ระบบติดตามหุ่นยนต์รถและจัดการม้วนกระดาษด้วยบีคอน แบบคลื่นเสียงและอาร์เอฟไอดี

กวิสรา บุญจันทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2563

Mobile Robot Tracking and Roll Paper Management using Ultrasonic Beacons and UHF RFID

KAWISARA BOONJUN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

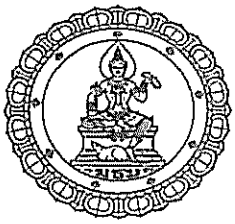
for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication Engineering

College of Innovative Technology And Engineering,

Dhurakij Pundit University

2020



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบติดตามรถและจัดการม้วนกระดาษด้วยบีคอนแบบคลื่นเสียงและอาร์เอฟไอดี

เสนอโดย นางสาวกวิสรา บุญจันทร์

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดยคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์แล้ว

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท)

วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์รับรองแล้ว

.....คณบดีวิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์)

วันที่ ...๑... เดือน ...ก.ค.... พ.ศ. ...๒๕๖๓...

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบติดตามหุ่นยนต์รถและจัดการม้วนกระดาษด้วยบีคอนแบบคลื่นเสียงและอาร์เอฟไอดี
ชื่อผู้เขียน	กวิสรา บุญจันทร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยยศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์รถที่สามารถติดตามตำแหน่งและระบุตัวตนของม้วนกระดาษจำลองจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยการเคลื่อนย้ายวัสดุในคลังสินค้าปกติจะต้องใช้เจ้าหน้าที่ขับรถยก (Forklift) ยกสินค้าตามคำสั่งที่ได้รับพร้อมทั้งรายงานจำนวนสินค้าคงเหลือ แต่จำนวนที่รายงานอาจจะคลาดเคลื่อนจากการจดจำของมนุษย์

ระบบติดตามหุ่นรถเคลื่อนที่และจัดการกับม้วนกระดาษนี้ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขับรถยกของพนักงาน อีกทั้งยังสามารถลดความเสี่ยงของบุคลากรที่ดำเนินการขับรถยกเคลื่อนย้ายวัสดุในคลังสินค้าและลดเวลาในการจัดเก็บข้อมูลสินค้า โดยระบบขนส่งเคลื่อนย้ายนี้สามารถแสดงตำแหน่งการเคลื่อนที่ของหุ่นรถภายในแผนที่คลังสินค้าโดยใช้พิกัดของ แกน x แกน y และแกน z นอกจากนั้นระบบยังสามารถติดตามสถานะการเคลื่อนย้ายของสินค้าและจัดการกับม้วนกระดาษแต่ละชิ้น

จากผลการทดสอบการติดตามหุ่นรถและระบุตัวตนของสินค้าพบว่าหุ่นรถสามารถอ่านแท็กได้อย่างแม่นยำผ่านกระดาษที่มีความหนาได้ไม่เกิน 37.5 เซนติเมตร อีกทั้งหุ่นรถยังสามารถบอกตำแหน่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ โดยความสามารถในการบอกตำแหน่งมีความคลาดเคลื่อนและความหน่วงไม่มากกว่า +/-2 เซนติเมตร และเฉลี่ย 1 วินาที ตามลำดับ

Thesis Title	Mobile Robot Tracking and Roll Paper Management using Ultrasonic Beacons and UHF RFID
Author	Kawisara Boonjun
Thesis Advisor	Asst.prof.Narongdech Keeratipranon, Ph.D.
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2019

Abstract

The principal objective of this research project is to design and develop a car robot that can track the position and identify of a simulated paper roll from a personal computer. By moving the material in the normal warehouse, it is necessary to use the forklift driver to lift the goods according to the order received as well as report the number of inventories. But the number of reports may be incorrect from human recognition

This mobile robot is designed and developed to increase the efficiency of forklift drivers. It can also reduce the risk of personnel driving forklift trucks moving materials in the warehouse and reducing the time to store product information. This transport system can display the position of the movement of the car robot using the x-axis, y-axis and z-axis within warehouse. In addition, the system can track the movement status and manage each roll paper.

Based on the results of the tracking of the car puppet and identifying the product, it was found that the robot can read the tag precisely through the thickness of the paper more than 13 centimeters. In addition, the robot can also position coordinates via a personal computer. With the ability to tell the position with no more than +/- 2 cm in error and 1 second delay respectively.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าเพื่อให้เกิดองค์ความรู้ที่สามารถนำมาใช้ได้จริงด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม ในระดับมหาบัณฑิตจะประสบผลสำเร็จไม่ได้ หากไม่ได้รับการถ่ายทอดความรู้ ความเชี่ยวชาญ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ณรงค์เดช กีรติพรานนท์ ที่สั่งสอนศิษย์ด้วยความวิริยะ อุตสาหะ ความเอื้อเฟื้อ ชี้แนะ ตรวจสอบ แก้ไข รวมทั้งให้กำลังใจ จนเกิดผลสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์อย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่เป็นกำลังใจอบรมและชี้แนะตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้ชีวิต ให้โอกาสลูกในการศึกษา มีความอดทนเสียสละความสุขส่วนตนอยู่เคียงข้างลูกมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโทรุ่น 59 ทุกท่าน ที่เป็นกำลังใจ สนับสนุนรวมทั้งพี่ๆ นักวิจัยชมรมหุ่นยนต์ CITE ที่คอยให้คำแนะนำเสมอมา

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจทุกท่านและจะเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมต่อไป

กวิสรา บุญจันทร์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญภาพ ..... ฌ
บทที่
1. บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย 4
1.6 ภาพรวมของระบบ 4
1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา 6
1.8 องค์ความรู้สำคัญ 7
1.9 โครงสร้างของรายงาน 7
1.10 ผลงานตีพิมพ์ 9
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10
2.1 การขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม 10
2.2 ประเภทของรถยกและเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่ง 12
2.3 ปัญหาของรถยกในโรงงานอุตสาหกรรม 17
2.4 การระบุตำแหน่งของสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม 19
2.5 ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยีที่วิจัยเราเลือกใช้ 27
2.6 ซอฟแวร์ที่ใช้พัฒนาระบบ 36
2.7 สรุปเนื้อหา 39

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3. การวางแผนและการออกแบบระบบ	40
3.1 ภาพรวมของระบบ	40
3.2 การออกแบบอุปกรณ์	42
3.3 การระบุตำแหน่ง	44
3.4 การระบุตัวตนของม้วนกระดาษ	49
3.5 การดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ	54
3.6 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ	62
3.7 สรุปเนื้อหา	69
4. ผลการทดลอง	70
4.1 การทดสอบการใช้งานระบบ	71
4.2 การทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของระบบ	78
4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ	82
4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Hardware ในการควบคุมการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถ	93
4.5 สรุปเนื้อหา	94
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	95
5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	95
5.2 การบรรลุวัตถุประสงค์	99
5.3 องค์ความรู้สำคัญ	99
5.4 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาต่อ	99
5.5 สรุปเนื้อหา	100
บรรณานุกรม	101
ประวัติผู้เขียน	104

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 แสดงข้อกำหนดการทำงานของระบบที่ใช้ในบีคอน Mavelmind ที่เหมาะสม 46
3.2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของบีคอน Marvelmind 46
3.3 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของ อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID 51
3.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง FONKAN UHF RFID Integrated Module No. FM505 กับสายยูเอสบี TTL232 อินเทอร์เฟซ 53
3.5 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของจอ LCD และ OLED สำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถ . 58
3.6 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD กับ OLED 59
3.7 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของ Matrix Keypad 4x4 และ Grove Blue LED button 60
3.8 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD กับ OLED 62
4.1 แสดงรายชื่อไฟล์ทั้งหมดที่ใช้เป็นฐานข้อมูล, รูปภาพ และ Python Scripts 91
4.2 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษ..... 93
5.1 ความสามารถในการทำงานของระบบ 97

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 แสดงการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษของบริษัท MHE DMAG 2

1.2 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ 4

1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....……..... 5

1.4 ภาพรวมของระบบที่พัฒนา……...……. 6

2.1 รถยกทั่วไป .....…..... 14

2.2 รถยกที่ใช้เทคโนโลยี …….... 17

2.3 แสดงการระบุตำแหน่งในคลังสินค้าห้องเย็น 20

2.4 แผนผังไดอะแกรมของ Network Scenario ……..……..…….. 21

2.5 แสดงแผนที่กริดในคลังสินค้าขนาดพื้นที่ประมาณ 20 × 35 เมตร วงกลมสีแดง หมายถึงจุดเด่นของวัสดุที่รองรับชั้นวางพาเลทในแนวตั้ง 22

2.6 รถยก ETV 216 ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับวิจัยการนำทางด้วยกล้อง TOF แบบ 3 มิติ … 23

2.7 แสดงการทำแผนที่ด้วยเทคนิค SLAM และ AMCL กับ กล้อง ToF ……..... 23

2.8 การตรวจจับบาร์โค้ด 2D เป้าหมาย (ก) เสียงหึ่งๆที่กำลังค้นหาดังทั่วคลังสินค้า ใช้วิธีการค้นหาแบบละโมบ (greedy search) แต่ (ข) เป็นการหาเส้นทางสั้นสุดจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังบาร์โค้ด 2 มิติ เป้าหมาย..... 24

2.9 (ก) แสดงการตรวจพบบาร์โค้ดในรูปภาพของคลังสินค้า และรูป (ข) แสดงการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดในรูปภาพของคลังสินค้า …….....……. 25

2.10 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบการวางแผนเส้นทางตามรหัส QR …….....…... 26

2.11 รูปแบบการวางแผนเส้นทาง (แสดงสติ๊กเกอร์ QR เป็นสีต่างๆเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น) . 26

2.12 การใช้อัลกอริทึมในการปฏิบัติงานกับโหนดเป้าหมาย 27

2.13 ขั้นตอนการประมวลผลของวิธีการระบุตำแหน่ง UGV .....…….....…… 29

2.14 โมดูลทดสอบตัวรับสัญญาณปลุกพร้อมด้วย IC ปลุก ……..……... 31

2.15 ตัวอย่างระบบระบุตำแหน่งด้วยบีคอน แต่ละบีคอนวางที่ Offices (Ox), พื้นที่คลังสินค้า (Fx) ตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ เช่น ทางลาดสำหรับบรรทุกสินค้า (Lxx, Gx) 31

