการทำงานที่มีความยุ่งยากซับซ้อน [9] โดยรวบรวมวิธีการต่างๆ ที่ใช้จำลองสถานการณ์จริงหรือพฤติกรรมของระบบมาไว้บนคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่างๆ โดยมีการเก็บข้อมูล ทำการวิเคราะห์ และการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองเพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด [10] ในปัจจุบันการจำลองสถานการณ์

เป็นที่นิยมอย่างมาก เนื่องจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้การจำลองสถานการณ์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับหลายอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต การขนส่ง การกระจายสินค้าหรือแม้กระทั่งธุรกิจบริการต่างๆ เช่น ธนาคาร โรงพยาบาล เป็นต้น [11]

การจำลองสถานการณ์ของระบบถูกสร้างขึ้นด้วยหลายเหตุผล เช่น เพื่อให้เข้าใจระบบดีขึ้นหรือต้องการคาดการณ์ผลลัพธ์ของระบบหรือเพื่อเปรียบเทียบระบบหนึ่งกับอีกระบบหนึ่ง การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นการค้นหาจากปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด [12] ความสัมพันธ์ระหว่างการจำลองสถานการณ์และการหาคำตอบที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างการจำลองสถานการณ์และการหาคำตอบที่ดีที่สุด [13]

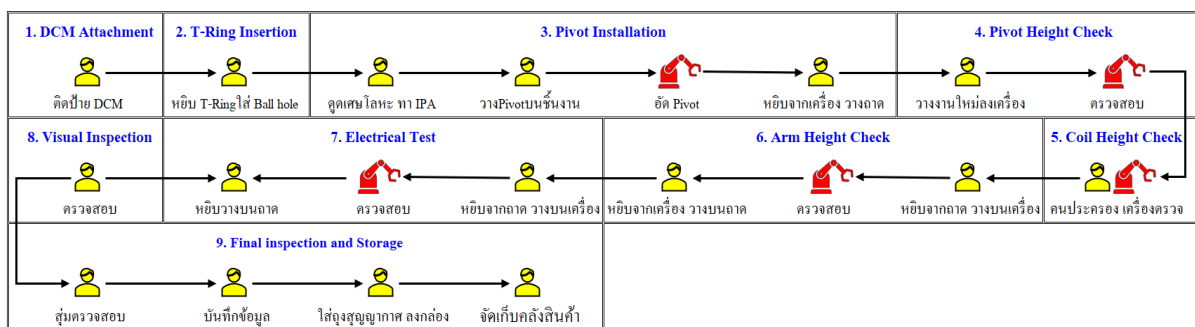
4. การดำเนินการวิจัย

4.1 ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ประเภท A มีดังนี้

1. FCOF (Flip Chip On Flex)
2. Hook Up หรือ AFA (Actuator Arm Flex Assembly)
3. APFA (Actuator Arm Pivot Flex Assembly)

จากข้อมูลของการผลิตในปัจจุบันพบว่า ขั้นตอนการผลิต APFA เป็นจุดวิกฤติ มีอัตราผลผลิต (Productivity) ต่ำที่สุด และสามารถแสดงแผนภาพของกระบวนการผลิตของแผนกการผลิต APFA ทั้งหมดจะแสดงได้ดัง รูปที่ 2 และขอบเขตในการศึกษานี้จะครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอน การติดป้าย DCM (DCM Attachment) จนถึงกระบวนการตรวจสอบลักษณะภายนอก (Visual Inspection) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้วิจัยสังเกตพบปัญหาความไม่สมดุลของสายการผลิตได้อย่างเด่นชัด

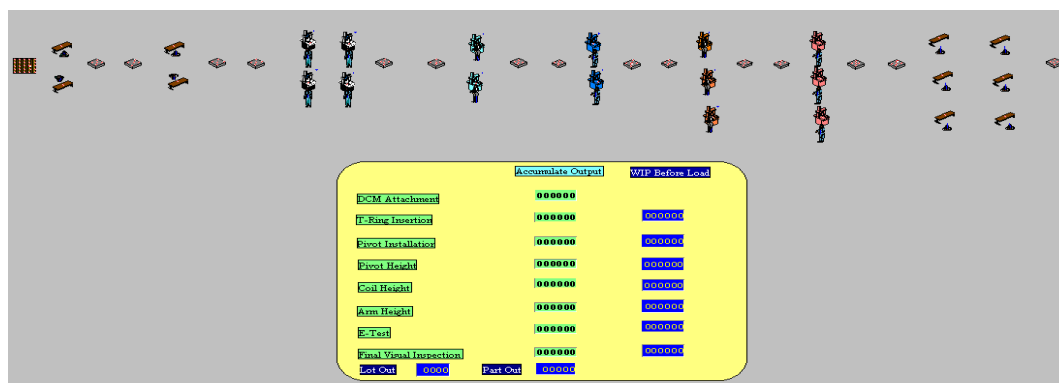


รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการไหลของกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ A

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ A ในกระบวนการหลัก APFA มี 9 สถานี พบปัญหาความไม่สมดุลของสายการผลิตที่เด่นชัดเริ่มตั้งแต่การติดป้าย DCM (DCM Attachment) ในสถานีที่ 1 จนถึงกระบวนการตรวจสอบลักษณะภายนอก (Visual Inspection) ในสถานีที่ 8 รายละเอียดแสดงได้ดังตารางที่ 1 และมีการวางสายการผลิตดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 รายละเอียดจำนวนพนักงาน และจำนวนเครื่องจักรในแต่ละสถานีงาน

สถานีงาน	จำนวนพนักงาน	จำนวนเครื่องจักร	เวลามาตรฐาน/ชิ้น/คน(วินาที)	เวลามาตรฐาน/ล็อต/คน(วินาที)	เวลามาตรฐานสะสม/คน(วินาที)
1. DCM Attachment	2	0	1.15	115.30	115.30
2. T-Ring Insertion	2	0	3.51	351.30	466.61
3. Pivot Installation	4	4	4.90	490.38	956.98
4. Pivot Height Check	2	2	2.26	226.34	1183.32
5. Coil Height Check	2	2	2.31	230.79	1414.11
6. Arm Height Check	3	3	3.00	299.82	1713.93
7. Electrical Test	3	3	3.96	395.76	2109.69
8. Visual Inspection	6	0	4.18	417.62	2527.31

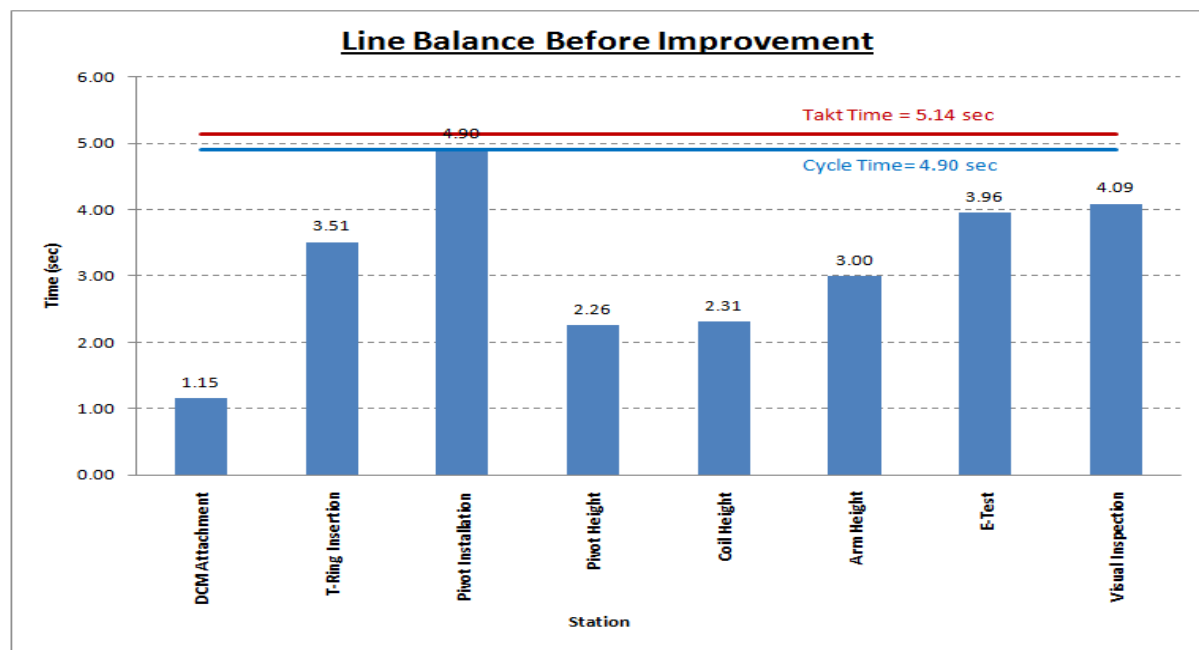


รูปที่ 3 แบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์กระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ A

การประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสค์ไครฟ์ของผลิตภัณฑ์ประเภท A จากข้อมูลเวลามาตรฐานจาก ตารางที่ 1 สามารถสร้างเป็นกราฟการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) (ต่อจำนวนสถานีงาน) ในปัจจุบันก่อนการปรับปรุงดังรูปที่ 3 โดยเวลาของสถานีงาน ที่ใช้เวลามากที่สุด (Cycle Time) คือ เวลาของสถานีงานที่ 3 ซึ่งเท่ากับ 4.90 วินาที และ Utilization ของพนักงานเท่ากับร้อยละ 44.84 และ Utilization ของเครื่องจักรเท่ากับร้อยละ 38.70 ดังตารางที่ 2 ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในปัจจุบัน และรูปที่ 4 กราฟการจัดสมดุลสายการผลิตในปัจจุบันก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 2 ค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรในปัจจุบัน

ขั้นตอนการทำงานหลัก	เวลามาตรฐานในการทำงาน (วินาที/ชิ้น/สถานีงาน)		%Utilization	
	พนักงาน	เครื่องจักร	พนักงาน	เครื่องจักร
1. DCM Attachment	1.15	-	23.51%	-
2. T-Ring Insertion	3.51	-	71.64%	-
3. Pivot Installation	2.78	2.13	56.67%	43.33%
4. Pivot Height	1.06	1.2	21.68%	24.47%
5. Coil Height	2.31	-	47.06%	-
6. Arm Height	1.26	1.73	25.79%	35.35%
7. E-Test	1.42	2.53	29.04%	51.66%
8. Visual Inspection	4.09	-	83.34%	-
% Average Utilization			44.84%	38.70%



รูปที่ 4 กราฟการจัดสมดุลสายการผลิตในปัจจุบันก่อนการปรับปรุง

ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency, E) ของสายการผลิต ก่อนการปรับปรุงเท่ากับร้อยละ 64.19 แสดงให้เห็นถึงเวลาว่างงานที่เกิดขึ้น ซึ่งเรียกว่าการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) คำนวณได้จาก $(1-E)$ มีค่าเท่ากับร้อยละ 35.81 จากการวิเคราะห์

สายการผลิตในปัจจุบันก่อนปรับปรุงทำงานผู้วิจัยพบว่าจากอัตราผลผลิตต่อชั่วโมงต่อคนที่มีค่าค่อนข้างน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะความซับซ้อนของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง รวมถึงค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรประเภทพนักงานและเครื่องจักรที่ค่อนข้างน้อยด้วยเช่นกัน

4.2 การวิเคราะห์สายการผลิตเพื่อการปรับปรุง

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าสถานีงานที่ 3 Pivot Installation เป็นสถานีงานที่ใช้เวลาต่อจำนวนพนักงานสูงที่สุด ซึ่งเป็นสถานีที่กำหนด Cycle Time ของการทำงาน และจากการสังเกตพบว่า กิจกรรมในสถานีงานนี้เป็นการทำงานของพนักงานร่วมกับเครื่องจักร และสามารถแสดงแผนภูมิคน และเครื่องจักรดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์สายการผลิตก่อนการปรับปรุง

เวลารวม(วินาที)	คน	เวลา (วินาที)	เครื่องจักรอัด Pivot	เวลา (วินาที)
19.62	พนักงานหยิบชิ้นงานจากถาดแล้วทำการดูเศษโลหะออกจากชิ้นงานและทำน้ำยา IPA ในบริเวณ T-Ring	5.73	ว่างงาน	9.82
	พนักงานนำชิ้นงานวางบนเครื่องจักรและนำ Pivot วางบนชิ้นงานและทำการกดปุ่มเดินเครื่องจักร	4.09		
	ว่างงาน	8.5	เครื่องจักรทำงาน	8.5
	พนักงานหยิบงานออกจากเครื่องจักร แล้ววางในถาด	1.29	ว่างงาน	1.29
สรุป				
รายละเอียด	การปฏิบัติงานของคน	การปฏิบัติงานของเครื่องจักร		
เวลาปฏิบัติงาน	11.12	8.5		
เวลาว่างงาน	8.5	11.12		
เวลาครบรอบการปฏิบัติงาน	19.62	19.62		
% การปฏิบัติงาน	56.67%	43.33%		

การปรับปรุงแบบที่ 1 ใช้หลักการ ECRS ในส่วนของการรวมขั้นตอนการทำงานบางส่วนเข้าด้วยกัน (Combine) เราสามารถรวมกิจกรรมในช่วงของพนักงานหยิบชิ้นงานจากถาดแล้วทำการดูเศษโลหะออกจากชิ้นงาน และทำน้ำยา IPA ในบริเวณ T-Ring เข้ากับช่วงเครื่องจักรทำการอัด Pivot เราก็สามารถลดเวลาได้

การปรับปรุงแบบที่ 2 ใช้วิธีการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ซึ่งจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดที่ได้จากการคำนวณมีค่าน้อยกว่าจำนวนสถานีงานปัจจุบัน จึงควรปรับลดจำนวนสถานีงานลงเหลือเพียง 6 สถานี แต่เนื่องจากสถานีงานที่ 3 (Pivot Installation) ถึงสถานีงานที่ 7 (E-Test) เป็นกระบวนการที่ทำงานร่วมกับเครื่องจักรเป็นหลักจึงไม่สามารถลดจำนวนสถานีงานได้ จึงได้ทำการรวมสถานีงานที่ 1 (DCM Attachment) เข้ากับสถานีงานที่ 2 (T-Ring Insertion) ตามหลักการการรวมขั้นตอนการทำงานบางส่วนเข้าด้วยกัน (Combine) ของหลักการ ECRS ดังนั้น สถานีงานที่ 1 จึงเป็น DCM Attachment และ T-Ring Insertion และมีเวลามาตรฐานเป็น 9.33 วินาที และจำนวนสถานีงานเหลือ 7 สถานีงาน

4.3 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

4.3.1 เงื่อนไขการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์

เนื่องจากต้องการให้การจำลองสถานการณ์ให้ผลที่ชัดเจน และสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้ง่ายขึ้น จึงมีการกำหนดเงื่อนไขต่างๆให้เป็นสภาวะเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในสายการผลิตจริงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองกับค่าที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานจริงโดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กำหนดให้พนักงาน และเครื่องจักรประเภทเดียวกัน มีความสามารถในการผลิตเหมือนกัน

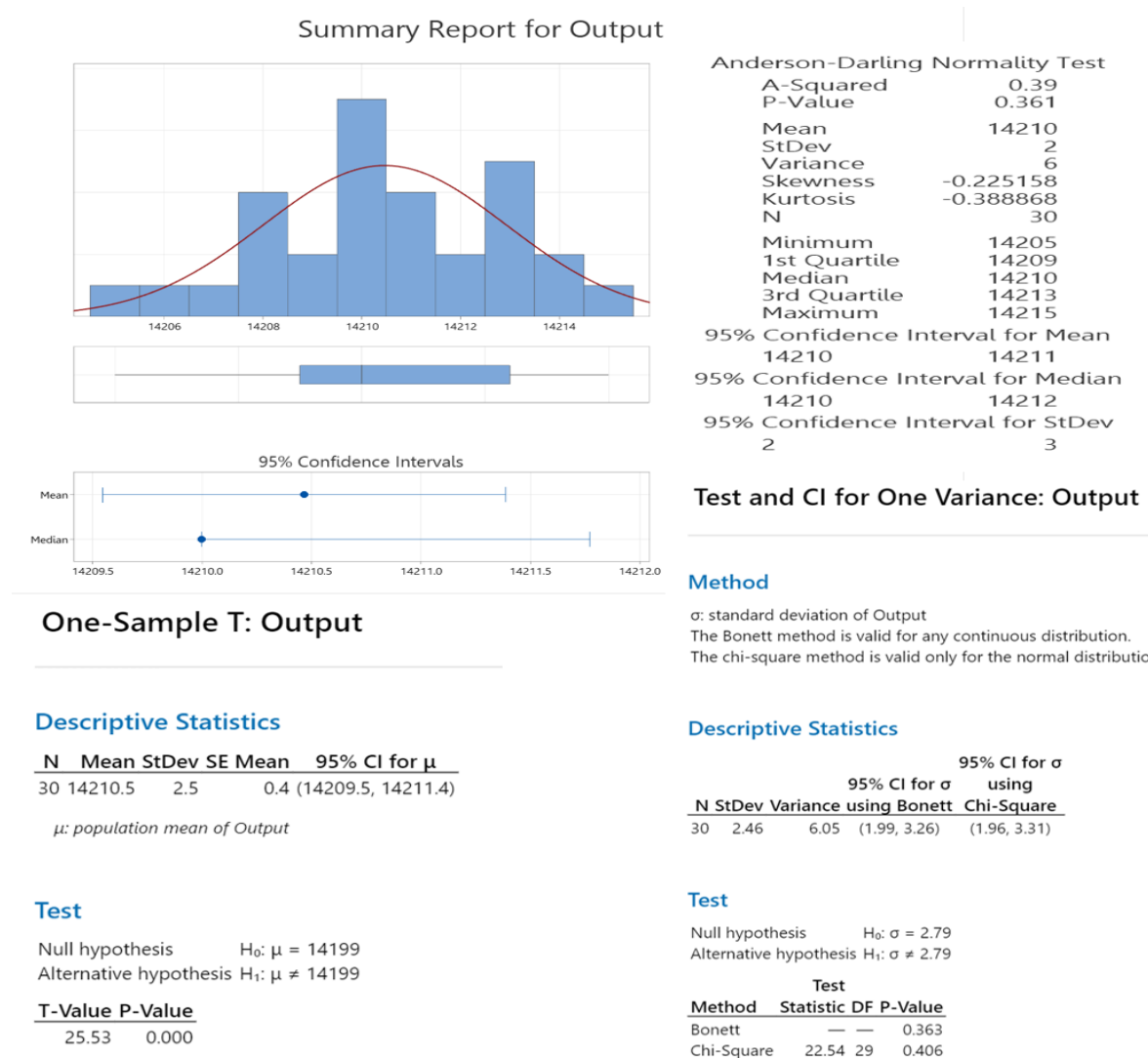
2. กำหนดให้พนักงานทุกคนเริ่มปฏิบัติงานพร้อมกันโดยในสายการประกอบมีการเตรียมการผลิตบางส่วนไว้ล่วงหน้าแล้ว คือการจัดเตรียมวัตถุดิบ และบรรจุภัณฑ์
3. เวลา 1 รอบการผลิต คือ 1 วัน หรือชั่วโมงการปฏิบัติงาน 20 ชั่วโมง (2 กะ กะละ 10 ชั่วโมง)
4. ไม่พบงานเสียระหว่างกระบวนการผลิต
5. % Yield ของแต่ละสายการผลิตเท่ากับ 100%
6. ระยะห่างระหว่างเครื่องจักรหรือสถานีงานมีน้อยมากซึ่งพนักงานสามารถเอื้อมหรือหันตัวเพื่อปฏิบัติงานได้ ดังนั้น จึงไม่น่ามาคิดคำนวณด้วย

4.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Verification)

การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมโดยกำหนดให้มีเวลาการผลิตที่ต่างกัน 20 ลักษณะ แล้วพิจารณาชิ้นงานที่ผลิตสำเร็จ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม และค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งอ้างอิงจากการปฏิบัติงานจริงนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดที่ร้อยละ 1.29 แสดงว่าโปรแกรมมีความถูกต้องจึงสามารถนำผลที่ได้จากการทำงานของโปรแกรมนี้อำนาจไปใช้งานต่อไปได้

4.3.3 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Model Validation)

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้น เพื่อแสดงถึงความ น่าเชื่อถือ และความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ใกล้เคียงกับสายการผลิตจริงเพียงใดซึ่งในที่นี้ใช้การตรวจสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยให้โปรแกรมทำงานทั้งหมด 30 รอบ กับค่าเฉลี่ยของชิ้นงานจากการผลิตจริงที่เวลา 20 ชั่วโมง เท่ากับ 14,199 ชิ้น และค่าความเบี่ยงเบนเท่ากับ 2.79 ชิ้น จากการทดสอบสมมติฐานด้วย One Sample T-Test และ Chi-Square Test ได้ผลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานด้วย One Sample T-Test และ Chi-Square Test

P-value = 0.00 ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ แสดงว่าผลของการจำลองสถานการณ์ด้วยแบบจำลองไม่มีความแตกต่างจากข้อมูลของสายการผลิตจริง

4.3.4 ผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ก่อนการปรับปรุง

โดยแบบจำลองสถานการณ์สายการผลิตก่อนการปรับปรุง แบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้

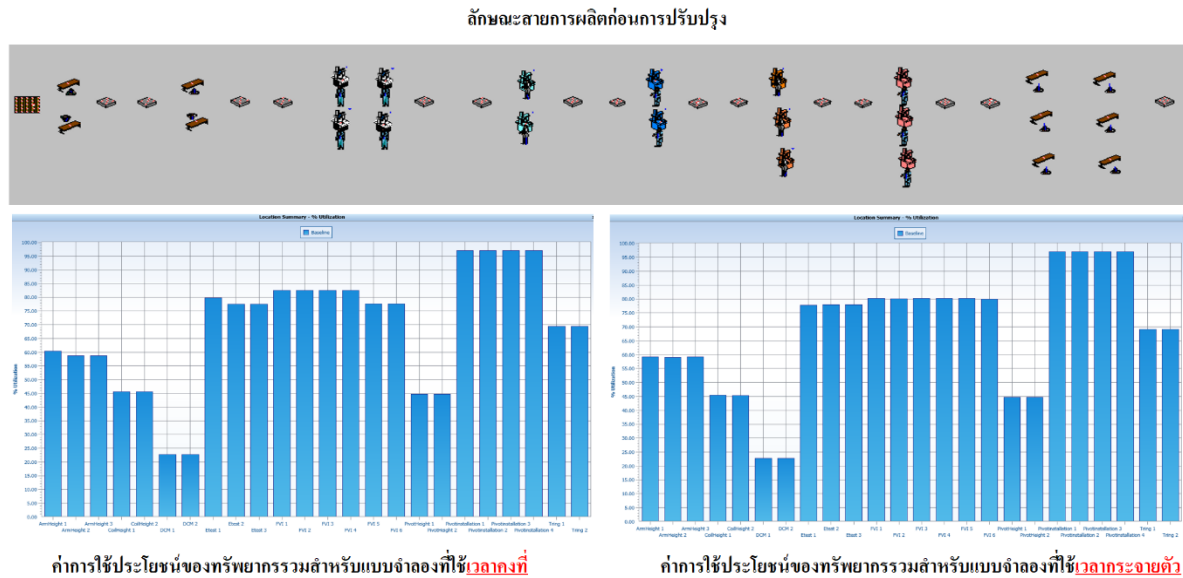
4.3.4.1 แบบจำลองที่ 1 สายการผลิตก่อนการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลคงที่

ถ้ากำหนดให้แบบจำลองผลิตชิ้นงานจำนวน 14,000 ชิ้น ซึ่งมาจากการพยากรณ์ความต้องการสูงสุดต่อวันของลูกค้า จะใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 19.64 ชั่วโมง หรือ 1178.38 นาที จะมีอัตราผลิต (Productivity) เป็น 30 ชิ้น / ชั่วโมง / คน ค่าเฉลี่ยของร้อยละ Utilization ของพนักงานเท่ากับ ร้อยละ 49.95 และ Total Utilization เท่ากับร้อยละ 73.41 ประสิทธิภาพ (Efficiency, E) ของสายการผลิตเท่ากับร้อยละ 64.19

4.3.4.2 แบบจำลองที่ 2 สายการผลิตก่อนการปรับปรุงแบบจำลองที่ใช้ข้อมูลการกระจายตัว

ถ้ากำหนดให้แบบจำลองที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลที่มีการกระจายของข้อมูลการทำงาน จำลองผลิตชิ้นงานจำนวน 14,000 ชิ้น จะใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 19.72 ชั่วโมง หรือ 1183.42 นาที ผลการจำลองสถานการณ์แบบที่ 2 ได้ อัตราผลิต (Productivity) เป็น 30 ชิ้น / ชั่วโมง / คน ค่า Utilization ของพนักงานเท่ากับร้อยละ 49.72 และ Total Utilization

เท่ากับร้อยละ 73.09 ประสิทธิภาพ (Efficiency, E) ของสายการผลิตเท่ากับร้อยละ 64.19 เมื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองกับแบบจำลองที่ 1 ซึ่งใช้ข้อมูลค่าคงที่ มีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะสายการผลิตก่อนปรับปรุงและค่าการใช้ประโยชน์ของทรัพยากรแบบที่ 1 และแบบที่ 2

4.3.5 การปรับปรุงสายการผลิตโดยอาศัยแบบจำลองสถานการณ์

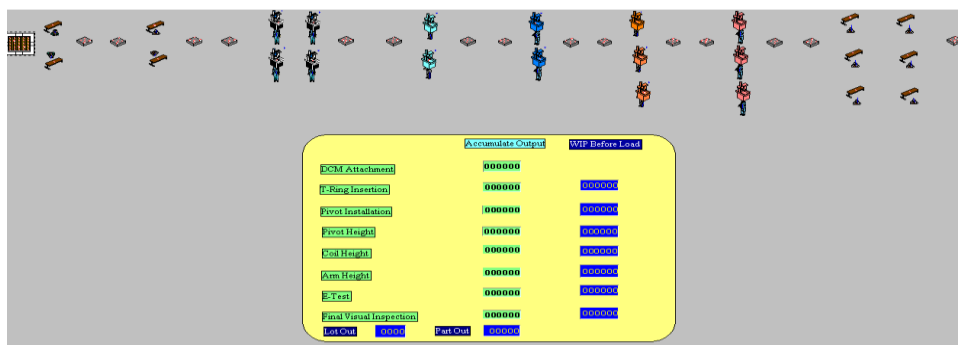
จากการวิเคราะห์ปัญหาของสายการผลิตในปัจจุบัน พบว่า อัตราการใช้ประโยชน์ พนักงานมีค่าค่อนข้างต่ำ และเกิดการดำเนินงานที่ไม่สมดุลกัน ประสิทธิภาพโดยรวมต่ำ ดังนั้นจึงนำเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตและเทคนิคการปรับปรุงงานมาทำการสร้างแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้ว ดังนี้

4.3.5.1 แบบจำลองที่ 3

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าสถานีงานที่ 3 Pivot Installation เป็นสถานีงานที่ใช้เวลาต่อจำนวนพนักงานสูงที่สุด ซึ่งเป็นสถานีที่กำหนด Cycle Time ของการทำงาน และเป็นการทำงานของพนักงานร่วมกับเครื่องจักร ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงทำการปรับขั้นตอนการทำงานในสถานีงานที่ 3 Pivot Installation เพื่อลดเวลาว่างของทั้งพนักงาน และเครื่องจักรโดยใช้หลักการ ECRS และได้แบ่งจำนวนการผลิตต่อวันออกเป็น 3 ระดับคือ จำนวนผลิตต่อวัน 14,000 ชิ้น (การผลิตร้อยละ 100) 15,400 ชิ้น (การผลิตร้อยละ 110) และ 16,800 ชิ้น (การผลิตร้อยละ 120) ตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดจำนวนพนักงาน และจำนวนเครื่องจักรในแต่ละสถานีงาน

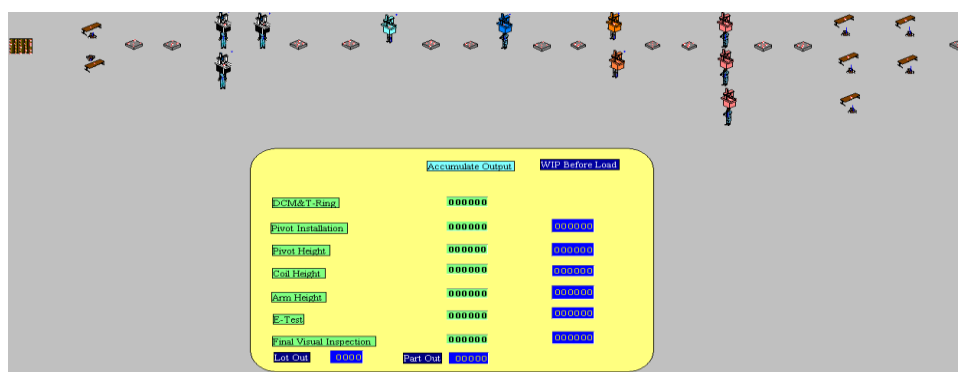
ปริมาณผลิต (ชิ้น)	จำนวนพนักงาน (คน)	เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง)	Labor Productivity (ชิ้น/ชม./คน)	% Labor Utilization เฉลี่ย	% Total Utilization เฉลี่ย	%Efficiency
14,000	24	16.39	35.58	52.96	81.08	72.64
15,400	24	17.98	35.69	53.13	81.33	
16,800	24	19.58	35.75	53.24	81.48	



รูปที่ 7 ลักษณะของสายการผลิตหลังปรับปรุง แบบจำลองที่ 3

4.3.5.2 แบบจำลองที่ 4

แบบจำลองนี้ทำการปรับลดสถานงาน และจำนวนพนักงานต่อสถานงานตามวิธี วิธีการหาจำนวนสถานงานที่น้อยที่สุด จากพนักงานจำนวน 24 คน เหลือ 17 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานที่จะสามารถลดลงได้ 785,400 บาทต่อปี คำนวณจาก 7 (จำนวนคนที่ลดลง) x 300 (วันทำงานต่อปี) x 374 (ค่าแรงขั้นต่ำต่อวัน) ของบริษัทกรณีศึกษา



รูปที่ 8 ลักษณะของสายการผลิตหลังปรับปรุง แบบจำลองที่ 4

กำหนดให้แบบจำลองผลิตชิ้นงาน 14,000 ชิ้น ต่อวัน จะใช้เวลาการผลิต 19.76 ชั่วโมง หรือ 1185.62 นาที สามารถแบ่งตามหัวข้อการวัดผลได้ดังนี้

ตารางที่ 5 รายละเอียดจำนวนพนักงาน และจำนวนเครื่องจักรในแต่ละสถานงาน

การวัดผล	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	Gain (%)
ผลผลิต	14000	14000	-
จำนวนพนักงานที่ใช้ในสายการผลิต (คน)	24	17	29.17%
เวลาที่ใช้ในการผลิต (ชั่วโมง)	19.72	19.76	-0.19%
Productivity (ชิ้น / ชั่วโมง / คน)	29.58	41.68	40.91%
%Utilization รวมเฉลี่ย	73.09%	89.30%	22.18%
%Utilization ของพนักงานเฉลี่ย	49.72%	64.37%	29.45%