2.16 การแพร่กระจายสัญญาณจากภายในมุมขวาด้านบนของห้องสำนักงานปิด ที่ RSSI วัดได้ 4 ระดับ (0 ถึง 3) โดยใช้ตัวรับสัญญาณปลุก 32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.17 หุ่นยนต์วอล์คเกอร์แบบมีล้อที่มีเครื่องอ่าน UHF-RFID ของ Impinj และเสาอากาศ UHF-RFID ของ CAEN RFID 33
2.18 สถานการณ์ในอาคารพร้อมด้วยแท็ก UHF-RFID เชิงพาณิชย์ ขนาด 6 × 9 ในพื้นที่ 40 ตารางเมตรและระบบจับการเคลื่อนไหว OptiTrack..... 33
2.19 ตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่เสาอากาศของเครื่องอ่านที่วัดโดยระบบวิชั่น ตำแหน่งแท็กแสดงด้วย วงกลมสีดำ) และเส้นทางที่ตรวจพบแท็กบางอย่างจะแสดงด้วยเส้นที่เป็นสีแดง น้ำเงิน และเขียว 34
2.20 การจัดเตรียมการทดลอง: a) ตู้โลหะพร้อมที่เก็บเอกสารที่ติดแท็ก b) กล่องกระดาษซ้อนกัน แท็กอ้างอิงอยู่ในวงกลมสีแดง 36
2.21 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในวิจัยนี้บางส่วนโดยโปรแกรม Qt Creator หน้า Designer 38
3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ 40
3.2 ภาพรวมของระบบ 41
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แพลตฟอร์มรถเคลื่อนที่ (ซ้าย) และภาพรวมเครื่องมือวิจัยนี้ (ขวา) 42
3.4 แสดงการติดตามการเคลื่อนที่ของรถขณะค้นหาม้วนกระดาษ (ซ้าย) และขณะหยิบจับม้วนกระดาษจนถึงปลายทาง (ขวา) วงกลมสีแดงแต่ละอันแทนตำแหน่งที่ติดตั้ง Stationary Beacon 43
3.5 ภาพรวมของระบบที่ได้พัฒนา 44
3.6 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของการระบุตำแหน่ง 44
3.7 ชุดอุปกรณ์บีคอนของ Marvelmind 45
3.8 หน้าตา Dashboard ของโปรแกรมบีคอน Marvelmind บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล 48
3.9 ตัวอย่างหน้าตาการติดตามตำแหน่งรถจากบีคอน ผ่านโปรแกรม Python3 IDE 48
3.10 ภาพแสดงการเชื่อมต่อกับชุดควบคุม Raspberrypi3 model b (ซ้าย) กับ โมบายบีคอน (ขวา) 49
3.11 แสดงพิกัดตำแหน่งรถในงานวิจัย 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.12 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนของระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ 50

3.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก RFID 51

3.14 อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID Integrated Module No.FM-505 51

3.15 ตัวอย่างหน้าตาการแสดงผลจากการสแกนแท็กของเครื่องอ่าน RFID ผ่านโปรแกรม Python IDE 52

3.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ FONKAN UHF RFID Integrated Module No. FM-505 กับ Raspberry Pi 53

3.17 แสดงข้อมูลเลขรหัส RFID ใน Text file 54

3.18 แสดงรหัสที่ใช้ระบุตัวตนของแท็ก RFID จากการสแกนด้วย อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID Integrated Module No.FM-505 54

3.19 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการแสดงผลทางหน้าจอ สำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถ 55

3.20 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการแสดงผลทางหน้าจอ สำหรับผู้ดูแลระบบ 56

3.21 แสดงข้อความที่ปรากฏบนจอ LCD ที่ติดอยู่บนรถ..... 56

3.22 แสดงข้อความที่ปรากฏบนจอ OLED ที่ติดอยู่บรถ 57

3.23 LCD Display 20X4 (Yellow) (ซ้าย) และ OLED Display (Blue) ที่มีความละเอียด 128x64 (ขวา) 57

3.24 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD (ล่างขวา) กับ OLED (บนขวา) 59

3.25 Matrix Keypad 4x4 (ซ้าย) และ Grove Blue LED button [arduinoall] (ขวา) 60

3.26 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ Matrix Keypad 4x4 61

3.27 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ Grove Blue LED button 61

3.28 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ส่วนติดตามรถ 62

3.29 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ 63

3.30 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ..... 64

3.31 การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ 64

3.32 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล 65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.33 การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล 66
3.34 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ 66
3.35 การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ 67
3.36 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ 68
3.37 การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ 68
4.1 แสดงการระบุตัวตนม้วนกระดาษ เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล 72
4.2 แสดงการระบุตัวตนโดยการอ่าน ลบ เขียน ม้วนกระดาษ 72
4.3 แสดงการจัดการส่งข้อมูลของผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ 73
4.4 แสดงข้อมูลคำสั่งที่ผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับจากผู้ดูแลระบบ 74
4.5 แสดงการกรอกรหัสประจำตัวของผู้ปฏิบัติการขับรถพร้อมส่งให้ผู้ดูแลระบบ 74
4.6 แสดงการอ่านรหัสม้วนกระดาษ ขณะที่ทางฝั่งผู้ดูแลระบบสามารถเห็นรหัสประจำตัวพนักงาน รหัสม้วนกระดาษ และผลอ่านที่แสดงว่ารหัสม้วนกระดาษยังไม่ถูกต้อง(ซ้าย) และอ่านรหัสได้ถูกต้อง(ขวา) 75
4.7 แสดงการอ่านรหัสม้วนกระดาษ ขณะที่ทางฝั่งผู้ดูแลระบบสามารถเห็นรหัสประจำตัวพนักงาน รหัสม้วนกระดาษที่อ่านถูกต้อง สถานะกำลังขนย้าย (Carried) ม้วนกระดาษ 76
4.8 แสดงการขนส่งเสร็จสิ้น พร้อมวางม้วนกระดาษลงที่จุดปลายทาง สถานะการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษเปลี่ยนเป็น “Finished” เวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการขนส่งม้วนกระดาษ ตั้งแต่เริ่มใส่รหัสประจำตัวตน ออกค้นหาม้วนกระดาษ อ่านรหัสม้วนกระดาษ ขนย้ายม้วนกระดาษ จนสิ้นสุดลงที่จุดปลายทางสำหรับส่งม้วนกระดาษ 76
4.9 แสดงภาพแผนที่ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบ 77
4.10 แสดงการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษโดยผ่านจุด Mark ทั้ง 9 จุด และจุดปลายทางอยู่ในวงกลมสีเขียว(ซ้าย) 78
4.11 แสดงการติดตามตำแหน่งของรถ ตั้งแต่เส้นทางก่อนถึงจุดเก็บม้วนกระดาษ (ซ้าย) เส้นทาง ขณะที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ (กลาง) และเส้นทางที่ผู้ขับรถวางม้วนกระดาษที่จุดปลายทาง(ขวา) 79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.12 แสดงระยะทางภายในห้องทดสอบที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้สำหรับขนส่งม้วนกระดาษรวมทั้งสิ้น 2,707 เซนติเมตร หรือ 27.07 เมตร 80
4.13 กราฟแสดงเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจากการทดสอบ 30 ครั้ง 80
4.14 แสดงความสามารถของตัวอ่านที่อ่านแท็กของม้วนกระดาษผ่านกระดาษที่มีความหนาถึง 37.5 เซนติเมตร 81
4.15 กราฟแสดงความสามารถของตัวอ่านที่อ่านแท็กของม้วนกระดาษผ่านกระดาษที่มีความหนา (ซม.) 81
4.16 แสดงผลความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจากการทดสอบ 30 ครั้ง 82
4.17 กราฟแสดงผลความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง อักษรสีดำคือพิกัด x, y, ค่าความคลาดเคลื่อน สีแดงคือจุดสังเกตทั้ง 10 จุด 83
4.18 กราฟแสดงความหน่วงเวลาของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษผ่านจุด mark ทั้ง 10 ตำแหน่ง (วินาที) 84
4.19 กราฟแสดงความหน่วงเวลาของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจากการทดสอบ 30 ครั้ง 84
4.20 แสดงความครอบคลุมของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ 85
4.21 กราฟแสดงความครอบคลุมของการระบุตำแหน่งจาก Ultrasonic Beacon 85
4.22 ปุ่ม Admin และWorker ในกรอบสีแดงและน้ำเงิน สำหรับแสดงรายงานการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถตามลำดับ 86
4.23 รายงานข้อมูลม้วนกระดาษแต่ละชิ้นสำหรับผู้ดูแลระบบ 87
4.24 รายงานข้อมูลการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ..... 88
4.25 ไฟล์แสดงรายละเอียดของแต่ละรหัสม้วนประกระดาษที่เก็บอยู่ในไฟล์ประเภทต่าง 88
4.26 แสดงรายละเอียดของแต่ละไฟล์ที่จำเป็นสำหรับระบบระบุตำแหน่งม้วนกระดาษ ... 89
4.27 แสดงรายละเอียดของไฟล์ CSV สำหรับให้ผู้ดูแลระบบติดตามรายละเอียดของแต่ละม้วนกระดาษ(บน) และ ติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ(ล่าง)..... 90
4.28 แสดงไฟล์ที่จัดเก็บตำแหน่งของม้วนกระดาษและตำแหน่งขนส่งปลายทาง 91
5.1 ระบบของ Car Robot Track Trace & Manage 98

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ผู้ปฏิบัติงานขับรถยก (Forklift) ต้องเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษโดยใช้วิธีจดจำชนิดม้วนกระดาษที่ลูกค้าต้องการด้วยตนเองก่อน จากนั้นขับรถค้นหาแล้วจึงส่งมอบกระดาษเหล่านั้น พร้อมทั้งรายงานกิจกรรมการเคลื่อนย้ายที่เกิดขึ้นกับหัวหน้างาน เช่น ขณะนี้ได้ทำการหยิบม้วนกระดาษไหนไปแล้ว และมีการนับจำนวนม้วนกระดาษของแต่ละประเภทที่มีเหลือในคลัง

ปัจจุบันระบบการทำงานของรถยกในโรงงานม้วนกระดาษได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ ASRS (Automated Storage and Retrieval System) ที่เปลี่ยนจากรถยกสูงธรรมดาให้เป็นระบบเครนอัตโนมัติที่ใช้วิ่งบนรางบังคับประสิทธิภาพการทำงานจึงดีกว่าระบบของรถยกที่ใช้มนุษย์ขับ จากนั้นวัสดุสินค้าที่เครนลำเลียงจะเข้ามากองอยู่ในคลังสินค้าภายในตำแหน่งที่กำหนดเพื่อให้รถยกยกสินค้านั้นไปวางที่ตำแหน่งของรถบรรทุกเพื่อการจัดส่งให้ถึงลูกค้ารายย่อยต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ระบบ AGV (Automatic Guided Vehicles) ที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของรถยกให้สามารถทำงานโดยไม่ใช้แรงงานมนุษย์ในการขับขี่ ระบบ RFDC (Radio Frequency Data Communication) ที่มีเทอมินอลส์ (Terminals) ติดตั้งบนตัวรถ ทำให้รถยกสามารถทำงานพร้อมกับสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบบาร์โค้ด (barcode) ที่ใช้ในการนับสินค้าในคลัง การโหลดจ่ายสินค้า รวมทั้งบาร์โค้ด 2 มิติ แบบ QR Code ที่เราสามารถพิมพ์สร้างขึ้นเองได้ ซึ่งทำงานได้เหมือนกับบาร์โค้ดทั่วไป อีกทั้งยังสามารถใช้ในการระบุตำแหน่งของรถยกในโรงงานได้อีกด้วย

ระบบบาร์โค้ดนอกจากจะใช้เมื่อต้องการทราบชื่อรุ่น รหัส และประเภทของม้วนกระดาษแล้วนั้นยังมีข้อบกพร่องในเรื่องของความสามารถที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ไม่สามารถแก้ไขหลังจากข้อมูลได้รับการบันทึก จึงสามารถอ่านข้อมูลได้เท่านั้น อ่านข้อมูลผ่านตัวกลางที่มีคุณสมบัติทึบแสงไม่ได้ ต้องอ่านข้อมูลในแนวเส้นตรง ข้อมูลที่อ่านจำเป็นต้องอยู่ในระยะใกล้