%Efficiency ของสายการผลิต	64.19%	92.62%	44.29%
WIP เหลือ	770.88	93.88	87.82%

5. ผลการวิจัย

การสร้างแบบจำลองนั้น สามารถแบ่งออกเป็นได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงของการสร้าง แบบจำลองสายการผลิตในปัจจุบันก่อนการปรับปรุง 2 แบบจำลอง คือ แบบจำลองที่ 1 ใช้ค่าเวลาเฉลี่ยคงที่ (ค่าเวลามาตรฐาน) และแบบจำลองที่ 2 ใช้ค่าเวลาที่เป็นค่าการกระจายที่มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบบจำลองที่ 1 และ 2 มีค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกันแตกต่างกันเพียงลักษณะของข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ย และข้อมูลที่มีการกระจาย และช่วงของการสร้างแบบจำลองสายการผลิตที่ปรับปรุงแล้ว ซึ่งแบ่งตามเงื่อนไขของปริมาณชิ้นงานที่ต้องการตามปริมาณคำสั่งซื้อ 3 ลักษณะ แบ่งเป็นปริมาณคำสั่งซื้อเดิม และปริมาณคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และ 20 ตามลำดับ คือ ที่ระดับ 14,000, 15,400 และ 16,800 ชิ้น โดย มีแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้ว คือ แบบจำลองที่ 3 แบบจำลองนี้ทำการปรับขั้นตอนการทำงานในสถานีงานที่ 3 Pivot Installation โดยปรับขั้นตอนการทำงานเพื่อลดเวลาว่างของทั้งพนักงาน และเครื่องจักร และแบบจำลองที่ 4 แบบจำลองนี้ทำการปรับลดสถานีงาน และจำนวนพนักงานต่อสถานีงานตามวิธีการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถปรับลดจำนวนพนักงานลงจากพนักงานจำนวน 24 คน เหลือ 17 คน หลังจากสร้างแบบจำลองสายการผลิตในปัจจุบันก่อนการปรับปรุงแล้ว พบว่า แนวโน้มปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น เป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นใน 4.1 และ 4.2 ดังนั้นจึงนำแนวทางการปรับปรุงงานมาใช้ในการสร้างแบบจำลองหลังการปรับปรุง เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพที่จะเกิดขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงแบบจำลอง

กรณี	ปริมาณ ผลิต (ชิ้น)	ประเภท แบบจำลอง	จำนวน พนักงาน (คน)	เวลาที่ใช้ ในการผลิต (ชั่วโมง)	Labor Productivity (ชิ้น/ช.ม./คน)	%Labor Utilization เฉลี่ย	%Total Utilization เฉลี่ย	%Efficiency
ก่อนการ ปรับปรุง	14,000	2	24	19.72	29.59	49.72	73.09	64.19
หลังการ ปรับปรุง	14,000	3	24	16.39	35.58	52.96	81.08	72.64
	15,400	3	24	17.98	35.69	53.13	81.33	
	16,800	3	24	19.58	35.75	53.24	81.48	
	14,000	4	17	19.76	41.68	64.37	89.3	92.62

6. สรุป

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า แนวทางการปรับปรุงสายการผลิตผลิตภัณฑ์ A ที่เหมาะสมมี 2 แนวทาง ดังนี้ แนวทางที่ 1 สำหรับกรณีที่มีความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นจากปริมาณสูงสุดเดิม ปรับปรุงโดยการจัดลำดับงานใหม่ของคน และเครื่องจักร ซึ่งสามารถลดเวลาการผลิตได้ร้อยละ 16.68 อัตราผลผลิตด้านแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 19.97 การใช้ประโยชน์เฉลี่ยของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตขึ้นร้อยละ 13.16 ตลอดจนสามารถรองรับปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิมได้อีกร้อยละ 20 แนวทางที่ 2 สำหรับกรณีที่มีความต้องการของลูกค้ายังไม่เกินปริมาณสูงสุดเดิม ปรับปรุงโดยการรวมสถานีเข้าด้วยกัน สามารถลดจำนวนพนักงานได้ 7 คนจาก 24 คน คิดเป็นต้นทุนแรงงานที่จะสามารถลดลงได้ 785,400 บาทต่อปี ซึ่งคิดจากค่าแรงขั้นต่ำต่อวันของบริษัทกรณีศึกษา อัตราผลผลิตด้านแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 43.22 การใช้ประโยชน์เฉลี่ยของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.56 ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 44.29 จากการใช้เทคนิคต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถทำให้สายการผลิตมีความสมดุลมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้อัตราผลผลิตด้านแรงงาน ค่าการใช้ประโยชน์ และประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มสูงขึ้น

7. ข้อเสนอแนะ

การนำแนวทางการจัดสรรทรัพยากรไปปฏิบัติในการผลิต ควรมีการทบทวนค่ามาตรฐานต่างๆที่เป็นข้อกำหนดในการผลิตเนื่องจากประเภทของชิ้นงานที่อาจจะมีเพิ่มเติมในอนาคตหรือมีการเปลี่ยนแปลงของชิ้นงานที่เคยผลิตรวมทั้งความสามารถของพนักงานอาจไม่เท่ากันจากมีความชำนาญต่างกันหรือการกำหนดอัตราค่าเผื่อต่างๆ ซึ่งอาจมีปัจจัยอื่นๆทำการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆ เพื่อความแม่นยำของข้อมูลมากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทกรณีศึกษา ที่ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินการวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. (2565). อุตสาหกรรม เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ Factsheet สินค้าอิเล็กทรอนิกส์ ประจำเดือนสิงหาคม 2565. สืบค้น 15 พฤศจิกายน 2565, จาก https://ditp.go.th/ditp_web61/article_sub_view.php?filename=contents_attach/817469/817469.pdf&title=817469&cate=767&d=0
- [2] ศูนย์วิจัยธนาคารกรุงศรีอยุธยา. (2565). แนวโน้มธุรกิจและอุตสาหกรรมไทยปี 2565-2567. สืบค้น 15 พฤศจิกายน 2565, จาก <https://www.krungsri.com/th/research/industry/summary-outlook/outlook-2022-2024>
- [3] ชนาภา หันจางสิทธิ. (2560). Increase Productivity เพิ่มผลผลิต พิชิตประสิทธิภาพด้วย Excel. กรุงเทพฯ: ไรต์ซี พีริเมียร์
- [4] วันชัย วิจิตรวิเศษ. (2552). การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [5] กัณษิรี กิตติภากร. (2553). การจัดสมดุลการผลิตและการวางแผนทรัพยากรโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อาหาร. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [6] รัตนพงษ์ พงษ์สุวรรณ. (2561). การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอาคารสำเร็จรูป โดยการ

- ประยุกต์ใช้หลักการของอีซีอาร์เอส กรณีศึกษา บริษัท พี.ซี.ทาคาซึมา (ประเทศไทย) จำกัด. การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์, ฉะเชิงเทรา
- [7] วรินทร์ เกียรตินุกูล. (2561). การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการประกอบโครงอลูมิเนียม กรณีศึกษา: บริษัท ตัวอย่าง. วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย, 4(1): 49-58
- [8] จันทร์ศิริ สิงห์เลื่อน. (2556). เอกสารประกอบการสอนวิชาการศึกษากการทำงาน. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- [9] Pegden, C.D., R.E. Shannon, & R.P. Sadowski. (1990). Introduction to Simulation Using SIMAN, New York: McGraw Hill
- [10] ปรัชญา พละพันธ์. (2560). คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ. นนทบุรี: โอดีซี พรีเมียร์
- [11] Steffen Bangsow. (2020). Tecnomatix Plant Simulation. 2nd Edition. New York: Springer Verlag New York Inc.
- [12] สิรินาถ จันทร์ขาว. (2560). การจำลองสถานการณ์และการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบจัดส่งยาทางท่อลม กรณีศึกษา หอผู้ป่วยในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์. วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย, 8(1): 72-83
- [13] Royce O. Bowden, Biman K. Ghosh, & Charles R. Harrell. (2012). Simulation Using ProModel. 3rd Edition. New York: McGraw Hill

การพัฒนาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

The Development of Electronic Circuit Kit for Electrical Circuit Course
in Electrical Engineering Department Chulachomklao Royal Military Academy

^{1*}ชนะ จันทน์อิม และ ^{2#}พงษ์กฤษณ์ รุ่งสุข

^{1,2}กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

^{1*} Chana Jan im and ^{2#} Pongkrit Roongsook

^{1,2} Department of Electrical Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

^{1*} chana.ja@crma.ac.th, ^{2#} krit_010@crma.ac.th

Received : February 28, 2023

Revised : April 10, 2023

Accepted : June 11, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า EE2101 และเพื่อหาประสิทธิภาพการเรียนรู้ผ่านชุดสาธิตดังกล่าว โดยนักเรียนที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนักเรียนนายร้อย สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ชั้นปีที่ 2 ซึ่งลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรไฟฟ้า รหัสวิชา EE 2101 ปีการศึกษา 2565 คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยการทดสอบพื้นฐานความรู้จำนวน 30 นาย และแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 15 นาย ผลการวิจัยพบว่า การพัฒนาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์พร้อมใช้งาน ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบสนองของวงจรไฟฟ้าไปใช้จัดการเรียนการสอนของกลุ่มนักเรียนนายร้อยดังกล่าว ผู้วิจัยทำการทดสอบความรู้ผ่านการทำข้อสอบปรนัยหลังใบงานการทดลองพบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมเท่ากับ 80.20/69.67 ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติพื้นฐานในรูปแบบ t-test dependent samples แสดงว่าการเรียนการสอนโดยใช้ชุดสาธิตวงจรดังกล่าว ทำให้ผู้เรียนมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนมากกว่าการเรียนรู้ โดยวิธีการสอนปกติ

คำสำคัญ: การพัฒนาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์, ชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์, วงจรไฟฟ้า

Abstract

The purposes of this study include: to develop the experimental kit for Electrical Circuit Course (EE2101) and to measure the learning efficiency of students who use this experimental kit as a learning tool. The sampling group of students would comprise the CRMA cadets, majoring in Electrical Engineering and enrolled in EE2101 for the second semester of 2022. The course instructor had separated this sample of 30 cadets into two equal groups of 15 before testing their basic knowledge. The first half was the experimental group while the other half was a controlled group. The instructor adopted the developed kit along with electrical analyzing software as the tools for teaching cadets inside the experimental group. In contrast, the instructor taught cadets inside the controlled group using conventional approach. After the teaching processes, the researcher tested the cadets from both groups on the same multiple-choice exam. According to the test results, the average test scores of the experimental group and the controlled group were 80.20 percent and 69.67 percent respectively, which analyzes basic statistics t-test dependent samples. Therefore, this research indicates that adopting the electronic kit for EE2101 would significantly improve the learning efficiency, in comparison to the conventional teaching strategy.

Keywords: the development of electronic circuit kit, electronic circuit kit, electrical circuit

1. บทนำ

จากวิชาวงจรไฟฟ้า รหัสวิชา EE2101 ตามที่หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร (พ.ศ. 2563) ได้กำหนดให้ดำเนินการสอนในเนื้อหา คุณสมบัติและคุณลักษณะของอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรไฟฟ้าเบื้องต้น อีกทั้งทฤษฎีวงจรขั้วสองทาง ซึ่งถือเป็นวงจรการสื่อสารเบื้องต้นของหลักการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า ดังนั้นนักเรียนนายร้อย (นร.) จำเป็นต้องมีความเข้าใจ วิเคราะห์ปัญหา ข้อขัดข้องและสามารถปฏิบัติได้จริง

กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร มีห้องปฏิบัติการวงจรไฟฟ้า สำหรับนักเรียนนายร้อยเพื่อเรียนรู้ และฝึกทักษะการใช้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าต่าง ๆ และการใช้งานเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ หาสาเหตุ และให้ข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาอ้างอิงตามหลักทฤษฎี อย่างไรก็ตามกองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร ยังขาดชุดสาธิตและสื่อการเรียนการสอน และซอฟต์แวร์จำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบให้ครอบคลุมความสามารถที่จะใช้งานเพื่อเสริมสร้างการเรียนรู้แก่นักเรียนนายร้อย ในเรื่องการวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง และการออกแบบได้ เนื่องจากด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณและคุณสมบัติชุดสาธิต ซึ่งไม่สอดคล้องตามความต้องการของหน่วยงานในกองทัพบก ทำให้การเรียนการสอนเกิดช่องว่างในการพัฒนาทักษะการใช้อุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ ให้สอดคล้องสัมพันธ์กับหน้าที่ความรับผิดชอบหลังสำเร็จรับราชการในหน่วยทหารสื่อสาร

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาการพัฒนาทางด้านทักษะในการใช้อุปกรณ์การสื่อสารเบื้องต้น โดยจัดทำชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า เพื่อนำมาชุดสาธิตดังกล่าวเป็นสื่อการเรียนการสอนที่ใช้สำหรับต่อวงจรขั้วสองทาง (Two Port Network) เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางไฟฟ้า การวิเคราะห์แบบ โนดและแบบเมช ทฤษฎีวงจร ความต้านทานทางไฟฟ้า เพื่อศึกษา พิสัยน์ วิเคราะห์ เปรียบเทียบ แปรผลสัญญาณขาออกจากวงจรเทียบกับสัญญาณขาเข้า นอกจากนี้ นักเรียนนายร้อยยังสามารถทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ตัวต้านทาน (Resistor) ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) ให้เป็นวงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น วงจรกรองสัญญาณและการเชื่อมต่อรวมของวงจรขั้วสองทาง (Combination of

Two Port Network) โดยใช้ชุดสาธิตดังกล่าวสามารถวัดค่าความแตกต่างของแรงดันที่ขาออกและขาเข้าของวงจรเทียบกับผลของการคำนวณในรูปแบบของเมตริกซ์สองพอร์ต ไม่ว่าจะเป็นเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ $[Z]$ แอดมิตแตนซ์ $[Y]$ ไฮบริด $[H]$ อินเวอร์ไฮบริด $[G]$ หรือทรานสมิittance $[T]$ ได้

ทั้งนี้ ชุดสาธิตดังกล่าวยังเปิดโอกาสให้สามารถทำการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ใช้ทำงานในระบบให้สามารถเพิ่มการทดลองโดยใช้กล่องการทดลองเสริมเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อเพิ่มเสริมจำนวนใบงานการทดลองให้ครอบคลุมรายละเอียดตามวิชาวงจรไฟฟ้าและวิชาโครงข่ายการสื่อสารและสายส่ง โดยผู้จัดทำวิจัยจะพัฒนาในชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้าต่อไป

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 เพื่อสร้างชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า พร้อมใบงานการทดลอง

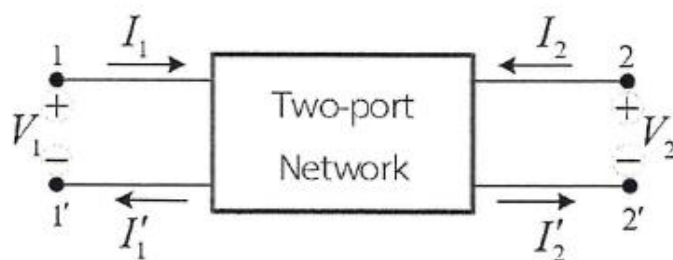
2.2 เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะทางการเรียนรู้ผ่านการใช้งานชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้นักเรียนนายร้อย ในวิชาวงจรไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 วงจรข่ายสองทาง (Two-Port Network)

วงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่มีสองคู่ของขั้วเพื่อเชื่อมต่อกับวงจรภายนอก ขั้วสองขั้วเป็นพอร์ตถ้ากระแสที่ใช้กับขั้วเหล่านี้เป็นไปตามข้อกำหนดที่จำเป็นที่เรียกว่า เงื่อนไขของพอร์ต (Port Condition) แล้วกระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่ขั้วหนึ่งต้องเท่ากับกระแสที่ไหลออกจากอีกขั้วบนพอร์ตเดียวกัน พอร์ตประกอบด้วยอินเทอร์เฟซที่ให้เครือข่ายใด ๆ เชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น นอกจากนี้พอร์ต 1 เป็นจุดที่รับสัญญาณ (Port Input) และพอร์ต 2 เป็นจุดที่จ่ายสัญญาณ (Port Output) ตัวอย่างวงจรข่ายสองทาง [1] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ไดอะแกรมของวงจรข่ายสองทาง

โดยปกติการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวงจรข่ายสองทางแบบตัวต้านทานที่ไม่มีแหล่งจ่ายกระแสหรือแหล่งจ่ายแรงดันอยู่ภายในวงจร เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการคิดคำนวณ ตัวอย่างวงจรข่ายสองทาง ตามตารางที่ 1 [1] ดังนี้

ตารางที่ 1 ตัวอย่างวงจรขั้วสองทางรูปแบบต่าง ๆ (Two Ports Types)

ชื่อวงจรขั้วสองทาง	ลักษณะวงจร	ชื่อวงจรขั้วสองทาง	ลักษณะวงจร
วงจรแบบตัวที		วงจรแบบตัวพาย	
วงจรบริดจ์ที		วงจรแลททิซ	
วงจรทีแบบขนาน		วงจรแบบขั้นบันได	

ปริมาณทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจรขั้วสองทาง ได้แก่ แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว 1-1' และ 2-2' (V_1 และ V_2) และ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้ว 1-1' และ 2-2' (I_1 และ I_2) การหาอัตราส่วนสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปริมาณโดยวิธีลัดวงจรและเปิดวงจรที่ขั้ว 1-1' หรือ 2-2' นั้นจะแสดงให้เห็นในลักษณะของพารามิเตอร์ หรือเมทริกซ์ของวงจรขั้วสองทางในรูปแบบ แอดมิตแตนซ์เมทริกซ์ (Admittance Matrix) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แอดมิตแตนซ์พารามิเตอร์ (Y-parameters) ใช้รูปสมการพื้นฐาน $[I] = [Y] \cdot [V]$ ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}V_1 + y_{12}V_2 \\ I_2 &= y_{21}V_1 + y_{22}V_2 \end{aligned} \quad (1)$$

โดย

$$\begin{aligned} y_{11} &= \frac{I_1}{V_1} \text{ ที่ } V_2 = 0 \text{ และ } y_{12} = \frac{I_1}{V_2} \text{ ที่ } V_1 = 0 \\ y_{21} &= \frac{I_2}{V_1} \text{ ที่ } V_2 = 0 \text{ และ } y_{22} = \frac{I_2}{V_2} \text{ ที่ } V_1 = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

ในรูปแบบอิมพีแดนซ์ เมทริกซ์ (Impedance Matrix) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อิมพีแดนซ์ พารามิเตอร์ (Z-Parameters) โดยใช้รูปแบบพื้นฐานคือ $[V] = [Z] \cdot [I]$ ดังสมการที่ (3) และ (4) [2] ดังนี้

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 \\ V_2 &= Z_{21}I_1 + Z_{22}I_2 \end{aligned} \quad (3)$$

จะได้ความสัมพันธ์ของอิมพีแดนซ์ พารามิเตอร์ (Z-Parameters) ได้เป็น

$$\begin{aligned} Z_{11} &= \frac{V_1}{I_1} \text{ ที่ } I_2 = 0 \text{ และ } Z_{12} = \frac{V_1}{I_2} \text{ ที่ } I_1 = 0 \\ Z_{21} &= \frac{V_2}{I_1} \text{ ที่ } I_2 = 0 \text{ และ } Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} \text{ ที่ } I_1 = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

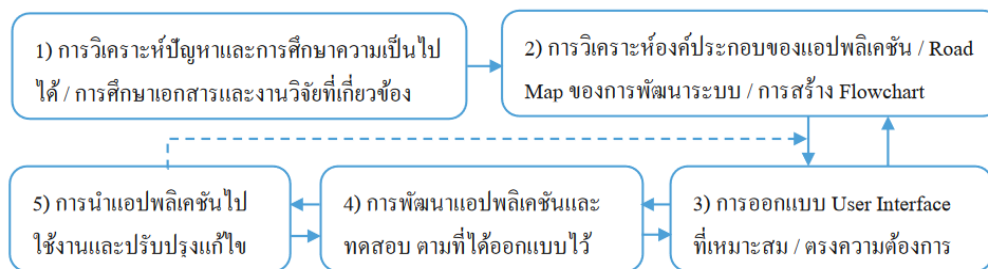
3.1.2 การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยที่กลุ่มตัวอย่างสัมพันธ์กัน (t-test dependent samples)

การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (Independent Samples) การทดสอบลักษณะนี้จะต้องมีกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่ม โดยกลุ่มตัวอย่างแต่ละกลุ่มสุ่มมาจากประชากรสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน จึงทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน ถ้าให้ n_1 และ n_2 เป็นขนาดตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่ 1 และ 2 ตามลำดับ n_1 และ n_2 จะมีขนาดเท่ากันหรือไม่ก็ได้ เมื่อสุ่มตัวอย่างขนาด n_1 จากประชากรที่ 1 และสุ่มตัวอย่างขนาด n_2 จากประชากรที่ 2 อย่างเป็นอิสระกันแล้ว จะนำข้อมูลจากหน่วยตัวอย่างมาทดสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยเราจะต้องคำนวณหาผลต่างของแต่ละคู่ โดยให้สัญลักษณ์ X_1 และ X_2 ชุดของข้อมูลทั้ง 2 ชุด และผลต่างก็คือ $X_1 - X_2$ ใช้สัญลักษณ์ว่า D ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของผลต่างในทุกคู่ก็คือ $\bar{D}$ ผลต่างนี้จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 ชุด ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของข้อมูลแต่ละคู่คือ $X_1 - X_2 = D$ ผลรวมของผลต่าง N คู่คือ $\sum X_1 - \sum X_2 = \sum D$ และค่าเฉลี่ยของความแตกต่างก็คือความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย ($\bar{X}_1 - \bar{X}_2 = \bar{D}$) โดยตัวสถิติการทดสอบ ดังสมการที่ (5) [3] ดังนี้

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - d_0}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (5)$$

3.1.3 การออกแบบแอปพลิเคชันบนมือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

การพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ 1) Native Application คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาและ Library ของ Platform นั้น ๆ เช่น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ใช้ภาษาจาวา และระบบปฏิบัติการไอโอเอสใช้ภาษา Object-C เป็นต้น ซึ่ง CPU สามารถประมวลผลการทำงานของโปรแกรมได้ทันที ไม่จำเป็นต้องผ่านตัวแปลภาษา (Interpreter/Compiler) ทำให้มีข้อดีคือ โปรแกรมสามารถทำงานได้รวดเร็ว เข้าถึงฟังก์ชันการทำงานของ Platform ได้ครบถ้วน มีความยืดหยุ่น แต่มีข้อเสียคือ ต้องใช้เวลาในการพัฒนาโปรแกรมนาน ต้องใช้นักพัฒนาโปรแกรมที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะในภาษานั้น ๆ และจะต้องพัฒนาโปรแกรมที่ใช้สำหรับแต่ละระบบปฏิบัติการไม่สามารถใช้โปรแกรมร่วมกันได้ ตัวอย่างงานวิจัยเช่น โมบายแอปพลิเคชัน: การแจ้งเตือนและติดตามการรับประทานยาของผู้ป่วย [4] 2) Web Application คือ แอปพลิเคชันที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการสร้างหน้าเว็บ (Webpage) มีการแสดงหน้าเว็บผ่านตัวแอปพลิเคชันแทนการเข้าเว็บเบราว์เซอร์ การใช้งานแอปพลิเคชันจะต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตตลอดเวลา และอาจจะไม่สามารถใช้ทรัพยากรบางอย่างของระบบได้ ตัวอย่างงานวิจัยเช่น พัฒนาแอปพลิเคชันความจริงเสมือน “สระคืออีสาน” อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม [5] และ 3) Hybrid Application คือ แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ Framework เป็นการพัฒนาระบบ Cross Platform ซึ่งจะใช้ภาษาใด ภาษาหนึ่งเป็นตัวกลางสำหรับการพัฒนาแล้ว Framework ก็จะทำการแปลงภาษานั้น ๆ ให้เป็นแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้กับทุก Platform เช่น ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ระบบปฏิบัติการไอโอเอส ระบบปฏิบัติการ Windows Phone และอื่น ๆ โดย Framework ที่นิยมใช้งานในปัจจุบัน เช่น Flutter, Ionic, React Native และ Xamarin เป็นต้น [6] โดยที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและออกแบบกระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อนำมาวิเคราะห์วงจรขายสองทางในรูปแบบเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ [Z] แอดมิตแดนซ์ [Y] ไฮบริด [H] อินเวอร์ไฮบริด [G] หรือทรานสมิตชัน [T] ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการพัฒนาแอปพลิเคชันบนมือถือโดยระบบ Android

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำชุดสาคิตรงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า ผู้วิจัยได้มีการค้นคว้าหาข้อมูลและนำบทความวิจัยต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและจัดทำชุดสาคิตรงจรนี้ขึ้นมา โดยในส่วนของภาคทฤษฎีของการทดลองต่าง ๆ เช่น ไกรสร สาริษา (2546) ออกแบบชุดทดลองระบบสื่อสารดิจิทัลเพื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาการระบบสื่อสาร 1 และ 2 ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ออกแบบใบงานประกอบการใช้งานชุดทดลองให้มีความเหมาะสมกับหลักสูตรของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ได้บรรจุวิชาดังกล่าวไว้ พร้อมทั้งจัดลำดับความยากง่ายในการออกแบบต้นแบบชุดทดลองให้มีความสัมพันธ์ตามแต่ละวัตถุประสงค์ของใบงานการทดลองนั้น ๆ ได้อย่างไรก็ตามการประเมินประสิทธิภาพของการใช้งานของชุดทดลองดังกล่าว ในรายงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าต้องมีความเชื่อมโยงและสัมพันธ์กับใบงานการทดลองดังกล่าว เพื่อเป็นตัวชี้วัดผลการเรียนรู้หรือจุดประสงค์การเรียนรู้โดยอาศัยชุดทดลองที่ควรนำเสนอในหลักฐานเชิงประจักษ์ [7]

เฉลิมพล ดัวงงาม (2559) การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการต่อวงจรระบบสัญญาณไฟฟ้ารถยนต์ สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตร สาขางานยานยนต์ ทำการสร้างและพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการต่อวงจรระบบสัญญาณไฟฟ้ารถยนต์ สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตร สาขางานยานยนต์ พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนระหว่างนักเรียน ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบกลุ่ม (Cluster Random Sampling) และทดสอบผ่านแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน จำนวน 30 ข้อ ซึ่งมีค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาเกี่ยวกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเท่ากับ 0.80 - 1.00 ค่าความยากง่าย (Level of Difficulty) เท่ากับ 0.50 - 0.78 ค่าอำนาจจำแนก (Power of Discrimination) เท่ากับ 0.22 - 0.67 และค่าความเชื่อมั่น (Confidential Level) เท่ากับ 0.72 แบบทดสอบทักษะวงจรระบบสัญญาณไฟฟ้ารถยนต์ แสดงให้เห็นถึงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนผ่านชุดทดลอง ในรายงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยได้เห็นว่าควรวิเคราะห์และเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของการออกแบบชุดทดลองนี้ พร้อมทั้งขั้นตอนการวัดผลสัมฤทธิ์ของการเรียนการสอนผ่านโปรแกรม T-Test dependent samples ได้ [8]

4. การดำเนินการวิจัย

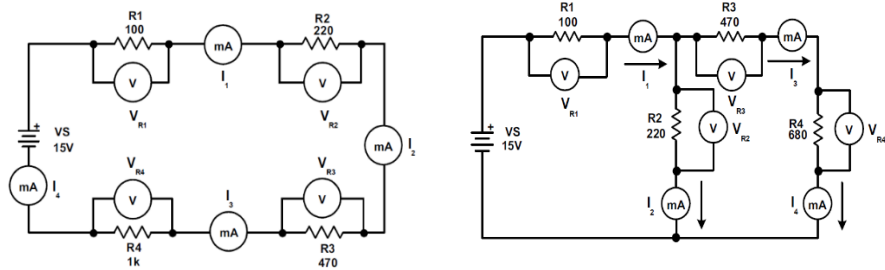
การดำเนินการสร้างการพัฒนาชุดสาคิตรงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

4.1 แนวคิดในการออกแบบการทดลอง

วัตถุประสงค์ของการจัดทำใบงานประกอบการทดลองนั้น เพื่อที่จะอธิบายถึงทฤษฎีที่นำมาใช้โดยผ่านการปฏิบัติ โดยทุกทฤษฎีที่นำมาใช้จะมีใบงานประกอบการทดลองทั้งหมดโดยผู้วิจัยออกแบบ 4 ใบงานการทดลอง

4.1.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า

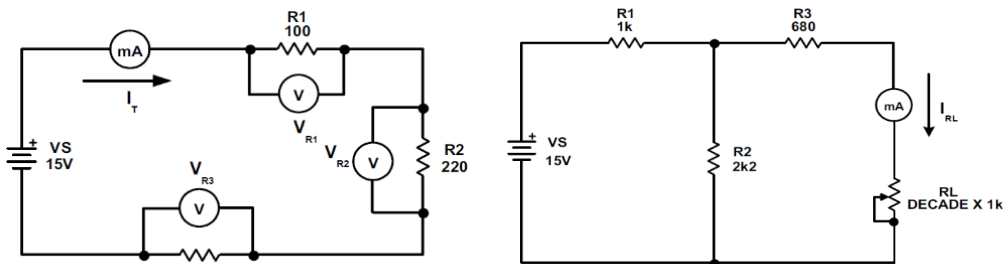
การทดลองเพื่อศึกษาหลักการทฤษฎีของโอห์ม แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความต้านทาน และความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยกำหนดรูปแบบการต่อวงจรในรูปแบบที่แตกต่างกันและทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง อีกทั้งตอบคำถามท้ายผลการทดลอง ตัวอย่างรูปวงจรประกอบใบงานทดลองที่ 1 ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างวงจรประกอบใบงานที่ 1

4.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

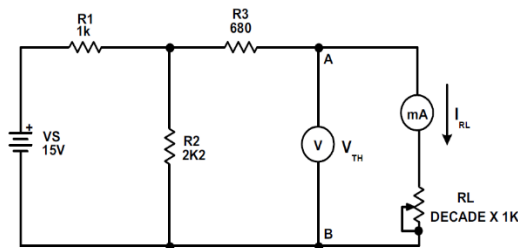
การทดลองเพื่อศึกษาการคำนวณหาพลังงานและกำลังไฟฟ้าและสามารถวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Current Law: KCL) และกฎแรงดันของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Voltage Law: KVL) โดยกำหนดรูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้าให้วิเคราะห์และตอบคำถามท้ายผลการทดลอง ตัวอย่างรูปวงจรประกอบใบงานทดลองที่ 2 ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างวงจรประกอบใบงานที่ 2

4.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยกฎเทวินินและนอร์ตัน

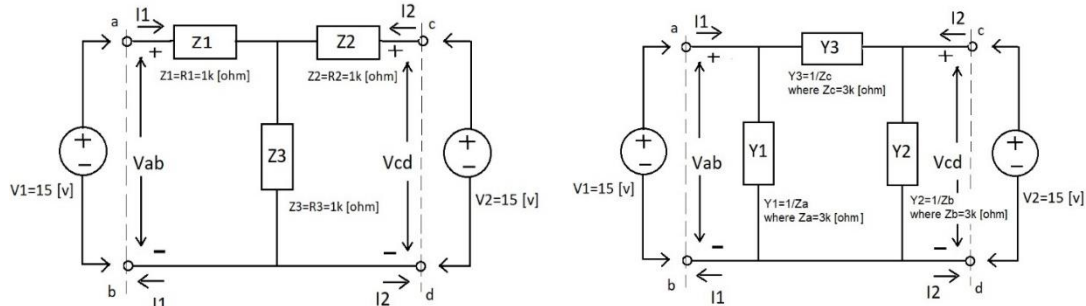
การทดลองเพื่อศึกษาการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าแบบเมฆ แบบโนด รวมถึงการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการทับซ้อน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ทฤษฎีของเทวินินและนอร์ตัน สำหรับวงจรที่ความซับซ้อนที่มากขึ้น และสามารถจัดรูปวงจรให้เป็นวงจรสมมูลได้ ตัวอย่างรูปวงจรประกอบใบงานทดลองที่ 3 ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างวงจรประกอบใบงานที่ 3

4.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง

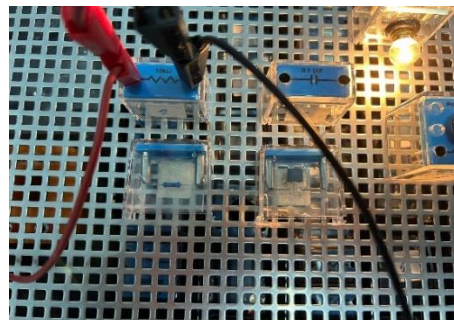
การทดลองเพื่อศึกษาการวิเคราะห์วงจรแบบขั้วสองทาง ถือเป็นพื้นฐานของวงจรสื่อสารเบื้องต้นระหว่างกระแสไฟฟ้าทั้งสองพอร์ตขาเข้าและขาออก โดยรูปแบบการเชื่อมต่อวงจรสองขั้วมีหลายรูปแบบ ผู้วิจัยได้จำลองซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์ผลตอบแทนของวงจรไฟฟ้าเพื่อช่วยในการคำนวณในรูปแบบอื่น ๆ ได้ ตัวอย่างรูปวงจรประกอบใบงานทดลองที่ 4 ทั้งในรูปแบบ Z-Parameter และ Y-Parameter ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างวงจรประกอบใบงานที่ 4

4.2 การออกแบบชุดสถิติ

ทางผู้วิจัยได้จัดทำชุดสถิติวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิทยาวจรไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Corel draw ช่วยในการออกแบบ โดยมีขนาด 630 x 480 มิลลิเมตร โดยจะมีการควบคุมด้วยสวิตช์ในการเปิด-ปิดด้านหน้ากล่อง สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าทั้งฝั่งอินพุตและเอาต์พุตเป็นแบบหัวข้อต่อเกลียวใน (Bayonet Nut Coupling: BNC) เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานในการวัดค่าในพาวเวอร์มิเตอร์ (Power Meter) พร้อมติดตั้งเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าเพื่อลดการสูญเสียของวงจรไฟฟ้าที่ใช้ประกอบการทดลอง ตามรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผงวงจรภายในชุดสถิติวงจรอิเล็กทรอนิกส์

4.3 การออกแบบการเก็บข้อมูลผลการทดสอบ

4.3.1 กำหนดกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้าของนักเรียนนายร้อย ทั้งสองกลุ่ม ซึ่งเป็นการทดสอบพื้นฐานความรู้ก่อนเรียน (Pre- Test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนค่าคะแนนที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) สำหรับการวิเคราะห์ผลทดสอบงานพื้นฐานความรู้ของทั้งสองกลุ่ม ด้วยโปรแกรม T-Test (Independent) เพื่อการจัดกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมให้มีค่าความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้าที่ทำการทดสอบโดยข้อสอบปรนัยจำนวน 50 ข้อก่อนเริ่มการเรียนการสอน [9]

4.3.2 ดำเนินการทดลอง โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กลุ่มควบคุม (Control Group) ผู้วิจัยสอนนักเรียนนายร้อย ด้วยวิธีการสอนปกติ โดยกลุ่มควบคุมเรียนภาคทฤษฎี เหมือนกับกลุ่มทดลอง การฝึกปฏิบัติในงานปกติโดยไม่ใช้ชุดสาธิตดังกล่าว เมื่อจบเนื้อหาทำการทดสอบหลังเรียน (Posttest) ด้วย แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

- กลุ่มทดลอง (Experimental Group) ผู้วิจัยสอนนักเรียนนายร้อย ด้วยชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อจบเนื้อหาทำการทดสอบหลังเรียน (Post Test) ด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ

4.3.3 วิเคราะห์ผล หาค่าความแตกต่างผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

โปรแกรม T-Test (Independent) จากคะแนนแบบฝึกหัดท้ายใบงานการทดลองแบบปรนัยจำนวน 25 ข้อ และวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนนายร้อย โดยผู้วิจัยได้ดำเนินการสอนแบบชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นสื่อการเรียนการสอนให้กับกลุ่มทดลอง อีกทั้งระหว่างเรียนได้ให้นักเรียนนายร้อย ทำแบบฝึกหัด เพื่อประเมินความก้าวหน้าระหว่างเรียนและเก็บรวบรวมคะแนนจากการทำแบบฝึกหัดและใบงานการทดลอง ค่าคะแนนจากการทำแบบฝึกหัดด้วยแบบทดสอบวัด ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติมาหาค่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของทั้งสองกลุ่ม

5. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ประกอบวงจรไฟฟ้า ผ่านใบงานการทดลองทั้ง 4 ใบงานการทดลองกับนักเรียนนายร้อย ชั้นปีที่ 2 จำนวน 30 นาย ได้ผลการทดลอง ดังนี้

5.1 ผลการทดลองจากการศึกษาผ่านใบงานการทดลอง

5.1.1 ใบงานการทดลองที่ 1 การศึกษาองค์ประกอบของวงจรไฟฟ้า

จากการทดลองทราบว่า การทดสอบที่ใช้ใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานของแต่ละตัว โดยทำการวัดค่าจากเครื่องมือวัดและแสดงผลของชุดสาธิตดังกล่าว ผลที่ได้วัดค่าได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะตรงไปตามหลักทฤษฎีของกฎของโอห์ม ตามตารางผลการทดลองใบงานที่ 1 โดยเครื่องหมาย * แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามกฎของโอห์มดังนี้

ตารางที่ 2 ตารางผลการทดลองใบงานที่ 1

R (Ω)	100 Ω	200 Ω	470 Ω	1000 Ω
I (mA)	8.3	8.4	8.3	8.3
I (mA)*	8.38	8.38	8.38	8.38
V _R (V)	0.83	1.848	3.901	8.3
V _R (V)*	0.838	1.844	3.939	8.38

จากผลการทดลองวงจรอนุกรมกระแสที่ไหลผ่านในวงจรทุกจุดจะมีค่าเท่ากันแต่จะมีค่าแรงดันตกคร่อมตัวต้านทานแต่ละตัว เมื่อรวมค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานที่ต่ออนุกรมตัวทุกตัวแล้วจะเท่ากับค่าแรงดันที่แหล่งจ่าย นอกจากนี้ การทดสอบหลังจากการเรียนการสอนทำการทดสอบข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 25 ข้อโดยกำหนดให้ข้อละ 1 คะแนนโดยที่กลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 18.93 คะแนน ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.33 คะแนน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าคะแนนเฉลี่ยที่สูงขึ้นของกลุ่มทดลอง เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

5.1.2 ใบงานการทดลองที่ 2 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยกฎของเคอร์ชอฟฟ์

จากการทดลองทราบว่า การทดสอบที่ใช้ใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานของแต่ละตัว โดยทำการวัดค่าจากเครื่องมัลติมิเตอร์และจอแสดงผลของชุดสาธิตดังกล่าว ผลที่ได้วัดค่าได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะตรงไปตามหลักทฤษฎีของกฎของเคอร์ชอฟฟ์ (Kirchhoff's Law) ตามตารางผลการทดลองใบงานที่ 2 โดยเครื่องหมาย * แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองใบงานที่ 2

R (Ω)	100 Ω	220 Ω	680 Ω
I (mA)	15.03	15.0	15.0
V _R (V)	1.51	3.29	10.16
V _R (V)*	1.5	3.3	10.2

จากผลการทดลองจากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ทางด้านแรงดัน (KVL) คือ ค่าแรงดันที่ตกคร่อม ค่าความต้านทานในวงจรปิดใด ๆ จะเท่ากับแหล่งจ่ายดังสมการ $V_{R1} + V_{R2} + V_{R3} = V_0$; $V_S = V_{SUPPLY}$ สังเกตได้ว่า ผลการทดลองกับผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การทดสอบหลังจากการเรียนการสอนทำการทดสอบข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 25 ข้อ โดยกำหนดให้ข้อละ 1 คะแนน โดยที่กลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 19.80 คะแนน ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.53 คะแนน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าคะแนนเฉลี่ยที่มีสูงขึ้นของกลุ่มทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

5.1.3 ใบงานการทดลองที่ 3 การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าโดยกฎเทวินินและนอร์ตัน

จากการทดลองทราบว่า การทดสอบที่ใช้ใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานของแต่ละตัว โดยทำการวัดค่าจากเครื่องมัลติมิเตอร์และจอแสดงผลของชุดสาธิตดังกล่าว ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างกฎของกฎเทวินินและนอร์ตันที่มีค่ากระแสที่แปรผันตามกัน ตามตารางผลการทดลองใบงานที่ 3 โดยเครื่องหมาย * แสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณตามกฎของกฎเทวินินและนอร์ตัน ดังนี้

ตารางที่ 4 ตารางผลการทดลองใบงานที่ 3 ตามกฎเทวินินและนอร์ตัน

R _L (Ω)	1000 Ω	2000 Ω	680 Ω
I _{RL} (mA)	4.35	3.07	2.36
I _{RL} (mA)*	4.35	3.06	2.36

จากผลการทดลองสังเกตจากตารางที่ 3 ค่ากระแสที่วัดได้จากตัวต้านทานแต่ละตัว จะมีค่าเดียวกันแม้จะวิเคราะห์วงจรแบบกฎเทวินินและนอร์ตัน ที่ขึ้นอยู่กับการพิจารณาแหล่งจ่ายแรงดันตามกฎเทวินินหรือแหล่งจ่ายแรงดันตามกฎของนอร์ตัน นอกจากนี้การทดสอบหลังจากการเรียนการสอนทำการทดสอบข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 25 ข้อ โดยกำหนดให้ข้อละ 1 คะแนน โดยที่กลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 19.80 คะแนน ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.53 คะแนน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าคะแนนเฉลี่ยที่มีสูงขึ้นของกลุ่มทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

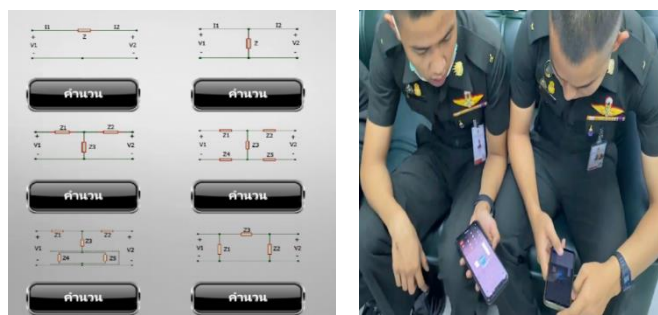
5.1.4 ใบงานการทดลองที่ 4 การวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง

จากการทดลองทราบว่า การทดสอบที่ใช้ใบงานการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้า ทั้งสองพอร์ตขาเข้าและขาออก โดยทำการวัดค่าจากเครื่องมือวัดและแสดงผลของชุดสาธิตดังกล่าว ผลที่ได้วัดค่าได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งจะตรงไปตามหลักทฤษฎีของการวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง (Two Port Network) ตามตารางผลการทดลองใบงานที่ 4 ดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางผลการทดลองใบงานที่ 4 ตามหลักการวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง

ผลการทดลอง	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
I_1 (mA)	4.98	5
I_2 (mA)	4.98	5

จากผลการทดลองพบว่า การวิเคราะห์วงจรขั้วสองทาง มีความสัมพันธ์ตามหลักทฤษฎีของเคอร์ชอฟฟ์ เนื่องจากการวิเคราะห์ค่ากระแสของพอร์ตขาเข้าและขาออกนอกจากจะขึ้นกับตัวต้านทานภายในวงจรเท่านั้นแล้วยังขึ้นอยู่กับรูปแบบของวงจรขั้วสองทางนั้น ๆ ด้วย นอกจากนี้การทดสอบหลังจากการเรียนการสอนทำการทดสอบข้อสอบแบบปรนัยจำนวน 25 ข้อ โดยกำหนดให้ข้อละ 1 คะแนน โดยที่กลุ่มทดลองมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 21.87 คะแนน ส่วนกลุ่มควบคุมมีค่าคะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 17.20 คะแนน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงค่าคะแนนเฉลี่ยที่สูงขึ้นของกลุ่มทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผู้วิจัยได้ทำการจัดทำโปรแกรมการวิเคราะห์วงจรขั้วสองทางเบื้องต้นลักษณะแอปพลิเคชันบนมือถือระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และโปรแกรมแสดงผลในคอมพิวเตอร์ เพื่อความสะดวกในการใช้งานในการออกแบบการคำนวณค่าของวงจรขั้วสองทางในรูปแบบต่าง ๆ เช่น อิมพีแดนซ์ [Z] แอดมิตแตนซ์ [Y] โหบริด [H] อินเวอร์โหบริด [G] หรือทรานสมิสชัน [T] ได้ตามรูปที่ 12



รูปที่ 12 การใช้งานโปรแกรมการวิเคราะห์วงจรขั้วการสื่อสารเบื้องต้น

5.1 ผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการประเมินผลตามพฤติกรรมบ่งชี้ในมิติผลการเรียนรู้และทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดสอบค่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนหลังเรียนของกลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมของนักเรียนนายร้อย ชั้นปีที่ 2 จำนวน 30 นาย วิชาวงจรไฟฟ้า สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โดยมีผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 การทดสอบความแตกต่างของค่าคะแนนก่อนเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเพื่อตรวจสอบพื้นฐาน

นักเรียนนายร้อย	n	คะแนน	$\bar{X}$	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย	t	Sig.
กลุ่มทดลอง	15	50	36.53	1.13	1.08*	0.004
กลุ่มควบคุม	15	50	36.40			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (df = 65, α = 0.05, t = 1.706)

จากตารางค่า t ที่ df = 65, α = 0.05 เท่ากับ t = 1.706 (One tailed test) แต่ผลจากการทดสอบของค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมเพื่อตรวจสอบพื้นฐาน โดยจากตารางค่า t มีค่าเท่ากับ 1.08 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่า t ของ One tailed test (1.08 < 1.706) แสดงให้เห็นว่านักเรียนนายร้อยทั้งสองกลุ่มมีค่าคะแนนเฉลี่ยก่อนเรียนที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่งผลให้นักเรียนนายร้อยทั้งสองกลุ่มมีพื้นฐานทางความรู้เรื่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจรไม่แตกต่างกัน จึงสามารถเลือกให้กลุ่มหนึ่งกลุ่มใดเป็นกลุ่มทดลองได้

ตารางที่ 7 การทดสอบความแตกต่างของค่าคะแนนหลังเรียนของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม

นักเรียนนายร้อย	n	คะแนน	$\bar{X}$	ค่าความแตกต่างเฉลี่ย	t	Sig.
กลุ่มทดลอง	15	100	80.20	10.53	15.54*	0.00
กลุ่มควบคุม	15	100	69.67			

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (df = 65, α = 0.05, t = 1.706)

จากการวิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนนายร้อย เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลอง (กลุ่มที่เรียนด้วยชุดสาธิต) และกลุ่มควบคุม (กลุ่มที่เรียนโดยวิธีการเรียนการสอนแบบปกติ) แสดงให้เห็นว่า ค่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทดลองเท่ากับ 80.20 คะแนน และค่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มควบคุมเท่ากับ 69.67 คะแนน โดยนำค่าสถิติโดยใช้โปรแกรม t-test dependent samples จากตารางค่า t (One tailed test) ที่ df = 65, α = 0.05, t = 1.706 โดยที่ค่า t มีค่าการคำนวณเท่ากับ 15.54 ซึ่งมากกว่าค่า t จากตาราง 1.706 แสดงให้เห็นว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของคะแนนหลังการทดสอบของทั้งสองกลุ่มแตกต่างกัน สรุปได้ว่าผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนนายร้อยที่เรียนด้วยชุดสาธิตดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบวิชาวงจรไฟฟ้า EE2201 มีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่านักเรียนนายร้อยกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