รูปภาพที่มีรอยขีดข่วนหรือชื้นจะทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านได้ มักอ่านข้อมูลซ้ำ และง่ายต่อการปลอมแปลงลอกเลียนแบบ

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาแก้ไขปัญหาของบาร์โค้ด และพัฒนาความสามารถของการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยบีคอน ซึ่งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (Radio Frequency Identification) ประกอบด้วยอุปกรณ์ใช้เก็บข้อมูล (RFID Tag) และเครื่องอ่านข้อมูล (RFID Reader) ที่ใช้ในการระบุสิ่งต่างๆผ่านคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ 30 เฮิรตซ์ ถึง 300 จิกะเฮิรตซ์ เทคโนโลยีบีคอน (Beacon) สามารถทำงานกับทุกแพลตฟอร์มได้ตลอดเวลา โดยไม่ขึ้นกับอินเตอร์เน็ตใช้คำนวณหาระยะห่าง และปลอดภัยต่อการถูกโจรกรรมข้อมูล แต่อาจมีการสแกนข้อมูลล่าช้าและง่ายต่อการได้รับสัญญาณรบกวนอื่นๆ

รวมถึงปัญหาต่างๆที่มีผลต่อรถยกในโรงงานกระดาษ เช่น พื้นที่โรงงานมีขนาดใหญ่ น้ำหนักและความหนาของม้วนกระดาษ ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ระบุตำแหน่งงานวิจัยนี้จึงเกิดแนวคิดในการจำลองรถยกด้วยหุ่นยนต์รถ Alphabot และติดเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีที่ปากของด้านในมือหนีบ ดังที่กล่าวมาทั้งหมดเพื่อให้ระบบสามารถประมวลการตัดสินใจหยิบจับและเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษที่จำลองด้วยวัสดุทรงกระบอก 3 มิติที่ไม่หนาเกินความสามารถของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี รวมทั้งใช้บีคอนในการระบุและติดตามตำแหน่งของหุ่นยนต์รถ แล้วยังมีระบบจัดเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหมายเลขประจำตัวของม้วนกระดาษว่าหมายเลขที่อ่านได้นั้นเป็นข้อมูลเก่าหรือใหม่ ซึ่งถ้าเป็นข้อมูลใหม่ โปรแกรมจะบันทึกหมายเลขประจำตัวนั้นลงเพิ่มในฐานข้อมูล แต่ถ้าเก่าโปรแกรมจะแจ้งเตือนว่าเป็นหมายเลขที่มีอยู่ในฐานข้อมูลแล้ว

ภาพที่ 1.1 แสดงการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษของบริษัท MHE DMAG

หุ่นยนต์รถที่สามารถติดตามม้วนกระดาษโดยเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและบีคอนนั้น นอกจากสามารถนำไปประยุกต์กับต้นแบบของรถยกในงานขนส่งภายในคลังสินค้าแล้ว ยังสามารถเป็นแนวคิดที่สามารถแก้ปัญหากิจกรรมการค้นหาในเรื่องอื่นๆได้ต่อไปอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์รถและระบุตัวตนม้วนกระดาษโดยใช้เทคโนโลยีบีคอนและอาร์เอฟไอดีตามลำดับ

1.2.2 เพื่อระบุสถานะของม้วนกระดาษว่ามีการหยิบหรือไม่

1.2.3 เก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 จำลองรถยกโดยใช้หุ่นยนต์รถ ABU 2019

1.3.2 ทดสอบการระบุตำแหน่งในพื้นที่ขนาดประมาณ 6.50 x 6.00 ตารางเมตร

1.3.3 สร้างส่วนติดต่อโปรแกรมกับผู้ใช้โดยโปรแกรม Qt Creator

1.3.4 ระบุตำแหน่งหุ่นรถและม้วนกระดาษบนรถด้วยอุปกรณ์ Beacon ผ่านสัญญาณเสียงอัลตร้าโซนิค

1.3.5 ระบุตัวตนม้วนกระดาษด้วยอุปกรณ์ UHF RFID สำหรับอ่าน/เขียนการ์ด ผ่านสัญญาณวิทยุ

1.3.6 ความหนาของกระดาษที่จะอ่านได้ไม่เกิน 37.5 เซนติเมตร

1.3.7 จำลองม้วนกระดาษโดยใช้กล่องที่มีน้ำหนัก 400 กรัม เพื่อให้สามารถกดปุ่มสถานะขนส่งม้วนกระดาษโดยการวางจากด้านบนได้เอง

1.3.8 ช่วงการทดสอบ ใช้หุ่นยนต์รถ 1 คัน และหยิบจับม้วนกระดาษ 1 ม้วนต่อครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบุตำแหน่งสิ่งของในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.2 ลดเวลาในการค้นหาวัสดุสิ่งของจากข้อมูลดิบจำนวนมหาศาลในพื้นที่กว้างใหญ่

1.4.3 ลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการทรัพยากรบุคคลเรื่องการค้นหาวัสดุสิ่งของ

1.4.4 เพื่อตอบสนองนโยบายอุตสาหกรรมไทยแลนด์ 4.0

1.4.5 เพื่อส่งเสริมภาพลักษณ์การจัดการสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม

1.4.6 สามารถต่อยอดทางธุรกิจอื่นๆได้ เช่น การค้นหาสินค้าของโรงงานอื่นๆ

1.4.7 เพื่อให้การขนส่งสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

1.5.1 ทดสอบอุปกรณ์บีคอน และอาร์เอฟไอดี

1.5.2 กำหนดสถานที่และวัดอัตราส่วนของพื้นที่ที่ทำการทดสอบ

1.5.3 ออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้

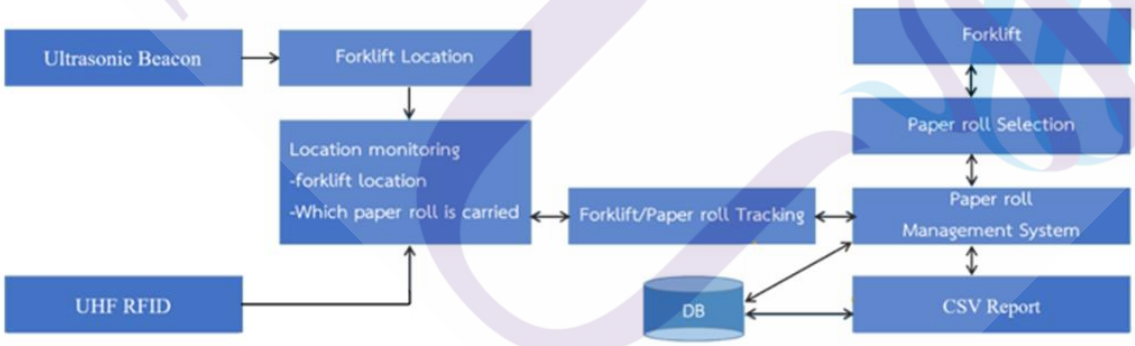
1.5.4 ตรวจสอบการจัดการม้วนกระดาษ โดยเทียบกับฐานข้อมูล

1.5.5 ตรวจสอบความถูกต้องของสถานะม้วนกระดาษตามเลขประจำตัวที่ระบุ และติดตามตำแหน่งของหุ่นรถ

1.5.6 ทดสอบระบบ

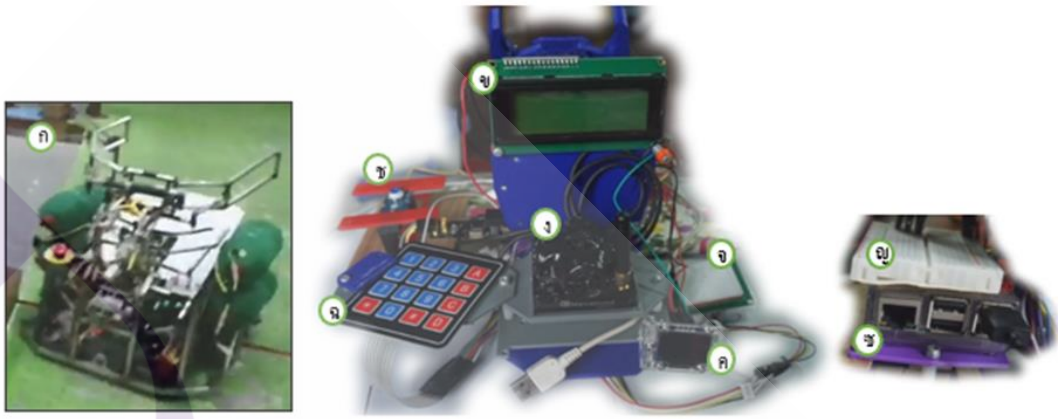
1.6 ภาพรวมของระบบ

งานวิจัยนี้ใช้เทคโนโลยีจาก 2 อุปกรณ์หลักๆ คือ Ultrasonic Beacon และ UHF RFID มาทำหน้าที่ติดตามตำแหน่งรถ forklift และระบุตัวตนม้วนกระดาษตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 1.2 เมื่อผู้วิจัยได้ตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษจากการติดตามตำแหน่ง จึงทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถเห็นการทำงานของพนักงานขับรถ forklift ว่ากำลังหยิบม้วนกระดาษถูกต้องหรือไม่ ม้วนกระดาษนั้นกำลังอยู่ตำแหน่งใดในคลังสินค้าดูรายงานสรุปการดำเนินงานที่ปฏิบัติกับม้วนกระดาษ



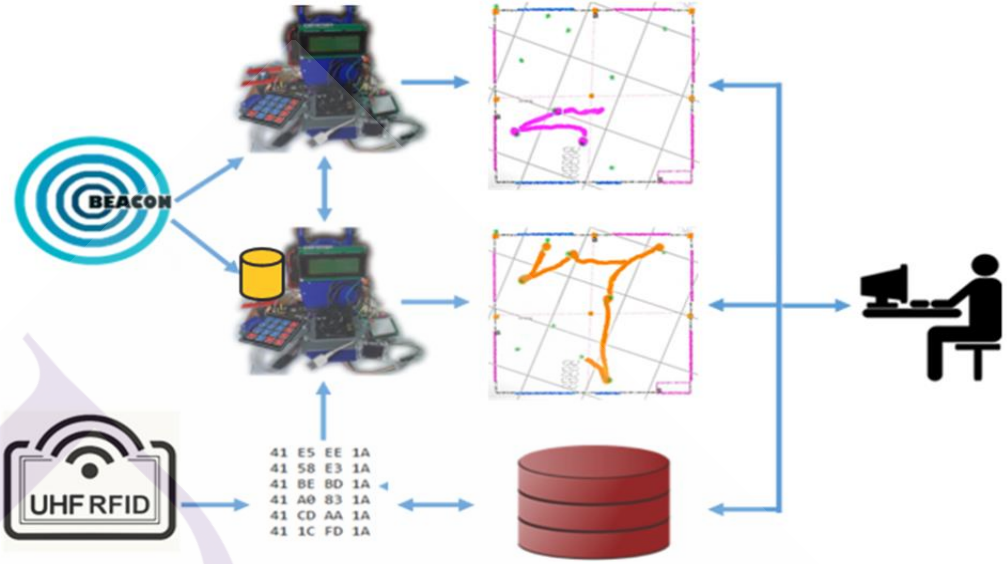
ภาพที่ 1.2 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ

อุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 1.3 โดยมีหน้าที่ของอุปกรณ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รถ ABU 2019 ใช้เคลื่อนที่แทนรถ forklift (ก) อุปกรณ์ที่รับคำสั่งจากผู้ดูแลระบบ (ข) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับดูความคืบหน้าในการปฏิบัติงานรวมถึงแจ้งข้อมูลไปยังผู้ดูแลระบบ (ค) อุปกรณ์ที่ใช้ติดตามตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษที่อยู่บนรถ (ง) อุปกรณ์สำหรับระบุตัวตนม้วนกระดาษ (จ) อุปกรณ์ที่ใช้กรอก-ส่งรหัสพนักงาน อ่านรหัสม้วนกระดาษ (ฉ) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แทนการขนส่งสินค้าของรถ forklift (ช) ชุดควบคุมรวมถึงรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ทั้งหมดไปยังผู้ดูแลระบบ (ซ) อุปกรณ์สำหรับจั๊มสายไฟ



ภาพที่ 1.4 ภาพรวมของระบบที่พัฒนา

จากภาพที่ 1.4 อธิบายได้ว่าหุ่นรถติดอุปกรณ์หลักๆได้แก่ โมบายบีคอน (Ultrasonic Mobile Beacon) อุปกรณ์ตัวอ่านรหัสม้วนกระดาษ UHF RFID และราสเบอร์รี่พาย เพื่อประโยชน์ในการติดตามตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นรถ ผ่านสัญญาณอัลตราโซนิค และประโยชน์ในการวางแผนเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษตามเลขประจำตัวด้วยแขนกล ผ่านสัญญาณวิทยุ แล้วส่งข้อมูลทั้งหมดมาที่ชุดควบคุม จากนั้นส่งข้อมูลเลขประจำตัวของม้วนกระดาษมาประมวลผลและแสดงผลโดยเทียบข้อมูลที่ได้กับฐานข้อมูล Text file ในราสเบอร์รี่พาย เพื่อช่วยโปรแกรมตรวจสอบดูว่าขณะนี้หุ่นรถหยิบจับกระดาษถูกม้วนหรือไม่ โดยผู้ทดสอบสามารถดูการแสดงผลได้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ผ่านสัญญาณเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ซึ่งถ้าม้วนกระดาษที่ถือไว้อยู่ไม่ถูกต้อง ตัวหุ่นรถจะมีหน้าจอแจ้งเตือนให้ผู้ขับรถ forklift เลือกม้วนกระดาษจนกว่าจะถูกต้อง อีกทั้งผู้ทดสอบสามารถติดตามตำแหน่งหุ่นรถอย่างต่อเนื่องผ่านระบบโปรแกรม ในงานวิจัยนี้

1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

1.7.1. ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

1.7.1.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล WINDOWS 10 Pro CPU CORE i5 RAM 8 GB

1.7.1.2 Marvelmind Beacon สำหรับระบุตำแหน่งของรถ forklift

1.7.1.3 UHF RFID ที่มีเสาอากาศในตัว สำหรับอ่านรหัสม้วนกระดาษ

1.7.1.4 รถ ABU 2019 สำหรับเคลื่อนที่แทนรถ forklift

1.7.1.5 Keypad 4X4 เป็นปุ่มกรอกรหัสของพนักงาน ปุ่มตกลง และปุ่มอ่านรหัสม้วนกระดาษ

1.7.1.6 Raspberry Pi 3 model B เป็นชุดอุปกรณ์ควบคุม

1.7.1.7 LCD 20X4 สำหรับมอนิเตอร์ดูคำสั่งจากผู้ดูแลระบบ

1.7.1.8 Blue OLED สำหรับดูสถานะการขนส่งและอ่านรหัสม้วนกระดาษ

1.7.1.9 LED Blue Switch สำหรับบรรทุกสิ่งของ

1.7.1.10 Breadboard สำหรับจั๊มสายไฟ

1.7.2 ซอฟต์แวร์ (Software)

1.7.2.1 Mavelmind Dashboard สำหรับปลุก-หลับอุปกรณ์ Beacon

1.7.2.2 WinSCP สำหรับถ่ายโอนไฟล์จากเครื่อง Window กับ Raspberry Pi

1.7.2.3 Terminal สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ในระบบลินุกซ์

1.7.2.4 Python 3.4.2 สำหรับพัฒนาโปรแกรมระบบในงานวิจัย

1.7.2.5 Qt Creator สำหรับออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้กับระบบ

1.7.2.6 Putty สำหรับทดสอบรับค่าจากอุปกรณ์ผ่านพอร์ต Serial

1.8 องค์ความรู้สำคัญ

นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ทั้งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีในการระบุเลขประจำตัวของม้วนกระดาษ พร้อมทั้งติดตามตำแหน่งโดยเทคโนโลยีบีคอนที่ประจำอยู่บนหุ่นยนต์รถและเป็นต้นแบบของโรงงานกระดาษในการขนส่งเคลื่อนย้ายสินค้าด้วยรถ Forklift เพื่อรองรับเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไทยแลนด์ 4.0 เรียนรู้และเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ในวิจัยที่นำมาใช้ต่างๆ

1.9 โครงสร้างของรายงาน

<u>บทที่ 1</u> บทนำ

แสดงรายละเอียดของที่มาและความสำคัญของงานวิจัยถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจากการใช้ผู้ปฏิบัติงานในการขับโฟร์คลิฟต์เพื่อทำการค้นหาวัสดุสินค้าภายในพื้นที่โรงงานขนาดใหญ่ ส่งผลให้เกิดแนวคิดในการนำเทคโนโลยีบีคอนและอาร์เอฟไอดีมาใช้เพื่อระบุตำแหน่งของสินค้า โดยมีการติดตามตำแหน่งของรถโฟร์คลิฟต์ตลอดเส้นทาง พร้อมตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า ถ้ารถโฟร์คลิฟต์เลือกม้วนกระดาษผิดพลาดจะมีการแจ้งเตือนไปยังผู้ขับรถโฟร์คลิฟต์ ซึ่งเทคโนโลยีนี้มีบทบาทสำคัญในการผลักดันความก้าวหน้าของโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศ

ไทย แสดงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนและวิธีการวิจัย ภาพรวมของระบบ เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา องค์ความรู้ใหม่ของงานวิจัยฉบับนี้มีประโยชน์แก่สังคมอย่างไร แผนการดำเนินงานวิจัย โครงสร้างของรายงานฉบับนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยสำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาหุ่นรถจำลอง ซึ่งจะมีเนื้อหาตั้งแต่การขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทของรถยกและเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่ง ปัญหาของรถยกในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ การระบุตำแหน่งของสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยีที่วิจัยเราเลือกใช้

บทที่ 3 การวางแผนและการออกแบบระบบ

บทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบอุปกรณ์ ลำดับขั้นตอนการทำงาน การออกแบบวงจร แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละส่วนในระบบ รวมถึงอธิบายการทำงานของ การระบุตำแหน่ง การระบุตัวตนของม้วนกระดาษ การดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถที่ประกอบด้วย การแสดงผลทางหน้าจอ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ได้แก่ การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ ตลอดจนสรุปเนื้อหา

บทที่ 4 ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบ 3 ส่วน ได้แก่ การทดสอบการใช้งานระบบ การทดสอบความแม่นยำของระบบ และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งผลลัพธ์แต่ละส่วนได้จากระบบที่ได้รับการออกแบบมาจากบท 3 ซึ่งผลการทดลองแต่ละส่วนใช้งานได้จริง โดยการนำเทคโนโลยีบีคอนและUHF RFID มาใช้พร้อมกับการพัฒนาระบบติดตามการเคลื่อนที่ของรถและจัดการม้วนกระดาษ อีกทั้งมีกราฟแสดงผลในเรื่องความถูกต้อง ความหน่วง และความครอบคลุมของการระบุตำแหน่ง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ผลการดำเนินงานของระบบสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ ทั้ง 3 ข้อ ได้แก่ 1.ระบบสามารถนำเทคโนโลยี Beacon กับ RFID ประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์รถและม้วนกระดาษ 2.ระบบสามารถบอกสถานะของม้วนกระดาษว่ามีการหยิบหรือไม่ 3.ระบบสามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นผลให้ได้องค์ความรู้ใหม่ที่ สามารถนำไปพัฒนาการติดตามตำแหน่งและสถานะของรถและคนด้านอื่นได้

1.10 ผลงานตีพิมพ์

ส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความวิจัยเรื่อง “การติดตามตำแหน่งของหุ่นยนต์และการระบุตัวตนของสินค้าด้วยบีคอนแบบคลื่นเสียงและอาร์เอฟไอดี” กวิสรา บุญจันทร์ และ ฉรงค์เดช กีรติพรานนท์ 2019 21st Digital Technology for Sustainable Wellbeing and Smart Society

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยสำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบติดตามหุ่นยนต์รถและจัดการกับม้วนกระดาษ ซึ่งจะมีเนื้อหาตั้งแต่การขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทของรถยกและเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่ง ปัญหาของรถยกในโรงงานอุตสาหกรรม การระบุตำแหน่งของสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยีที่วิจัยเราเลือกใช้ ตลอดจนการสรุปเนื้อหา

2.1 การขนส่งภายในโรงงานอุตสาหกรรม

การเคลื่อนย้ายวัสดุอุปกรณ์และสินค้าผลิตภัณฑ์ต่างๆภายในโรงงานจากแหล่งเดิมไปยังแหล่งใหม่ที่ต้องการจำเป็นต้องกระทำอย่างระมัดระวังเพื่อป้องกันความเสียหายของวัสดุอุปกรณ์เหล่านั้น และความปลอดภัยของการใช้แรงงานในผู้ปฏิบัติการขับรถบางรายที่อาจประมาทมีความรู้และความชำนาญในการเคลื่อนย้ายที่ไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องมีทักษะในการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรที่สามารถแบ่งเป็นประเภทของการเคลื่อนย้ายสิ่งของ [1] ได้แก่ สายพานลำเลียง รถเข็น พาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติ เครน และรถยก ดังนี้

คนงาน (Workers) อาจเกิดอุบัติเหตุได้ถ้าคนงานคนนั้นขาดความรู้ ความชำนาญ ความเอาใจใส่ มีความประมาท ปฏิบัติงานโดยไม่มีหน้าที่รับผิดชอบ รวมถึงหยอกล้อเล่นกันในระหว่างปฏิบัติงาน

สายพานลำเลียง (Conveyors) [1] ใช้ในการเคลื่อนย้ายสิ่งของในขั้นตอนการผลิตลำเลียงสิ่งของจนไปถึงสถานที่จัดเก็บ ซึ่งระหว่างสายพานจะมีอุปกรณ์ หรือ มนุษย์สำหรับการคัดแยกสิ่งของ

รถเข็น (Carts) [2] เป็นเครื่องมือทุ่นแรงในการเคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของ มีประโยชน์ในเรื่องของการป้องกันภัยจากอุบัติเหตุของผู้ปฏิบัติการขับรถจากการย้ายวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การตกหล่นของสินค้า และการลื่นล้มของมนุษย์จากการปฏิบัติงาน

พาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles) [1] เป็นระบบที่ทำให้การขนย้ายสิ่งของมีความคล่องตัว ทำงานอย่างอัตโนมัติ รวมถึงบันทึกประวัติเพื่อความสะดวกในการ

ตรวจสอบภายหลัง และยังมีพาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติแบบระบบราง (Sorting Transfer Vehicle) ที่ทำให้อัตราการเคลื่อนย้ายวัสดุสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เครน (Crane) ทางคณะผู้วิจัยได้มีโอกาสไปเยี่ยมชมโรงงานของบริษัท MHE DMAG โดยทางโรงงานมีสินค้าระบบเครนที่สามารถช่วยอำนวยความสะดวกภายในพื้นที่คลังสินค้าและพื้นที่จอดรถในการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือวัสดุต่างๆไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งเครนของบริษัท MHE DMAG จำเป็นจะวางม้วนกระดาษในตำแหน่งที่ถูกต้องที่สุด มิฉะนั้นกองม้วนกระดาษจะล้มระเนระนาดแบบในเหตุการณ์ที่เคยเกิดในประเทศอังกฤษได้

รถยก (Forklift) โดยคำว่า Fork หมายถึงส้อม และคำว่า Lift หมายถึงการขึ้นลงในแนวตั้ง มีบทบาทสำคัญในโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายสินค้า วัตถุดิบและชิ้นส่วนในคลังสินค้า ที่มีความสะดวกรวดเร็วและทันความต้องการของตลาดมากกว่าการใช้แรงงานคน พัฒนาการของรถยกในแรกเริ่มสามารถรับน้ำหนักได้ กิโลกรัม 100 รถยก สามารถยกได้สูงเกิน 10 เมตร (High-Rise Lift Truck)

ประเภทการใช้งานของรถยก ได้แก่ รถยกแบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ ซึ่งมีหลายพลังงานเชื้อเพลงให้ได้เลือกใช้ ได้แก่ แก๊สโซลีน (Gasoline) แก๊สแอลพีจี (Liquefied Petroleum Gas) น้ำมันดีเซล (Diesel) และรถยกแบบขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีทั้งแบบยืนขับและนั่งขับ

เนื่องจากรถยกเป็นเทคโนโลยีที่มีราคาสูง สิ่งที่ต้องคำนึงเมื่อเลือกใช้ คือ งบประมาณ ระยะเวลาในการใช้งาน และการดูแลรักษา ถ้าเลือกซื้อเจ้าของจะต้องหมั่นบำรุงรักษา ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมในกรณีที่รถยกเกิดชำรุด เช่น การเดินหน้าถอยหลังไม่ได้ เสื้อเกียร์แตก ฟิวส์ขาด ระบบชาร์จไฟมีปัญหา และระบบไฮดรอลิคมีปัญหา เป็นต้น

การเคลื่อนย้ายวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในแต่ละโรงงานตามประเภทสายการผลิต [1] เช่น ระบบรางคู่เหนือศีรษะ (Cleanway) ที่ขนส่งวัสดุต่างๆผ่านระบบการจัดเก็บโดยใช้ระบบจ่ายพลังงานแบบไร้สาย ของสายการผลิตห้องปลอดเชื้อ ระบบสายพานแบบไร้โซ่ (Flexible Drive System) ใช้ในการประกอบและการดำเนินงานด้วยล้อหมุนขับเคลื่อนหลายตัวจนเป็นสายพานที่ยืดหยุ่นได้ของสายการผลิตยานยนต์ รวมถึงระบบถาดขนส่งสัมภาระของลูกค้าที่สนามบิน อีกทั้งยังมี ลิฟต์ ปั้นจั่น และรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งอีกด้วย

2.2 ประเภทของรถยกและเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่ง

ปัจจุบันระบบการทำงานของรถยกในโรงงานขนาดใหญ่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้รถยกที่นำมาใช้ในการขนส่งภายในโรงงาน แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่ รถยกทั่วไป และรถยกที่มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ ดังนี้

2.2.1 รถยกทั่วไป [3]

รถยกเป็นพาหนะที่ใช้สำหรับเคลื่อนย้ายขนส่งวัสดุอุปกรณ์และสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้อย่างปลอดภัย รถยกที่กำลังได้รับความสนใจในปัจจุบัน ได้แก่ รถยกในคลังสินค้า (Warehouse Forklift) รถยกที่ใช้โหลดด้านข้างในการยกของ (Side Loader) รถยกถ่วงน้ำหนัก (Counterbalance Forklift) รถเทเลแฮนด์เลอร์ (Telehandler) รถยกอุตสาหกรรม (Industrial Forklift) รถยกในพื้นที่ขรุขระ (Rough Terrain Forklift) รถลากพาเลท (Pallet Jack) รถยกสูงวอล์คคี (Walkie Stacker) รถยกแบบกระเช้าเคลื่อนย้ายระบบกึ่งไฟฟ้า (Order Picker) และรถยกไฟฟ้าแบบยื่นงา (Reach Fork Truck)

รถยกในคลังสินค้า (Warehouse Forklift) เป็นรถยกที่คล้ายกับรถกอล์ฟสีเหลืองที่มีส้อมคู่ยื่นออกมาจากด้านหน้า รถยกประเภทนี้ใช้ในสถานที่ที่มีจำนวนมากของสินค้าในคลังสินค้า เหมาะสำหรับใช้ในการบรรทุกขนถ่ายพาเลทและวัสดุที่มีรูปทรงสมดุล ลักษณะเดียวกับการขนย้ายสินค้าจากพาหนะที่ใช้ส่งสินค้า ตัวอย่างรถยกในคลังสินค้า เช่น รถยก Hyster 36-38T รวมถึงรถยกที่ใช้โหลดด้านข้างในการยกของ และรถยกถ่วงน้ำหนัก ที่จะกล่าวต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (1)

รถยกที่ใช้โหลดด้านข้างในการยกของ (Side Loader) เป็นรถยกประเภทหนึ่งของรถยกในคลังสินค้า มักถูกใช้ในศูนย์การให้บริการเรื่องเหล็กและโรงงานผลิตที่มีสินค้าขนาดใหญ่และมีน้ำหนักสูง ผู้ปฏิบัติการขับรถจะยืนที่จุดตำแหน่งในช่องด้านข้างและตัวบรรทุกวัสดุจะขนถ่ายสินค้าออกทางด้านข้าง เหมาะกับการทำงานตามทางเดินที่มีความกว้างไม่มาก เพื่อขนถ่ายสัมภาระที่มีขนาดยาว เช่น ไม้ซุงและท่อ ตัวอย่างรถยกที่ใช้โหลดด้านข้างในการยกของ เช่น รถยก Hyundai รุ่น FDD30 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (2)

รถยกถ่วงน้ำหนัก (Counterbalance Forklift) เป็นรถยกที่นำน้ำหนักด้านหลังของรถมาใช้ถ่วงน้ำหนักกับของที่นำมาบรรทุกอยู่บนรถ รถยกถ่วงน้ำหนักจะไม่ยื่นแขนออกไปทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปหาของที่ต้องการบรรทุกได้โดยตรง รถยกถ่วงน้ำหนักมีหลายประเภท มีการขับเคลื่อนโดยใช้ 3 ล้อ เหมาะสำหรับงานที่ผู้ปฏิบัติการขับรถต้องใช้การหมุนและการเคลื่อนที่เป็นวงกลม รถยกถ่วงน้ำหนักมีทั้งแบบนั่งขับและยืนขับ ซึ่งทำให้ผู้ปฏิบัติการขับรถสามารถกระโดดขึ้นลงระหว่างที่รถบรรทุกของได้อย่างสะดวก ตัวอย่างรถยกถ่วงน้ำหนัก เช่น รถยก Toyota รุ่น 7FBE และ รถยก Mitsubishi รุ่น FD30NT ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (4)

รถเทเลแฮนด์เลอร์ (Telehandler) ลักษณะแขนของรถเทเลแฮนด์เลอร์เกิดจากการนำรถเครนและรถยกมารวมกัน รถยกคันดังกล่าวใช้ปลายส้อมคู่ที่ติดกับแขนในการเคลื่อนย้ายพาเลทออกจากพื้นดิน รถเทเลแฮนด์เลอร์แบบมาตรฐานสามารถยกวัสดุที่มีความหนัก 5,500 ปอนด์ ได้สูงถึง 19 ฟุต เหมาะสำหรับใช้ในสถานที่มีความกว้างน้อยและมีเหลี่ยมของมุม ตัวอย่างรถเทเลแฮนด์เลอร์ เช่น รถยก JLG 1644 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (5)

รถยกอุตสาหกรรม (Industrial Forklift) หรือ รถยกความสามารถสูง เป็นการผสานการทำงานระหว่างรถยกในคลังสินค้าและรถยกเทเลแฮนด์เลอร์ แม้ว่ารถยกอุตสาหกรรมนี้จะไม่สามารถเข้าไปในมุมที่ยากต่อการเข้าถึงเหมือนที่รถยกเทเลแฮนด์เลอร์สามารถทำได้ แต่ก็สามารถยกสิ่งของที่นำมาบรรทุก (Payloads) ขึ้นได้สูงจากพื้นมากกว่ารถยกในคลังสินค้า อีกทั้งยังสามารถรับน้ำหนักของสิ่งของที่นำมาบรรทุกได้มากขึ้น รถยกอุตสาหกรรมสามารถใช้ยกสิ่งของที่มีน้ำหนังมากถึง 30,000 ปอนด์ ตัวอย่างรถยกอุตสาหกรรม เช่น รถยก Toyota รุ่น THD3000-24 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (6)

รถยกในพื้นที่ขรุขระ (Rough Terrain Forklift) เป็นรถยกที่ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในสถานที่กลางแจ้งที่มีความขรุขระ เช่น สถานที่ก่อสร้าง ในส่วนล้อของรถยกประเภทนี้มียางลมที่ทนทานและมีลักษณะเป็นเกลียวขนาดใหญ่ จึงสามารถทำงานบนพื้นที่ที่เต็มไปด้วยหินและขนส่งวัสดุสิ่งของได้อย่างปลอดภัย ตัวอย่างรถยกในพื้นที่ขรุขระ เช่น รถยก JCB 950 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (7)

รถลากพาเลท (Pallet Jack) รถลากชนิดนี้ถูกนำมาใช้เป็นรูปแบบพื้นฐานของรถยก ซึ่งสามารถนำมาใช้ยกและขนย้ายพาเลท เนื่องจากเป็นรถที่มีขนาดเล็กจึงทำให้ไม่สามารถยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ตัวอย่างรถลากพาเลท เช่น รถยก 27x48 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (8)

รถยกสูงวอล์คคี (Walkie Stacker) เป็นรถยกที่มีลักษณะเฉพาะตัว ปราศจากแค็บ (Cabs) ผู้ปฏิบัติการขับรถจะอยู่ด้านหลังและจับในส่วนที่ใช้สำหรับบังคับ ลักษณะที่จับเหมือนที่จับของรถลากพาเลทที่ใช้พลังงานและอัตราความเร็วต่ำ อย่างไรก็ตามรถยกสูงวอล์คคีเหมาะกับงานในลักษณะที่ต้องใช้รถลากพาเลทที่อยู่สูง ตัวอย่างรถยกสูงวอล์คคี เช่น รถยก Toyota รุ่น 6BWC20 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (9)