6. สรุป

ชุดสาธิตดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับนักเรียนนายร้อย ชั้นปีที่ 2 ซึ่งลงทะเบียนเรียนวิชาวงจรไฟฟ้า รหัสวิชา EE 2101 ปีการศึกษา 2565 จำนวน 30 นาย แบ่งเป็นกลุ่มทดลอง (กลุ่มที่เรียนด้วยชุดสาธิต) และกลุ่มควบคุม (กลุ่มที่เรียนโดยวิธีการเรียนการสอนแบบปกติ) ผ่านใบงานการทดลองทั้ง 4 ใบงาน ให้มีสอดคล้องกับหลักสูตรฯ จากการนำชุดสาธิตดังกล่าวประกอบการเรียนการสอน พบว่า นักเรียนนายร้อย มีค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบฝึกหัด และใบงานการทดลองร้อยละ 80.20 ของกลุ่มทดลอง อีกทั้งในส่วนของการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของค่าคะแนนเฉลี่ยจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มทดลองมีค่าสูงกว่าค่าคะแนนเฉลี่ยของค่าคะแนนจากการทำแบบทดสอบหลังเรียนของกลุ่มควบคุม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการหาค่าสถิติโดยใช้โปรแกรม t-test dependent samples แสดงให้เห็นว่าการจัดการเรียนการสอนในวิชาวงจรไฟฟ้า โดยใช้ชุดสาธิตดวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้เกิดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนนายร้อยที่สูงขึ้นจากการเรียนโดยวิธีการสอนแบบปกติที่มีการใช้งานเบรคบอร์ดแผงวงจรทั่วไป ซึ่งสังเกตจากผลวิจัยในส่วนงานของใบงานการทดลองที่ 4

การวิเคราะห์ห้วงจ่ายสองทาง ค่าคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มทั้งสองจะมีความแตกต่างชัดเจนมากกว่าไปงานการทดลองอื่น ๆ ที่มีค่าความแตกต่างของคะแนนเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน

7. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยชุดสาธิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น ต้องขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ด้านวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประเภท Function based research fund ในส่วนของกองทัพบก ประจำปีงบประมาณ 2565 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทวัส สิทธิกุล. (2562). **โครงข่ายการสื่อสารและสายส่ง**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [2] โกศล โอฬารไพโรจน์. (2542). การวิเคราะห์ห้วงจ่าย. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [3] ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย, 5(1): 7-20.
- [4] Boonnudhar, N., & Wuttidittachotti, P. (2017). Mobile application: Patients' adherence for medicine in take Schedules (Online). Retrieved on Apr 15, 2021 from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3191684/>
- [5] ธวัชชัย สหพงษ์. (2562). การพัฒนาแอปพลิเคชันความจริงเสมือน “สะกดอีสาน” อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม. วารสารศรีปทุมปริทัศน์, 11(1): 139-151.
- [6] Nuanmeesri, S. (2019). **Mobile application for the purpose of marketing, product distribution and location-based logistics for elderly farmers**. Applied Computing and Informatics, Emerald Publishing Limited, 2210-8327.
- [7] ไกรสร สาริษา. (2546). ชุดทดลองระบบสื่อสารแบบดิจิทัล. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร).
- [8] เกลิมศักดิ์ ค้างงาม, ผดุงชัย ภูพัฒน์ และ ธนินทร์ รัตนโอฬาร. (2559). การพัฒนาชุดฝึกปฏิบัติการต่อวงจรระบบสัญญาณไฟฟ้ารถยนต์สำหรับนักเรียนระดับประกาศนียบัตร สาขางานยานยนต์. วารสารครุศาสตร์อุตสาหกรรม. 15(1): 44-50.
- [9] ธชณัฐ ผ่องโต. (2563). การพัฒนาชุดฝึกวิชาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร (20105-2005) ของนักเรียนระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขางานอิเล็กทรอนิกส์ แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานวิจัยมหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ;

**การศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทาง
เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ**

**The study of the application process of Geographic Information Systems
for finding routes to rescue victims from aircraft accidents**

เกรียงไกร ทานา

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการการบิน กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหการ กองการศึกษา
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

Kriengkrai Thana

Industrial Engineering and Aviation management Department Division of Education Navaminda Kasatriyadhiraj

Royal Air Force Academy

Kriengkrai_thana@rtaf.mi.th

Received : February 6, 2023

Revised : June 18, 2023

Accepted : June 20, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ และเพื่อนำเสนอกระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ดังกล่าวให้กับหน่วยงานที่มีหน้าที่ด้านการค้นหาและช่วยชีวิตผู้ประสบภัยของกองทัพอากาศ โดยผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้ารวบรวมข้อมูลงานวิจัย วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในด้านต่าง ๆ รวมถึงรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาและช่วยชีวิตของหน่วยงานทั้งทางทหารและพลเรือน จากนั้นทำการวิเคราะห์ ตีความ และสรุปข้อมูล ซึ่งผลการศึกษาพบว่ากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ นั้น มีขั้นตอนประกอบด้วย การจัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ จากนั้นเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่ที่เป็นระบบพิกัดแล้วนำไปสร้างในระบบฐานข้อมูลสัมพันธ์ และนำข้อมูลดังกล่าวไปเขียนชุดคำสั่งจนประมวลผลลัพธ์ได้เป็นกระบวนการของเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เชื่อมโยงกันเป็นเส้นทางสำหรับเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยให้ปลอดภัยและมีความรวดเร็วที่สุด

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, การหาเส้นทางโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Abstract

This research is the study of the application process of Geographic Information System to find the most suitable route to rescue the victims of an aircraft accident and present to Royal Thai Air Force Security Forces Command which is responsible for search and rescue of victims. The researchers have done a review of related literatures of the varieties of applications of geographic information systems and search and rescue operations (SAR) in both the military and civilian lifesaving. After that, analyzing, interpreting and summarizing the data. The study found that: the application process of Geographic Information Systems (GIS) for finding routes to rescue victims from aircraft accidents include: preparation of spatial data then change the spatial data to the coordinate system and create it in the relational database system and use that information to write a set of commands until the result can be processed into a process of geographic information system technology that is connected as a path for helping victims safely and quickly as possible.

Keywords: Geographic Information Systems, The Application of Geographic Information Systems, Geographic Information Systems for Finding Routes

1. บทนำ

จากสถานการณ์โลกในปัจจุบันที่ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมีวิวัฒนาการความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก จึงทำให้การรับรู้ข่าวสารข้อมูลต่าง ๆ เป็นไปอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อให้เกิดประโยชน์ทั้งต่อการปฏิบัติงานและการใช้ชีวิตประจำวันของมวลมนุษยชาติ ซึ่งสำหรับประเทศไทยนั้น ในพุทธศตวรรษที่ 20 ปี (พ.ศ.2561 - 2580) ได้มีการระดมถึงยุทธศาสตร์ด้านการปรับสมดุลและพัฒนาระบบการบริหารจัดการภาครัฐ โดยมุ่งให้หน่วยงานภาครัฐปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของโลกอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำนวัตกรรม เทคโนโลยีระบบการทำงานที่เป็นดิจิทัลมาประยุกต์ใช้อย่างคุ้มค่า

กองทัพอากาศ ซึ่งเป็นหนึ่งในหน่วยงานภาครัฐได้ตระหนักถึงความสำคัญในการเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ตามหลักยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี จึงได้กำหนดแนวทางทางการพัฒนากองทัพอากาศในยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (พ.ศ.2561 - 2580) ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2563 โดยประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงาน (Organization and Management Modernization) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อมุ่งไปสู่กองทัพอากาศดิจิทัลที่มีความทันสมัย อีกทั้งเป็นการสนับสนุนการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง (NCO) ซึ่งด้านการวิจัยและพัฒนาการรบเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอยู่ในแผนแม่บทของกองทัพอากาศ (RTAF Master Plan) ทางด้านเตรียมความพร้อมในการใช้กำลังตั้งแต่ในยามปกติคือ การเฝ้าตรวจระวังภัยทางอากาศ และการแก้ไขปัญหาสำคัญของชาติในยามวิกฤติต่าง ๆ เช่น การลำเลียงผู้ป่วยทางอากาศและการค้นหา และช่วยเหลืออากาศยานและเรือที่ประสบภัย เป็นต้น [1] ทั้งนี้ การช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุนั้น จากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ปัญหาในการช่วยเหลือผู้ประสบภัย คือ การเข้าช่วยเหลือโดยเดินเท้าตามเส้นทางที่คาดการณ์ว่าจะพบตำแหน่งของอากาศยาน ซึ่งเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้เวลานาน เนื่องจากสภาพป่าไม้ที่ปกคลุมอย่างหนาแน่น รวมถึงพื้นที่ลาดชันของภูเขา ซึ่งในบางครั้งการตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางเข้าไปช่วยเหลือที่ไม่เหมาะสมทำให้การปฏิบัติการเกิดความล่าช้าส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ประสบภัย จึงทำให้หลายหน่วยในกองทัพอากาศมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับเพื่อถ่ายภาพที่ทำให้เห็นมุมกว้าง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนเพื่อปฏิบัติการทางทหารให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น [2]

โดยจากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศกับการรับส่งข้อมูลพิกัดของอากาศยานผ่านระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ เพื่อใช้ในการติดตามหาพิกัดและตำแหน่งที่แน่นอน ตั้งแต่เริ่มทำการบินจนเสร็จสิ้นภารกิจ หรือเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางอากาศยาน โดยใช้อุปกรณ์ระบุตำแหน่งแบบพกพา (GPS Tracker) และติดตั้งซิมการ์ดหรือใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟน สำหรับบันทึกและส่งข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำได้ทำให้สามารถทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอากาศยานได้ [3] อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากถ่ายภาพนั้น เพียงแต่ทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่อากาศยานเกิดอุบัติเหตุ แต่ยังไม่สามารถแสดงถึงเส้นทางที่ปลอดภัยและรวดเร็วที่สุดเพื่อเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางอากาศยานได้ จากปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับหน่วยงานที่มีหน้าที่ด้านการค้นหาและช่วยชีวิต ซึ่งได้แก่ กรมปฏิบัติการพิเศษ หน่วยบัญชาการอากาศโยธิน กองทัพอากาศ ในการเข้าปฏิบัติการช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้อย่างรวดเร็ว ทันทั่วถึง ช่วยให้เกิดการสูญเสียชีวิต อีกทั้งเป็นการพัฒนาขีดความสามารถการปฏิบัติการของกองทัพอากาศให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีปัจจุบัน ตลอดจนเป็นการช่วยลดความเสี่ยงของผู้ปฏิบัติการกิจ และค่าใช้จ่ายของหน่วยอีกด้วย

2. ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางเพื่อเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ เฉพาะกรณีทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ โดยศึกษาจากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3. การทบทวนวรรณกรรม

3.1 ความหมายและประเภทของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบสารสนเทศที่เกี่ยวกับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่อ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลกโดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ซึ่งโดยทั่วไปข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะแสดงผลข้อมูลร่วมกับข้อมูลด้านแผนที่และข้อมูลด้านชั้นความสูง (Digital Elevation Model: DEM นอกจากนี้สามารถแสดงผลร่วมกับข้อมูลรูปทรงสัณฐานจากการใช้เทคโนโลยีการรับรู้จากระยะไกลได้อีกด้วย สำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่นั้น สามารถจัดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

3.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทบอกตำแหน่งเชิงสัมพัทธ์ (Relative Position) คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ไม่สามารถบอกตำแหน่งได้อย่างแน่ชัด แต่สามารถนำข้อมูลนั้นมาเทียบเคียง เพื่อหาความสัมพันธ์ เช่น ข้อมูลพื้นที่ที่ใกล้กับหรือติดกับตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง ข้อมูลพื้นที่บริเวณภายใน เป็นต้น

3.1.2 ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทบอกตำแหน่งสมบูรณ์ (Absolute Position) คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สามารถบอกตำแหน่งได้อย่างแน่ชัด โดยใช้ระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ เช่น แลตติจูด ลองจิจูด เป็นต้น โดยไม่ต้องใช้ข้อมูลเทียบเคียงใด ๆ

3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เสาวลักษณ์ เทียนส้ม (2564) [7] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินของโรงพยาบาลและมูลนิธิในการให้บริการทางการแพทย์ฉุกเฉินของพื้นที่เมืองพิษณุโลกต่อประชากรผู้สูงอายุภายในระยะเวลาตามข้อกำหนดของสำนักสาธารณสุข โดยสำรวจและเก็บข้อมูลความหนาแน่นของประชากรผู้สูงอายุข้อมูลตำแหน่งโรงพยาบาล รวมถึงข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งมูลนิธิกุ๊กกิ๊กและจุดจอดรถฉุกเฉินของทั้งโรงพยาบาลและมูลนิธิ จากนั้นวิเคราะห์ตำแหน่งความหนาแน่นของกลุ่มผู้สูงอายุที่อยู่ในพื้นที่บริการของรถฉุกเฉิน วิเคราะห์ขอบเขตการให้บริการของรถฉุกเฉินในปัจจุบัน หลังจากมีการวิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้ว จะทำสร้างแบบจำลองการหาที่ตั้งและการจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินให้เหมาะสมมีความครอบคลุมประชากรผู้สูงอายุโดยใช้เครื่องมือ Map Algebra ซึ่งจะป้อนข้อมูลจุด

จอครด ข้อมูลถนน และข้อมูลขอบเขตพื้นที่บริการ และทำการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ เพื่อหาแบบจำลองพื้นที่ ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดจอดรถฉุกเฉิน โดยหลังจากมีการสร้างแบบจำลองหาที่ตั้งและการจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินที่เหมาะสมแล้ว สามารถเพิ่มขอบเขตเพื่อบริการกลุ่มประชากรสูงอายุทั้งในเวลากลางวันและกลางคืนได้มากขึ้นกว่าปัจจุบัน จำนวน 6,063 คน หรือคิดเป็นร้อยละ 19.27 ซึ่งผู้ทำการวิจัยเห็นว่าการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยนำข้อมูลทางด้านพื้นที่ ตำแหน่ง ความหนาแน่นต่าง ๆ มาสร้างเป็นแบบจำลองเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยทางอากาศในพื้นที่ที่เขาได้เช่นเดียวกัน

ชญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง (2564) [2] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ และการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิตโดยการวิจัยมีที่มาจากการใช้เรดาร์เพื่อการตรวจจับอากาศยานที่ระดับความสูงไม่มากมีข้อจำกัดในเรื่องการบดบังของภูมิประเทศ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถทราบพิกัดที่แน่นอนในกรณีเกิดเหตุการณ์ที่อากาศยานขาดการติดต่อที่ระดับความสูงไม่มากหรือเกิดอุบัติเหตุอากาศยานตก จึงส่งผลให้ชุดค้นหาและช่วยชีวิตต้องทำการค้นหาในพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และทำให้การค้นหาใช้เวลานาน ลำช้า และไม่ทันการณ์ คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต โดยผลการศึกษา พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการตรวจจับอากาศยานที่ระดับความสูงที่ถูกบดบังจากภูมิประเทศ และสามารถสนับสนุนภารกิจการค้นหาและช่วยชีวิตได้

สุพิชารณ์ ธรรมวาทะเสรี (2563) [3] ได้ศึกษาการนำอากาศยานไร้คนขับมาใช้เพื่อให้ได้ภาพมุมสูงที่เป็น Real Time Digital Format ทำให้สามารถเห็นภาพของสถานที่ประสาบภัยกว้างมากขึ้น สามารถส่งข้อมูลให้กับผู้ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กแบบขึ้นลงแนวดิ่ง (VTOL) สามารถนำมาใช้ได้สำหรับการค้นหาบอดดำแหน่ง ทั้งยังสามารถบูรณาการร่วมปฏิบัติการกับอากาศยานของกองทัพอากาศ ดาวเทียมทั้งของรัฐและเอกชน