รถยกแบบกระเช้าเคลื่อนย้ายระบบกึ่งไฟฟ้า (Order Picker) เป็นรถยกสูงวอล์คคีประเภทหนึ่งที่ยกได้สูงถึง 32 ฟุต ออกแบบมาเพื่อยกตัวของผู้ปฏิบัติการขับรถขึ้นไปยังชั้นวางคลังสินค้าและทำการหยิบสินค้าทีละชิ้น หรือ แพ็คเหมาะสำหรับให้ผู้ปฏิบัติการขับรถมาค้นหาหรือจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าตามสินค้าที่ลูกค้าสั่งเนื่องจากเป็นรถยกที่สามารถเลือกได้ทีละ 1-2 ชิ้น หรือแพ็ค เป็นรถยกที่สามารถจัดการกับสินค้าที่มีขนาดตั้งแต่ชิ้นส่วนรถยนต์จนถึงเครื่องเรือน

ตัวอย่างรถยกแบบกระเช้าเคลื่อนย้ายระบบกึ่งไฟฟ้า เช่น รถยก Yale รุ่น OS030BF/EF & FS/SS030BF ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (10)

รถยกไฟฟ้าแบบยื่นงา (Reach Fork Truck) เหมาะกับการใช้บรรทุกสินค้าที่อยู่ในอาคาร ตัวส้อมสามารถยืดออกไปเข้าสู่ชั้นวางในคลังสินค้าได้ ตัวอย่างรถยกไฟฟ้าแบบยื่นงา เช่น รถยก Yale รุ่น MR14-25 ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (11)

ภาพที่ 2.1 รถยกทั่วไป (1) 3 Wheel Electric (2) 3T high property Hyundai side loader forklift (3) Toyota Battery Forklift 3 Wheeler 7FBE (4) Mitsubishi รุ่น FD30NT (5) JLG 1644 (6) Toyota รุ่น THD3000-24 (7) JCB 950 (8) Pallet Jack 27x48 (9) Toyota รุ่น 6BWC20 (10) Yale รุ่น OS030BF/EF & FS/SS030BF (11) Yale รุ่น MR14-25

2.2.2 รถยกที่มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ [4]

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในทางการแพทย์ เทคโนโลยีในการตลาดรูปแบบใหม่ที่ทำให้ธุรกิจดีขึ้น เทคโนโลยีส่วนบุคคลที่ทำให้คนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว รวมถึงเทคโนโลยีของเครื่องจักรในโรงงานที่ประสิทธิภาพดีขึ้นและทำให้ผู้ปฏิบัติการขับรถมีความปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น แม้กระทั่งรถยกที่ใช้ปฏิบัติงานภายในคลังสินค้าก็ได้รับการพัฒนาจากเทคโนโลยีอยู่ตลอด ในส่วนนี้จะกล่าวถึงตัวอย่างของเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้กับรถยกในปัจจุบัน ประกอบด้วย รถยกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม รถยกที่ทำงานอัตโนมัติ รถยกที่มี

เบรกอัจฉริยะ รถยกที่มีความคล่องตัวและหลบหลีกได้ รถยกจัดเก็บสินค้าในคลังอัตโนมัติ ASRS รถยกที่สื่อสารข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุ RFDC รถยก LGV และ หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายวัสดุ Quicktron ดังนี้

รถยกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญกับธุรกิจส่วนใหญ่ในปัจจุบัน เมื่อประมาณ 1 ทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำเซลล์เชื้อเพลิง มาใช้กับรถยก ทำให้รถยกสะอาดมากขึ้น ระยะเวลาการทำงานนานขึ้น ระยะเวลาในการชาร์จแบตเตอร์รี่เพียง 1 ชั่วโมง ใช้ต้นทุนในการดูแลรักษารถยกประเภทนี้ลดลงไม่เกิดผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่มีการปล่อยควันหรือเกิดการรั่วซึมของกรด ตัวอย่างรถยกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น รถยก Toyota รุ่น 4FD150-240 ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (1)

รถยกที่ทำงานอัตโนมัติ รถยกประเภทนี้ทำงานได้เองโดยไม่มีผู้ขับ (Driver) หรือบางคันอาจมีผู้ขับในการทำงานครั้งแรก เพื่อให้ระบบที่อยู่ในรถได้จดจำเส้นทางตั้งแต่คนขับเริ่มออกรถจนกระทั่งถึงคลังสินค้า จากนั้นคนขับจะเปลี่ยนการทำงานของรถยกให้เข้าสู่โหมดอัตโนมัติ เพื่อให้รถยกสามารถเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่จดจำไว้ก่อนหน้านั้นได้เอง รถยกประเภทนี้สามารถทำภารกิจที่ปกติรถยกทั่วไปทำอยู่เป็นประจำได้เองอย่างอิสระตามชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ ช่วยให้ผู้จัดการคลังสินค้าลดต้นทุน เนื่องจากไม่ต้องใช้แรงงานคนในการทำงานจึงเป็นการประหยัดต้นทุนในระยะยาว ตัวอย่างของรถยกอัตโนมัติ เช่น รถยก Toyota BT Optio OAE 120CB AGV ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (2)

รถยกที่มีเบรกอัจฉริยะ ความสามารถในการหยุดรถยกในเวลาทำงานได้อย่างรวดเร็วเป็นสิ่งสำคัญต่อความปลอดภัยในคลังสินค้า ส่งผลให้มีการนำเทคโนโลยีหนึ่งที่ชื่อวาล์วไฮดรอลิก (Hydraulic Valves) มาช่วยให้การเบรกดีขึ้น การใช้เบรกที่น้อยลงของผู้ขับรถสามารถป้องกันการสึกหรอจึงยืดอายุการใช้งานของรถยก รถยกบางรุ่นมีตัวรับรู้ที่บอกได้ว่าเกิดเหตุการณ์ใดบ้าง เช่น การเลี้ยว รถยกจะตอบสนองต่อตัวรับรู้ โดยการชะลอหรือเพิ่มความเร็วอย่างเหมาะสม เพื่อให้เลี้ยวได้อย่างสะดวกและปลอดภัยมากขึ้น ตัวอย่างรถยกเบรกอัจฉริยะ เช่น CPCD20~35/-CPQ(Y)20~35 ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (3)

รถยกที่มีความคล่องตัวและหลบหลีกได้ เป็นรถยกที่มีเทคโนโลยีบางอย่างที่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติการขับรถยกเลิกระบบเบรก เพื่อง่ายต่อการเลี้ยวในพื้นที่จำกัด ความคล่องตัวนี้ทำให้ผู้ขับสามารถเคลื่อนย้ายรถยกได้อย่างรวดเร็ว และปลอดภัยภายในคลังสินค้า จึงทำให้การขับรถมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างรถยกที่มีความคล่องตัวและหลบหลีกได้ เช่น รถยก Crown RC 5500 Series ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (4)

รถยกจัดเก็บสินค้าในคลังอัตโนมัติ ASRS (Automated Storage and Retrieval System) เป็นรถยกที่เปลี่ยนจากรถยกสูงธรรมดาให้เป็นระบบเครนอัตโนมัติที่ใช้วิ่งบนรางบังคับ ประสิทธิภาพการทำงานจึงดีกว่าระบบของรถยกที่ใช้คนขับ ตัวอย่างรถยกในคลังสินค้าอัตโนมัติ ASRS เช่น รถยก China professional AGV Robot Forklift for ASRS System ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (5)

รถยกที่สื่อสารข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุ RFDC (Radio Frequency Data Communication) เป็นรถยกที่มีเทอมินอลส์ (Terminals) ติดตั้งบนตัวรถ ทำให้รถยกสามารถทำงานพร้อมกับสื่อสารข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ตัวอย่างรถยกที่สื่อสารข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุ RFDC เช่น รถยก Crown RFID ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (6)

รถยก LGV (Laser Guided Vehicle) เป็นรถยกอัตโนมัติที่ใช้เทคโนโลยีการนำทางด้วยแสงเลเซอร์ในการกำหนดเส้นทางเพื่อขนย้าย/จัดเก็บสินค้าแทนการใช้คนขับ และตัวรถยกถูกออกแบบให้มีความแม่นยำและรวดเร็ว จึงลดความผิดพลาดในการขนส่ง ลดค่าใช้จ่ายน้อยลงและมีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ตัวอย่างรถยก LGV เช่น Skilled Series ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (7)

หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายวัสดุ Quicktron เป็นหุ่นยนต์ที่ใช้เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งด้วยการอ่านคิวอาร์โค้ดที่แปะอยู่ตามพื้น หลีกเลี่ยงการชนกันได้ ผู้ปฏิบัติงานสามารถเรียกหุ่นยนต์ผ่านเครือข่ายไร้สาย และเมื่อแบตเตอร์รี่หมดตัวหุ่นยนต์สามารถวิ่งเข้าไปในสถานีชาร์จไฟได้อย่างอัตโนมัติ ตัวอย่างหุ่นยนต์เคลื่อนย้ายวัสดุ Quicktron ดังแสดงในภาพที่ 2.2 (8)

ประเภทของรถยกและเทคโนโลยีที่ใช้ในการขนส่งดังที่กล่าวมา 2 ประเภท ทั้งแบบทั่วไป ภาพที่ 2.1 และแบบที่ใช้กับเทคโนโลยี ภาพที่ 2.2 เมื่อมีการนำเข้ามาดำเนินงานในโรงงานอุตสาหกรรมแล้วจะเกิดอุปสรรคอะไรบ้าง ปัญหานี้จะได้รับการกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ภาพที่ 2.2 รถยกที่ใช้เทคโนโลยี (1) Toyota รุ่น 4FD150-240 (2) Toyota BT Optio OAE 120CB AGV(3) CPCD20~35/CPQ(Y)20~35 (4) Crown RC 5500 Series (5) China professional AGV Robot Forklift for ASRS System (6) Crown RFID (7) LGV รุ่น Skilled Series และ (8) หุ่นยนต์เคลื่อนย้ายวัสดุ Quicktron

2.3 ปัญหาของรถยกในโรงงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันผู้ประกอบการต่างให้ความสำคัญกับความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม [5] โดยเฉพาะสถานที่ภายในคลังสินค้าที่ยังคงมีสภาพแวดล้อมที่เป็นอันตรายและมีความเสี่ยงความเสียหายที่เกิดขึ้น ได้แก่ ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับคลังสินค้า การสูญเสียเวลาในการปฏิบัติงาน และการสูญเสียค่าใช้จ่ายและเวลาจากการซ่อมแซมเครื่องจักรทั้งหมด

อุบัติเหตุที่เกิดจากรถยกเป็นเรื่องที่ไม่สามารถมองข้ามได้ในคลังสินค้า เนื่องจากรถที่ใช้ขับภายในมีขนาดใหญ่ ผู้ขับใช้รถทำงานใกล้กับคนงานอื่นๆที่กำลังเดินเท้า ความผิดพลาดเพียงครั้งเดียวจากการใช้รถยกปฏิบัติงานและความประมาทของผู้ขับขี่อาจก่อให้เกิดอันตรายได้ อุบัติเหตุพื้นฐานที่เกิดจากรถยก ได้แก่ ความเสียหายของรถยกจากการที่ผู้ขับขับเข้าไปในพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่ที่มีการชำรุด และ ความเสียหายของสิ่งต่างๆที่ได้รับจากรถยก ดังนี้

ความเสียหายของรถยกจากการที่ผู้ขับขับเข้าไปในพื้นที่จัดเก็บสินค้าที่ที่มีการชำรุด การขับรถยกเข้าไปในสถานที่ที่มีวัสดุเครื่องมือหรืออะไรก็ตามที่ไม่ได้รับการจัดเก็บอย่างมีประสิทธิภาพอาจทำให้รถยกชำรุดเสียหายได้ เช่น การขับรถยกเข้าไปในสถานที่ที่มีชั้นจัดเก็บสินค้าที่เสียหาย

ความเสียหายของสิ่งต่างๆที่ได้รับจากรถยก รถยกที่บรรทุกสิ่งของโดยกองซ้อนกันมากเกินไปเป็นเหตุให้รถยกอาจสามารถพลิกคว่ำได้ ทำให้วัสดุสินค้าและเครื่องมือต่างๆ ทางธุรกิจเกิดการสูญเสียอย่างมาก อันตรายจากอุบัติเหตุสามารถส่งผลกระทบต่อทั้งผู้ขับและผู้คนบริเวณใกล้เคียงรถยก [6]

รถยกสามารถพลิกคว่ำได้เมื่อคนขับมีพฤติกรรมที่เสี่ยงอันตราย พฤติกรรมดังกล่าวได้แก่ เร่งถอยหลังอย่างรวดเร็ว เบรกหรือเลี้ยวรถเร็วเกินไป เบรกหรือเร่งความเร็วในขณะรถเลี้ยวโค้งหรืออยู่บนพื้นที่ลาด กำลังใช้รถยกบรรทุกสิ่งของและอยู่ในลักษณะเอนหัวรถยกลงบนพื้นที่ลาด ยกบรรทุกสิ่งของที่มีน้ำหนักไม่สมดุล ขับชนกับสิ่งอำนวยความสะดวกที่สามารถขับเคลื่อนได้คันอื่นๆ ขับข้ามแนวลาดหรือขับบนพื้นดินขรุขระที่เป็นหลุมบ่อ ยกส้อมสูงเกินไป ขับชนกับประตูหรือสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ข้างบน และลากจูงรถโดยไม่ใช้สิ่งลากจูงที่เหมาะสม เพื่อลดโอกาสจากความเสียหายที่กล่าวมา ผู้ประกอบการจำเป็นต้องอบรมและให้ความรู้แก่พนักงานที่มีหน้าที่ขับรถและพนักงานคนอื่นๆในเรื่องของความปลอดภัยในการทำงานกับรถยก [5] เช่น การขับรถยกอย่างปลอดภัย รถยกแต่ละประเภทสามารถรับน้ำหนักของวัสดุสิ่งของที่ยกได้ไม่เกินเท่าไร จำกัดความเร็วที่ผู้ขับต้องใช้ในการขับรถยก รวมถึงยกตัวอย่างความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นได้จากความประมาทของพนักงานในตอนปฏิบัติงาน เป็นต้น

งานวิจัย [7] ได้ทบทวนวรรณกรรมส่วนใหญ่ที่กล่าวถึงรถยกในเรื่องการออกแบบการใช้งานตามคุณลักษณะการจัดวางวัสดุสิ่งของในโรงงาน นโยบายการจัดเก็บและกำหนดเส้นทางพื้นที่ในการทำงานของรถยก เป็นการวิจัยที่มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคนขับรถยก ตรวจสอบจำนวนครั้งในการเคลื่อนย้ายพาเลทโดยเฉลี่ยต่อชั่วโมงการทำงานของรถยก พฤติกรรมการขับขี่รถยกที่มีประสิทธิภาพของพนักงาน คาดว่าจะสามารถลดการใช้พลังงาน ปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน และลดค่าบำรุงรักษาที่จำเป็น

งานวิจัยนี้ได้ตรวจสอบพฤติกรรมการขับขี่ของผู้ขับรถยก 4 คัน และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการ เช่น ข้อมูลแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ข้อมูลการลากดึงในขณะนั้น (Current Drawn) ข้อมูลการยกและข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนย้าย ผู้ขับรถยกที่ถูกเฝ้าสังเกตผ่านจอคอมพิวเตอร์ต้องดำเนินการ 2 งาน ดังนี้ 1. งานเคลื่อนย้ายสิ่งของเข้าที่เก็บ (Put Away Task) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายพาเลทจากชานชาลาขนถ่ายสินค้าไปยังสถานที่เก็บสินค้า 2. งานที่ต้องเติมเต็มสินค้าคงเหลือให้เพียงพอตลอดเวลา (Replenishment Task) เป็นกระบวนการย้ายพาเลทจากชั้นวางระดับบนไปยังตำแหน่งที่สามารถหยิบสินค้า งานวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมพฤติกรรมการขับขี่รถยกของพนักงาน 6 อย่าง ได้แก่ 1. อัตราการเร่งความเร็ว 2. อัตราการชะลอตัว 3. ความแปรปรวนของความเร็วในขณะที่รถยกเดินทาง 4. การใช้รถยกยกส้อมในขณะขับ 5. ความเร็วในการเดินทาง

โดยเฉลี่ยและ 6. จำนวนของการหยุดในระหว่างการเคลื่อนพาเลทแต่ละครั้ง ซึ่งการศึกษาทั้ง 6 อย่างที่กล่าวมานี้ได้ศึกษาผลกระทบของพฤติกรรมการขับขี่แต่ละชนิดต่อการใช้พลังงานและความสามารถในการผลิตโดยการวิเคราะห์ทางสถิติและการถดถอย (Conducting Statistical And Regression Analyses) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบงานที่ผู้ปฏิบัติการขับรถนำสินค้าเข้าที่เก็บรวมถึงเติมสินค้าคงเหลือให้เพียงพอตลอดเวลา (Replenishment) เพื่อทำให้ได้ปริมาณงานที่คนขับสามารถทำได้ในระยะเวลาหนึ่ง ประเมินประสิทธิภาพของคนขับโดยใช้ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพหลัก 3 ตัว (KPI) ได้แก่ 1. ความสามารถในการผลิต 2. การใช้พลังงานและ 3. ความปลอดภัย ตัวชี้วัดเหล่านี้จะใช้ในการประเมินทุกคนและนำมาเปรียบเทียบกัน รวมถึงรวบรวมแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในการฝึกอบรมต่อไปในอนาคต [7]

ความเสียหายจากรถยกที่ส่งผลกระทบต่อโรงงานอุตสาหกรรมดังที่กล่าวมา ส่วนใหญ่เกิดจากความประมาทของผู้ปฏิบัติการขับรถ จึงเกิดแนวคิดในการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามตำแหน่งของรถยกและระบุตัวตนของวัสดุสินค้า ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

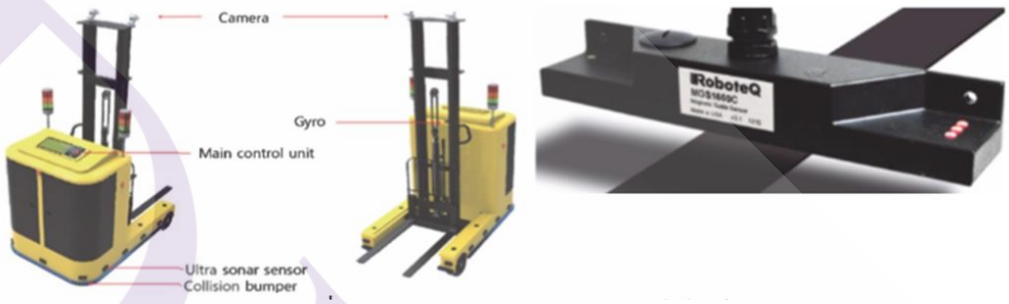
2.4 การระบุตำแหน่งของสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันการระบุตำแหน่งของสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีหลายงานวิจัยสนับสนุนเรื่องดังกล่าวในหลายๆด้าน อาทิ การระบุตำแหน่งในคลังสินค้าห้องเย็น การระบุตำแหน่งของอาหารสด การระบุตำแหน่งที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานในสภาพแวดล้อมคลังสินค้าขนาดใหญ่ การระบุตำแหน่งและการนำทางด้วยกล้อง TOF แบบ 3 มิติ การระบุตำแหน่งด้วยบาร์โค้ด และการวางแผนเส้นทางตามรหัส QR

2.4.1 การระบุตำแหน่งในคลังสินค้าห้องเย็น [8]

ทุกวันนี้มีนักวิจัยหลายคนให้ความสนใจเรื่องการนำหุ่นยนต์มาใช้ในทางธุรกิจเพื่อปฏิบัติงานของจริง แม้ว่าในปัจจุบันจะมีรถยกหลายคันใช้เครื่องวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Range Finders) ทั่วไปในการนำทางและระบุตำแหน่ง แต่ไม่สามารถนำมาใช้ได้กับสภาพแวดล้อมที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในคลังสินค้าได้ ส่วน Laser Range Finders ชนิดพิเศษที่สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศหนาวนั้นมีราคาสูงมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในทางธุรกิจเพื่อลดค่าใช้จ่ายจึงเกิดแนวคิดที่จะใช้ตัวรับรู้จำพวกที่มีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กและอัลตราโซนาร์ โดยเมื่อมีการเรียกใช้รถยกไร้คนขับ รถยกจะใช้ข้อมูลของสิ่งแวดล้อมรอบตัวและข้อมูลการเคลื่อนไหวที่ได้รับจากการวิเคราะห์ตัวเอง (Kinematics) เช่น การคำนวณมุมของทิศทางเพื่อตรวจจับทิศทางของรถยกด้วยตัวรับรู้แม่เหล็ก ตัวรับรู้อัลตราโซนาร์ และความเร็วเชิงมุมของล้อขณะที่รถยกกำลังเคลื่อนที่มาใช้ในการปฏิบัติงานเองครั้งต่อไป งานวิจัยนี้ใช้อัลกอริทึมการระบุ

ตำแหน่งโดยการสุ่มหาตำแหน่งของหุ่นยนต์ในแผนที่ (Particle Filters) ตัวรับรู้แม่เหล็ก ใช้ข้อมูลความเร็วจากล้อมาสร้างเป็นตำแหน่ง (Odometry) จึงทำให้ได้ข้อมูลตำแหน่งที่แม่นยำมาก อีกทั้งความแม่นยำในมุมทิศทางมีประโยชน์กับรถยกไร้คนขับที่กำลังบรรทุกสินค้าและขนสินค้าออก รวมถึงใช้อัลกอริทึมการวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมโดยการค้นหาแบบเอสตาร์ (A-star search) ด้วยการใช้แผนที่ที่มีเส้นตารางกริด จึงช่วยลดพื้นที่ในการค้นหาของรถยก ทำให้ใช้เวลาในการคำนวณน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 2.3



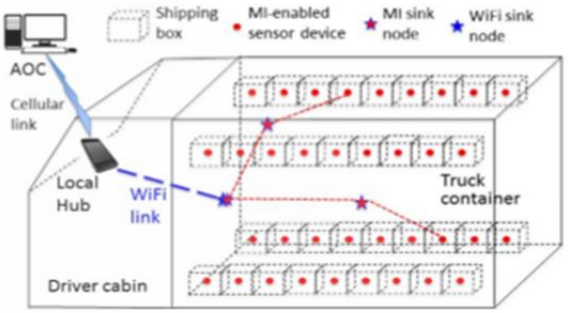
ภาพที่ 2.3 แสดงการระบุตำแหน่งในคลังสินค้าห้องเย็น