ภาทินัย ชัยเจริญวุฒิ และคณะ (2563) [8] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลหลายปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลาร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ ด้วยวิธีการแสดงผลข้อมูลสำหรับการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน โดยเป็นการนำข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์และข้อมูลเชิงพื้นที่ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems: GIS) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งผลการศึกษาทำให้ได้ข้อมูลที่แสดงถึงความหนาแน่นของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการรับบริการการแพทย์ฉุกเฉินในรูปแบบของแผนที่ความร้อน ซึ่งจะแสดงความหนาแน่นของปัจจัยในแต่ละพื้นที่หลังจากนั้น ได้เลือกพื้นที่ที่มีความหนาแน่นสูงมาก สูง และปานกลางเป็นพื้นที่บังคับให้มีการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (MCLP-Force) เพื่อให้ครอบคลุมกับความต้องการในการเรียกใช้บริการ วิธีการที่นำเสนอสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจของหน่วยงานที่ให้บริการการแพทย์ฉุกเฉินให้ตัดสินใจในการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลได้ง่ายยิ่งขึ้น โดยอาศัยข้อมูลต่าง ๆ และช่วยทำให้การเข้าถึงพื้นที่ที่เกิดเหตุได้อย่างรวดเร็วและเพิ่มโอกาสในการรอดชีวิตหรือพิการมากยิ่งขึ้น

ธัญญรัตน์ ไชยคราม (2561) [9] ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยมีการแสดงตำแหน่งของแหล่งท่องเที่ยวเพื่อนำมาวิเคราะห์โครงข่ายของเส้นทาง และจัดทำแผนที่เกี่ยวกับทางเลือกของเส้นทางทางท่องเที่ยวและการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยวในเขตพื้นที่ 12 เมืองในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง โดยนักท่องเที่ยวสามารถเลือกเส้นทางได้ตามระยะทางและเวลาที่ต้องการ เป็นไปตามลำดับและทิศทางการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว โดยใช้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ซึ่งมีการเก็บข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว เพื่อจัดเก็บตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ จากนั้นได้จัดทำข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) และนำเข้าข้อมูลเชิงตาราง (Attribute Data) หลังจากนั้นสร้าง Network Dataset และทำการวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis) วิเคราะห์และสร้างความเชื่อมโยงของฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยว จากนั้นวิเคราะห์เส้นทางจากจุดเริ่มต้นจนจุดสุดท้าย และนำไปจัดทำโปรแกรมเสนอแนะเส้นทางทางท่องเที่ยวซึ่งจากผลการวิจัยได้เสนอแนะเส้นทางทางท่องเที่ยวที่มีความเหมาะสมที่สุดด้วยกันทั้งหมด 4 เส้นทาง ในระยะเวลา 2 วัน 1 คืน

อาศิรา ราชเวียง (2561) [10] ได้ศึกษาวิจัยการพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมท่องเที่ยวลุ่มแม่น้ำท่าจีน โดยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่และแปลงข้อมูลเป็นระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการแปลงระบบพิกัด ผลการศึกษาทำให้สามารถทราบการขยายตัวของอุตสาหกรรมท่องเที่ยวที่สำคัญ สามารถทำให้นักท่องเที่ยวทราบถึงสถานที่ตั้งของนักท่องเที่ยวได้ชัดเจน โดยระบุตำแหน่งของสถานที่ท่องเที่ยวต่าง ๆ ลงในแผนที่ท่องเที่ยว ทำให้ทราบถึงศักยภาพด้านการท่องเที่ยวของพื้นที่ต่าง ๆ โดยการนำค่าข้อมูลพิกัดตำแหน่งของสถานที่ท่องเที่ยวลงในโปรแกรม QGIS ทำให้สามารถดูที่ตั้งของสถานที่ท่องเที่ยวได้ดียิ่งขึ้น

สรญา แก้วพิบูลย์ (2555) [11] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคมาลาเรียในจังหวัดสุรินทร์ ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยมาลาเรีย ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะพื้นที่ป่าไม้ ความหนาแน่นของประชากร ระยะห่างจากป่าไม้ ระยะห่างจากแหล่งน้ำ ระยะห่างจากพื้นที่นา ดัชนีของลูกน้ำยุง (HI CI BI) ความหนาแน่นของยุงตัวเต็มวัยนอกบ้าน ปัจจัยภูมิอากาศที่มีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ป่วยมาลาเรีย ได้แก่ ปริมาณฝน อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์

สุพิชฌาย์ ธนาบุญ และ จินตนา อมรสงวนสิน (2553) [12] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยจังหวัดอ่างทอง โดยพบว่า สาเหตุหลักสำคัญที่ทำให้เกิดอุทกภัยในเขตพื้นที่จังหวัดอ่างทอง ได้แก่ ปริมาณน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาที่ไหลผ่านเกินปริมาณความจุของแม่น้ำได้ และสาเหตุรองลงมาคือปริมาณน้ำฝนที่ตกหนักในพื้นที่ ประกอบกับลักษณะทางกายภาพของจังหวัดอ่างทองเป็นที่รองรับน้ำหลากจากพื้นที่ตอนบน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะทางกายภาพมีผลต่อการเกิดอุทกภัยในจังหวัดอ่างทองเป็นอย่างยิ่ง คณะผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลของพื้นที่ จำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่ม ๆ หรือเป็นระดับของปัจจัย หลังจากนั้นใช้หลักการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบพิจารณาหลายเกณฑ์ (MCDA) โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการให้ค่าน้ำหนักคะแนนความเหมาะสมของปัจจัย (Weighting) และการให้ค่าน้ำหนักคะแนนตามระดับของปัจจัย (Rating) และได้จัดทำแผนที่แสดงพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยของจังหวัดอ่างทองขึ้น โดยแบ่งเขตที่เสี่ยงอุทกภัยสูงเป็นพื้นที่ 952.01 ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 99.23 ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่เสี่ยงอุทกภัยปานกลาง เป็นพื้นที่ 7.37 ตร.กม. คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 0.77 ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อได้ทราบเขตพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยในระดับต่าง ๆ แล้วทำให้สามารถบูรณาการมาตรการพยากรณ์และการเตือนภัยน้ำท่วม มาตรการการใช้โครงสร้างทางวิศวกรรมและไม่ใช่โครงสร้างทางวิศวกรรมมาใช้เป็นแนวทางป้องกัน และบรรเทาผลกระทบจากการเกิดอุทกภัยได้

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงพื้นที่ที่อ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลก โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ มีประโยชน์ในการแสดงผลข้อมูลเชิงพื้นที่ ซึ่งข้อมูลเชิงพื้นที่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทบอกตำแหน่งเชิงสัมพัทธ์ ซึ่งไม่สามารถบอกตำแหน่งได้อย่างแน่ชัด แต่สามารถนำข้อมูลนั้นมาเทียบเคียง เพื่อหาพื้นที่ใกล้เคียงได้ และ 2) ข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทบอกตำแหน่งสมบูรณ์ ซึ่งสามารถบอกตำแหน่งได้อย่างแน่ชัด โดยไม่ต้องใช้ข้อมูลเทียบเคียงใด ๆ แต่ต้องทราบพิกัดทางภูมิศาสตร์ ได้แก่ แลติจูด ลองจิจูด เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด พบว่า งานวิจัยที่มีข้อมูลเชิงพื้นที่แบบไม่สามารถบอกตำแหน่งได้อย่างแน่ชัด เช่น ณ ระดับความสูงที่ถูกบดบังจากภูมิประเทศ เป็นต้น จะใช้วิธีถ่ายภาพจากอากาศยานไร้คนขับ หรือส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ เพื่อให้ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ ก่อนเข้าค้นหาและช่วยชีวิตต่อไป ดังเช่นงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิตของ ชัยญาวัจน์ สติภัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง (2564) [2] เป็นต้น ส่วนงานวิจัยที่มีข้อมูลเชิงพื้นที่แบบทราบตำแหน่งที่แน่ชัดจะเป็นการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์หาเส้นทางที่รวดเร็วหรือสะดวกมากที่สุด การวิเคราะห์หาสิ่งอำนวยความสะดวกที่ใกล้ที่สุด การวิเคราะห์พื้นที่ให้บริการ หรือการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายทาง เป็นต้น ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของของธัญญรัตน์ ไชยคราม (2561) [9] ซึ่งศึกษาวิจัยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อแสดงตำแหน่งของแหล่งท่องเที่ยวในเขตพื้นที่ 12 เมืองในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง

โดยวิเคราะห์เชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งท่องเที่ยวและคำนวณหาเส้นทาง เพื่อจัดทำแผนที่เกี่ยวกับการพิจารณาเลือกเส้นทางท่องเที่ยวที่มีความเหมาะสมที่สุด หรืองานวิจัยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินของโรงพยาบาลและมูลนิธิในการให้บริการทางการแพทย์ฉุกเฉินของพื้นที่เมืองพิษณุโลกต่อประชากรผู้สูงอายุภายในระยะเวลาตามข้อกำหนดของสำนักสาธารณสุข ของเสาวลักษณ์ เทียนส้ม (2564) [7] เพื่อหาแบบจำลองพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับจุดจอดรถฉุกเฉิน เป็นต้น

ทั้งนี้ สำหรับการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาเฉพาะการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ประเภทบอกตำแหน่งสมบูรณ ซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอนของจุดที่ต้องการศึกษา โดยนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ทบทวนวรรณกรรมนี้มาประยุกต์ใช้กับการเข้าช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานเกิดอุบัติเหตุโดยต้องเดินทางตามเส้นทางที่คาดการณ์ว่าจะพบตำแหน่งของอากาศยาน ซึ่งเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้เวลานาน เนื่องจากสภาพป่าไม้ที่ปกคลุมอย่างหนาแน่น รวมถึงพื้นที่ลาดชันของภูเขา และหากตัดสินใจเลือกใช้เส้นทางเข้าไปช่วยเหลือที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้การปฏิบัติการเกิดความล่าช้า ส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยของผู้ประสบภัย ดังนั้นการที่หน่วยเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการค้นหาและช่วยเหลือทราบถึงกระบวนการหรือขั้นตอนในการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อให้ได้ข้อมูลเส้นทางในการเข้าช่วยเหลือที่ปลอดภัย และมีความรวดเร็วมากที่สุด ก็จะทำให้สามารถช่วยเหลือผู้ประสบภัยได้อย่างทัน่วงที

4. การดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้วิธีการศึกษาวิจัยเอกสาร ซึ่งประกอบด้วยเอกสารเกี่ยวกับแนวทางปฏิบัติการจัดการค้นหาและช่วยชีวิตของกรมปฏิบัติการพิเศษ หน่วยบัญชาการอากาศโยธิน กองทัพอากาศ รวมถึงเอกสาร รายงาน และ บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับภารกิจต่าง ๆ ทั้งการหาเส้นทางเพื่อช่วยเหลือค้นหาและผู้ประสบภัย หรือภารกิจที่จำเป็นต้องใช้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ โดยศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องทั้งของหน่วยงานภายในกองทัพอากาศ และหน่วยงานภายนอกกองทัพอากาศ ทั้งนี้งานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางกรณีทราบตำแหน่งที่แน่นอนของอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ จากนั้นรวบรวมข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เนื้อหา ดีความ และสังเคราะห์เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุต่อไป

5. ผลการวิจัย

จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พบว่า กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ตามภารกิจต่าง ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด สิ่งอำนวยความสะดวกที่ใกล้ที่สุด หรือการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดปลายทางที่น้อยที่สุด ประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพิภพ และการสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ดังสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับภารกิจด้านต่าง ๆ

กระบวนการ/ วิธีการ	ใช้ในการกิจ	ประโยชน์	เงื่อนไขของ กระบวนการ/วิธีการ	ตัวอย่างเอกสาร/ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การวิเคราะห์ข้อมูล เชิงพื้นที่	-ค้นหาและช่วยเหลือ ผู้ประสบภัย -ศึกษาและประยุกต์ใช้ ข้อมูลเชิงพื้นที่ใน งานด้านต่าง ๆ	-ทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับ ลักษณะภูมิประเทศและ นำข้อมูลมาทำแผนที่ ของบริเวณพื้นที่เป้าหมาย ที่ต้องการ	-ข้อมูลที่ได้จากแผนที่ จะทราบข้อมูลเพียง ลักษณะภูมิประเทศ แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ หาเส้นทางที่ต้องการ อย่างละเอียดได้	-ภาคินัย ชัยเจริญวุฒิ และคณะ (2563) ได้ ศึกษาการประยุกต์ใช้ ข้อมูลจากสื่อสังคม ออนไลน์ ร่วมกับ ข้อมูลเชิงพื้นที่และ เวลาในการจัดสรรจุด จอร์จพยาบาณุกิน -สรุณา แก้วพิบูลย์ (2555) ได้ศึกษาการ ประยุกต์ใช้ระบบ สารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อวิเคราะห์ หาพื้นที่เสี่ยงต่อการ ระบาดโรคมาลาเรีย ในจังหวัดสุรินทร์
การวิเคราะห์ข้อมูล เชิงพื้นที่	-ค้นหาและช่วยเหลือ ผู้ประสบภัย -ศึกษาและประยุกต์ใช้ ข้อมูลเชิงพื้นที่ใน งานด้านต่าง ๆ	-ทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับ ลักษณะภูมิประเทศและ นำข้อมูลมาทำแผนที่ ของบริเวณพื้นที่เป้าหมาย ที่ต้องการ	-ข้อมูลที่ได้จากแผนที่ จะทราบข้อมูลเพียง ลักษณะภูมิประเทศ แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ หาเส้นทางที่ต้องการ อย่างละเอียดได้	-สุพิชฌาย์ ธนารุณ และ จินตนา อมร สงวนสิน (2553) ได้ ศึกษาการประยุกต์ใช้ ระบบสารสนเทศ ภูมิศาสตร์ในการ กำหนดพื้นที่เสี่ยง อุทกภัยจังหวัดอ่างทอง -อาศิรา ราชเวียง (2561) ศึกษาวิจัยการ พัฒนาระบบสารสนเทศ ทางภูมิศาสตร์เพื่อ ส่งเสริมอุตสาหกรรม ท่องเที่ยวลุ่มแม่น้ำท่าจีน

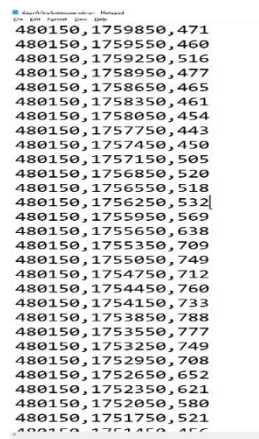
ตารางที่ 1 กระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับภารกิจด้านต่าง ๆ (ต่อ)

กระบวนการ/ วิธีการ	ใช้ในการกิจ	ประโยชน์	เงื่อนไขของ กระบวนการ/วิธีการ	ตัวอย่างเอกสาร/ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่	- ค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย - ศึกษาและประยุกต์ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในงานด้านต่าง ๆ	- เปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ให้เป็นข้อมูลพิกัดทำให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นทางได้	- มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยในการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ให้เป็นข้อมูลพิกัด เช่น Global Mapper หรือ โปรแกรม UTM Conversions เป็นต้น - สามารถวิเคราะห์หาเส้นทางได้ แต่สำหรับการวิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดนั้นจำเป็นต้องสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) เพื่อให้วิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการได้	- อาศิรา ราชเวียง (2561) ศึกษาวิจัยการพัฒนาสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมท่องเที่ยวกลุ่มแม่น้ำท่าจีน
การสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database)	- ช่วยให้สามารถค้นหาและสืบค้นข้อมูลที่ต้องการได้ง่ายและรวดเร็ว - ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลด้านภูมิศาสตร์มีความสะดวกและถูกต้อง แม่นยำ	- ใช้ในการกิจที่ต้องอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่เพื่อให้สามารถปฏิบัติการสำเร็จ เช่น การเข้าช่วยเหลือพื้นที่ประสบอุทกภัยหรือช่วยเหลือผู้สูญหายในป่า เป็นต้น	- ต้องใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ ในการเชื่อมต่อข้อมูลชุดตัวเลขลงในระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์	- รัชญรัตน์ ไชยคราม (2561) ศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์โดยมีการแสดงตำแหน่งของแหล่งท่องเที่ยวเพื่อนำมาวิเคราะห์โครงข่ายของเส้นทางและสร้างความเชื่อมโยงของฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งที่ตั้ง และจัดทำแผนที่เกี่ยวกับทางเลือกของเส้นทางการท่องเที่ยวและการเข้าถึงแหล่งท่องเที่ยว

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อัปเดตที่เนื้อหาจากตารางที่ 1 ทำให้สามารถสังเคราะห์เป็นกระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ ซึ่งประกอบด้วย

1. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยเป็นการเก็บข้อมูลแบบจุดแต่ละจุดจนครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการเพื่อจัดทำเป็นแผนที่ ซึ่งการเก็บข้อมูลแบบจุดแต่ละจุดนี้อาจดำเนินการเก็บโดยคน หรืออากาศยานไร้คนขับ แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากแผนที่จะทำให้ทราบลักษณะของภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ที่มีความสูง ต่ำ เท่าใด แต่ในการวิเคราะห์หาเส้นทางนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบอย่างละเอียดว่าบริเวณพื้นที่เป้าหมายตั้งอยู่บนละติจูด และลองจิจูดที่เท่าไร ซึ่งต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ให้เป็นข้อมูลพิกัดต่อไป

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพิกัด เป็นกระบวนการในการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ให้เป็นข้อมูลพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูง ซึ่งวิธีการในการจะเปลี่ยนข้อมูลเชิงพื้นที่ให้กลายเป็นข้อมูลพิกัดนั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องมือช่วยในการเปลี่ยน คือการใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ โดยตัวอย่างการเปลี่ยนข้อมูลจากแผนที่ ให้กลายเป็นข้อมูลพิกัดละติจูด ลองจิจูด และความสูง แสดงดังรูปที่ 1



```

480150,1759850,471
480150,1759550,460
480150,1759250,516
480150,1758950,477
480150,1758650,465
480150,1758350,461
480150,1758050,454
480150,1757750,443
480150,1757450,450
480150,1757150,505
480150,1756850,520
480150,1756550,518
480150,1756250,532
480150,1755950,569
480150,1755650,638
480150,1755350,709
480150,1755050,749
480150,1754750,712
480150,1754450,760
480150,1754150,733
480150,1753850,788
480150,1753550,777
480150,1753250,749
480150,1752950,708
480150,1752650,652
480150,1752350,621
480150,1752050,580
480150,1751750,521
480150,1751450,471
  
```

รูปที่ 1 การแสดงค่าของ ละติจูด, ลองจิจูด, ความสูง

3. การสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยนำชุดข้อมูลพิกัดมาจัดเก็บลงในฐานข้อมูล ซึ่งต้องใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมต่อข้อมูลชุดตัวเลขลงในระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ โดยตัวอย่างชุดตัวเลขที่จัดเก็บในระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 2

+ Options					id	lon	lat	elev
☐				Edit Copy Delete	1	101.2773760803	14.8863061896	231.687
☐				Edit Copy Delete	2	101.2773760803	14.8862561896	231.767
☐				Edit Copy Delete	3	101.2773760803	14.8862061896	231.847
☐				Edit Copy Delete	4	101.2773760803	14.8861561896	231.928
☐				Edit Copy Delete	5	101.2773760803	14.8861061896	232.018
☐				Edit Copy Delete	6	101.2773760803	14.8860561896	232.198
☐				Edit Copy Delete	7	101.2773760803	14.8860061896	232.378
☐				Edit Copy Delete	8	101.2773760803	14.8859561896	232.558
☐				Edit Copy Delete	9	101.2773760803	14.8859061896	232.738
☐				Edit Copy Delete	10	101.2773760803	14.8858561896	232.918
☐				Edit Copy Delete	11	101.2773760803	14.8858061896	233.195
☐				Edit Copy Delete	12	101.2773760803	14.8857561896	233.555

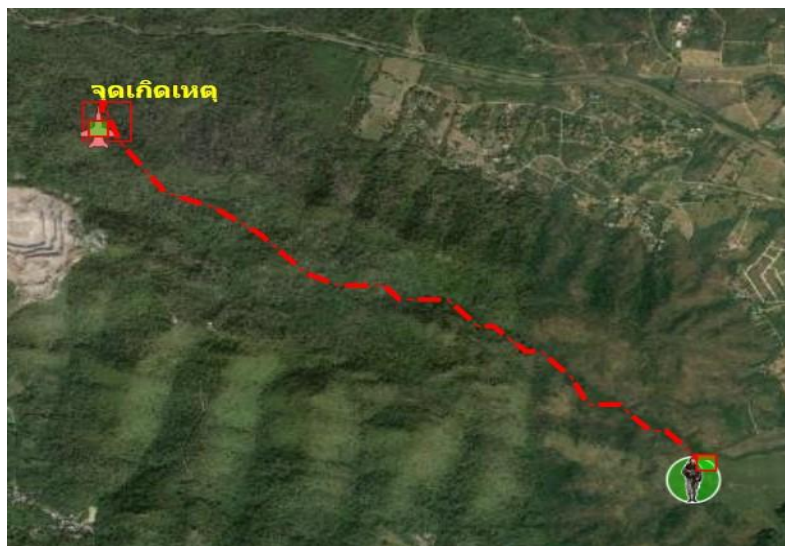
รูปที่ 2 การจัดเก็บข้อมูลชุดตัวเลขลงในระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์

โดยระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) นี้จะเป็นแหล่งจัดเก็บข้อมูลชุดตัวเลข เพื่อนำมาใช้ในการเขียนชุดคำสั่งในการกำหนดและคำนวณหาเส้นทางต่อไป ซึ่งการเขียนชุดคำสั่งในการกำหนด และคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมมากที่สุดจากสมการทางคณิตศาสตร์ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3

```
//3.initial the slope
var direction = calculateDirection(startPoint.lon,startPoint.lat,stopPoint.lon,stopPoint.lat);
```

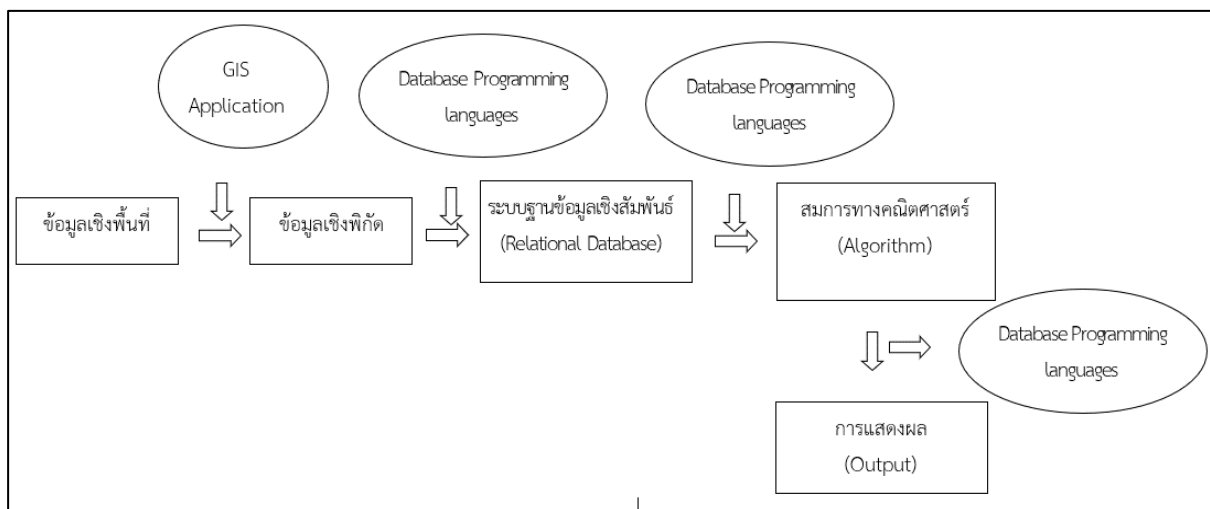
รูปที่ 3 ตัวอย่างชุดคำสั่งได้จากการคำนวณจากสมการทางคณิตศาสตร์
ในการกำหนดทิศทางเพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสมมากที่สุด

4. การประมวลผลบนเครือข่ายหรือแอปพลิเคชัน ซึ่งเป็นกระบวนการแสดงผลออกมาเป็นเส้นทาง หลังจากการได้รวมข้อมูลชุดคำสั่งในการคำนวณหาเส้นทางกับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) เรียบร้อยแล้ว โดยการแสดงผลออกมาเป็นเส้นทางต้องใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ เป็นเครื่องมือช่วยดำเนินการดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) ออกมา เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นทาง จากนั้นใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์อีกภาษาหนึ่งในการทำหน้าที่ประมวลผลการวิเคราะห์หาเส้นทางออกมา ทั้งนี้ตัวอย่างการประมวลผลบนเครือข่ายหรือแอปพลิเคชันแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การแสดงเส้นทางที่ดีที่สุดในการเข้าไปช่วยเหลือผู้ประสบภัยที่ได้จากการประมวลผล

จากกระบวนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น จึงอาจสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทาง เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัย เริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อจัดทำเป็นแผนที่ จากนั้นเปลี่ยนข้อมูลในแผนที่ให้เป็นข้อมูลพิกัด โดยใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ในการแปลงข้อมูลเชิงพื้นที่ให้กลายเป็นพิกัด และทำการสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์ในการเชื่อมข้อมูลพิกัดลงในระบบฐานข้อมูล จากนั้นทำการเขียนชุดคำสั่งในการกำหนด และคำนวณหาเส้นทางจากสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเมื่อได้ชุดคำสั่งที่ต้องการแล้ว จะนำชุดคำสั่งนี้ไปใช้กับระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์เพื่อวิเคราะห์หาเส้นทางที่ดีที่สุด และกระบวนการสุดท้ายเป็นการประมวลผลบนเครือข่ายหรือแอปพลิเคชัน โดยใช้โปรแกรมภาษาทางคอมพิวเตอร์ เพื่อดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลและประมวลผลออกมาเป็นเส้นทาง โดยแสดงผลผ่านทางเครือข่าย หรือแอปพลิเคชัน ซึ่งสามารถแสดงความเชื่อมโยงของกระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทาง เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความเชื่อมโยงของกระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทาง เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ

6. สรุป

การศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) สำหรับการค้นหาเส้นทางในการช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ ที่มีความยากลำบากในการเข้าไปช่วยเหลือ เนื่องจากสภาพป่าไม้ที่ปกคลุมอย่างหนาแน่น รวมถึงพื้นที่ลาดชันของภูเขา และเพื่อนำเสนอข้อมูลที่ได้อ่านจากการศึกษาให้แก่หน่วยที่เกี่ยวข้องด้านการค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัยของกองทัพอากาศต่อไป โดยผลการศึกษาพบว่ากระบวนการในการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพิกัด การสร้างระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ การเขียนชุดคำสั่งในการกำหนดและคำนวณหาเส้นทางจากสมการทางคณิตศาสตร์ และการประมวลผลบนเครือข่ายหรือแอปพลิเคชัน ตามลำดับ

7. ข้อเสนอแนะ

7.1 ควรมีการศึกษาวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ร่วมกับเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น ดาวเทียม อากาศยานไร้คนขับ การใช้เรดาร์ การส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ ฯลฯ ในการหาเส้นทางเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยจากอากาศยานที่เกิดอุบัติเหตุ

7.2 ควรมีการศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการช่วยเหลือผู้ประสบภัยกรณีอื่น ๆ เช่น ผู้สูญหายในป่า การช่วยเหลือผู้ประสบอุทกภัยพื้นที่ต่าง ๆ เป็นต้น

7.3 ควรมีการนำแนวทางศึกษาของกระบวนการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์สำหรับการหาเส้นทางเพื่อค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัยไปสร้างโปรแกรมใช้งานจริง และให้ผู้ปฏิบัติทำการใช้โปรแกรมการประมวลผลกับการกิจการเข้าไปช่วยเหลือจริง

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก นาวาอากาศเอก ณฐพงศ์ ตาละลักขมณ อาจารย์โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศที่ได้สละเวลาอันมีค่า ช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องด้วยความเอาใจใส่ และขอขอบคุณ นาวาอากาศเอก ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง อาจารย์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช ที่ช่วยให้คำปรึกษา แนะนำในด้านต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองทัพอากาศ. (2563). ยุทธศาสตร์กองทัพอากาศ 20 ปี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.2563). สืบค้น 12 มีนาคม 2565, จาก www.rtaf.mi.th/Documents/Publication/RTAF%20Strategy_Final_04122563.pdf
- [2] สุพิจิจารย์ ธรรมวาทะเสรี. (2563). แนวทางการพัฒนาการใช้อากาศยานไร้คนขับช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ. วารสารรัฐกิจกริษฐ์, ปีที่ 64(3): 10-18.
- [3] ชัญญวรัตน์ สถิตภัทรสมบัติ และ ภูมิพัฒน์ ดวงกลาง. (2564). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเซลลูลาร์ในการติดตามอากาศยานสำหรับการค้นหาและช่วยชีวิต. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นายเรืออากาศ, ปีที่ 17(1) : 60 - 70.
- [4] อุทุมพร อินทร์จอหอ และ ธัญญรัตน์ ไชยคราม. (2552). การวิเคราะห์โครงข่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อหาแบบจำลองที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับจุดรองรับขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลนครนครราชสีมา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. ปทุมธานี.
- [5] Andrew, J. H., Stefan, H., & Elisabeth, B. (2008). A multi-objective model for environmental investment decision making. Comput. Oper. Res., 35(1), 253–266.
- [6] Worral, L. (1991). Spatial analysis and spatial policy using geographic information system. London: Belhaven Press.
- [7] เสาวลักษณ์ เทียนส้ม. (2564). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อจัดสรรจุดจอดรถฉุกเฉินสำหรับบริการผู้สูงอายุ กรณีศึกษา พื้นที่เมือง จังหวัดพิษณุโลก. ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยนเรศวร.พิษณุโลก.
- [8] ภากินัย ชัยเจริญวุฒิ และคณะ. (2563). การประยุกต์ใช้ข้อมูลหลายปัจจัยเชิงพื้นที่และเวลาร่วมกับข้อมูลจากสื่อสังคมออนไลน์ด้วยวิธีการแสดงผลข้อมูลสำหรับการจัดสรรจุดจอดรถพยาบาลฉุกเฉิน. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน. 8(1): 26 -36.
- [9] ธัญญรัตน์ ไชยคราม. (2561). การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อวิเคราะห์เส้นทางทางท่องเที่ยว เขตพื้นที่ 12 เมือง ต้องห้าม...พลัดในกลุ่มการท่องเที่ยวภาคกลาง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 26 (7): 1117 - 1127.

- [10] อาศิรา ราชเวียง. (2561). การพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรมท่องเที่ยวลุ่มแม่น้ำท่าจีน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี, ปีที่ 12 (28): 37 - 51.
- [11] สรญา แก้วพิบูลย์. (2555). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการระบาดของโรคมลาเรียในจังหวัดสุรินทร์. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2554. นครราชสีมา.
- [12] สุพิชฌาย์ ชนารุณ และ จินตนา อมรสงวนสิน. (2553). การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการกำหนดพื้นที่เสี่ยงอุทกภัยจังหวัดอ่างทอง. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม, ปีที่ 6(2): 19-34.



Published by
Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy
www.nkrafa.ac.th/journal