2.4.2 การระบุตำแหน่งของอาหารสด [9]

การติดตามคุณภาพอาหารสดในกระบวนการโลจิสติกส์ทำโดยการตรวจจับการเน่าเสียและการปนเปื้อนของอาหาร การสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RF) หรือคลื่นอัลตร้าโซนิก (Ultrasounds) ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมของอาหารทางชีวภาพที่มีน้ำและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน เพราะ RF จะมีโอกาสถูกดูดกลืนสัญญาณสูง ถ้าไม่อยากให้สัญญาณถูกดูดกลืนจะต้องใช้เสาอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งจะทำให้มีค่าใช้จ่ายมากขึ้น แม้กระทั่ง High RF ที่ใช้ความร้อนสูงมากจึงทำให้คุณภาพอาหารเสื่อม ส่วนคลื่นอัลตราโซนิกที่แม้สัญญาณถูกดูดกลืนต่ำกว่า RF แต่จะถูกแปลงเป็นความร้อนเมื่อมีการแพร่กระจาย ultrasounds จึงจำเป็นต้องถูกเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งจะส่งผลเหมือนกับการใช้ High RF

วิจัยนี้จึงใช้ตัวรับรู้ชนิดสัมผัสแบบแม่เหล็กเหนี่ยวนำ (Magnetic Induction - MI) พลังงานต่ำ เนื่องจากใช้พลังงานน้อยกว่า RF และ ultrasounds ในระยะทางสั้น ๆ อีกทั้งสัญญาณ MI ไม่ได้ถูกสะท้อนหรือกระจัดกระจายไปตามสภาพแวดล้อมโดยรอบจึงไม่ค่อยเกิดสัญญาณรบกวน เสาอากาศ MI แบบขดลวด isotropic MI ประกอบด้วยขดลวดแบบฉากสามแกนที่ทำให้การระบุตำแหน่งมีความแม่นยำ จึงทำให้การสื่อสารทุกทิศทางที่ได้มีความน่าเชื่อถือ วิจัยนี้ระบุตำแหน่ง

กล่องในกองของกล่องในรถบรรทุกหรือในห้องคลังสินค้าได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งตัวรับรู้ชนิด MI สามารถใช้งานได้นานหลายปีโดยไม่ต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ เนื่องจากมีความเรียบง่ายและราคาไม่แพงส่งผลให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากขึ้นและสิ้นเปลืองน้อยลง



ภาพที่ 2.4 แผนผังไดอะแกรมของ Network Scenario

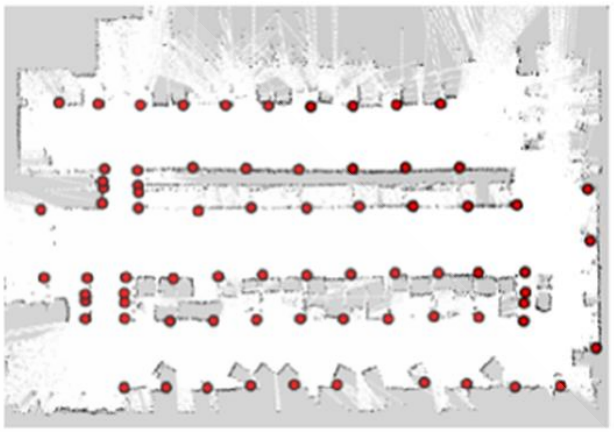
2.4.3 การระบุตำแหน่งที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานในสภาพแวดล้อมคลังสินค้าขนาดใหญ่ [10]

เนื่องจากโรงงานทั่วไปมีสภาพแวดล้อมทางอุตสาหกรรมที่ไม่มีความเป็นระเบียบเรียบร้อยเป็นอย่างมาก ภายในคลังสินค้าจะมีรถยกที่ทำหน้าที่จัดเก็บจะขนถ่ายสินค้าทั้งบนพาเลทและวัสดุ ก่อนที่จะมีรถบรรทุกมารับหรือจัดส่งทั้งพาเลทและวัสดุต่อไป ดังนั้นจึงทำให้ผู้ประกอบการพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและความปลอดภัยของรถยก จึงเกิดระบบนำทางรถยนต์ (Automated Guided Vehicle - AGV) ในการขนส่งและจัดเก็บพาเลทอัตโนมัติเพิ่มขึ้น การใช้รถยก AGV มีประสิทธิภาพมากกว่ารถยกแบบเก่าที่ผู้ขับต้องจัดการวัสดุด้วยตนเองซ้ำๆจึงอาจเกิดความผิดพลาดจนสินค้าเกิดความเสียหายขณะจัดการด้วยตนเองได้ เนื่องจากการควบคุมการออกแบบและการใช้รถยก AGV ต้องเป็นไปตามมาตรฐานความปลอดภัย ANSI อย่างเข้มงวด

ระบบ AGV ประกอบด้วย ยานพาหนะอัตโนมัติหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น ระบบการระบุตำแหน่งที่บอกตำแหน่งและทิศทางในการเคลื่อนที่สำหรับยานพาหนะ มีแผนที่ที่แนะนำเส้นทางให้ AGV สามารถเดินทางไปปฏิบัติงานได้ และมีตัวควบคุม (Controller) ส่วนกลางที่ทำให้อุปกรณ์ทุกส่วนสามารถทำงานประสานกัน อีกทั้ง AGV แต่ละคันสามารถมีภารกิจเฉพาะของรถยกที่แตกต่างกันได้

สภาพแวดล้อมที่ไม่เป็นระเบียบมากของอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ส่งผลให้ต้องคำนึงถึงสินค้าและวัสดุที่วางไม่เป็นระเบียบบนแท่นวางสินค้า การวาดเส้นแสดงรูปร่างของโครงสร้างในคลังสินค้าแบบ 2 มิติไม่อาจเพียงพอได้ วิจัยนี้จึงใช้วิธีวาดเส้นแสดงรูปร่างของโครงสร้าง

ในคลังสินค้า โดยใช้ตัวรับรู้ LIDAR ที่สามารถสแกนสิ่งแวดล้อมภายในคลังสินค้าให้เป็นแผนที่ 3 มิติ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เพื่อทำให้ง่ายต่อการทำภารกิจของรถยกที่ใช้ระบบ AGV



ภาพที่ 2.5 แสดงแผนที่กริดในคลังสินค้าขนาดพื้นที่ประมาณ 20 × 35 เมตร วงกลมสีแดงหมายถึงจุดเด่นของวัสดุที่รองรับชั้นวางพาเลทในแนวตั้ง

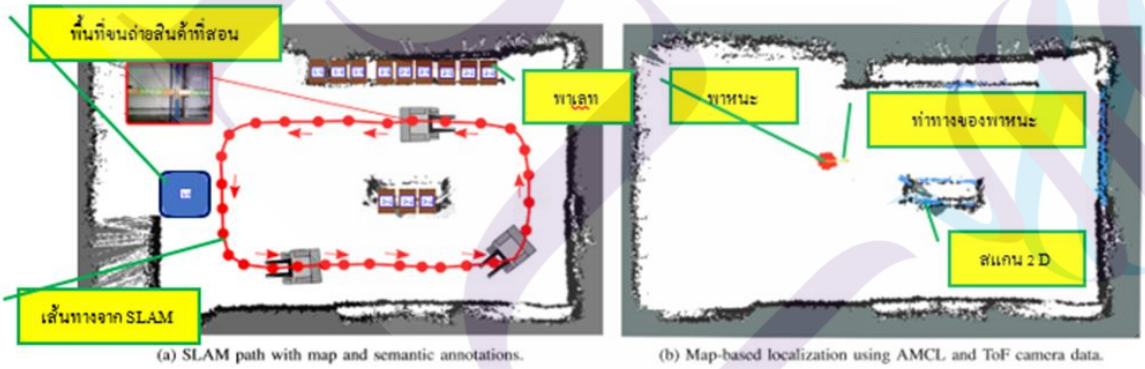
2.4.4 การระบุตำแหน่งและการนำทางด้วยกล้อง TOF แบบ 3 มิติ [11]

ปัจจุบันการติดตั้งระบบขนส่งส่วนกลางที่ใช้ในอุตสาหกรรมกันอย่างแพร่หลายมีราคาสูงและไม่สามารถเปลี่ยนแปลงการติดตั้งได้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในการปรับปรุงประสิทธิภาพเรื่องดังกล่าว วิจัยนี้จึงพัฒนาระบบการรับรู้บนรถยก AGV แบบใหม่ (On-Board Sensing System) ที่ใช้กล้อง 3 มิติ (Time-of-Flight : ToF) พื้นฐาน แทนการใช้กล้องวัดระยะด้วยเลเซอร์ในการทำแผนที่และการระบุตำแหน่ง อีกทั้งไม่จำเป็นที่กล้องต้องสามารถมองเห็นจุดสังเกตเทียมหรือจุดสังเกตที่มองเห็นก็ได้

ระหว่างการดำเนินงาน รถยกที่ใช้ปฏิบัติการของวิจัยนี้คือรถยก ETV 216 ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ที่สร้างขึ้นโดย Jungheinrich AG ซึ่งเป็นรถยกที่ได้รับการดัดแปลงด้วยการเพิ่มตัวรับรู้ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์ด้านความปลอดภัยเพื่อหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุ โดยผู้ควบคุมจะสร้างแผนที่สภาพแวดล้อมเพื่อวางแผนเส้นทางการขนส่งของรถยกในกระบวนการสอนครั้งแรก ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทำแผนที่และอัลกอริทึมการระบุตำแหน่ง ภาพ a คือแผนที่เริ่มต้นที่ถูกสร้างขึ้นจากเทคนิค SLAM ดังนี้ เส้นทาง SLAM (สีแดง), สัญญาณแร็ค (ข้อความสีฟ้าบนพาเลท) และพื้นที่การขนถ่ายสินค้าที่สอน (Taught Reloading Area) (L-1, กล่องสีน้ำเงิน) ภาพ b เป็นตัวอย่างการระบุตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับแผนที่ก่อนหน้าโดยใช้เทคนิค AMCL กับข้อมูลในกล้อง ToF ข้อมูลที่ได้จากกล้อง ToF สามารถใช้คาดการณ์กลุ่มชิ้นเล็กๆแทนท่าทางของ

ยานพาหนะ (สีแดง) คาดคะเนท่าทาง (สีเหลือง) และการสแกนช่วง 2D (สีน้ำเงิน) จากนั้นรถยก AGV ที่อยู่ในระหว่างการปฏิบัติงานจะคำนวณและขนส่งพาเลทระหว่างสถานที่ตั้งที่ถูกกำหนด มีการเพิ่มสิ่งกีดขวางลงไปในคลังสินค้า ผลการทดสอบรถยก AGV นี้พบว่าสามารถประมวลผลคำสั่งในการขนส่งและหลบหลีกสิ่งกีดขวางในคลังสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาพที่ 2.6 รถยก ETV 216 ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กับวิจัยการนำทางด้วยกล้อง TOF แบบ 3 มิติ

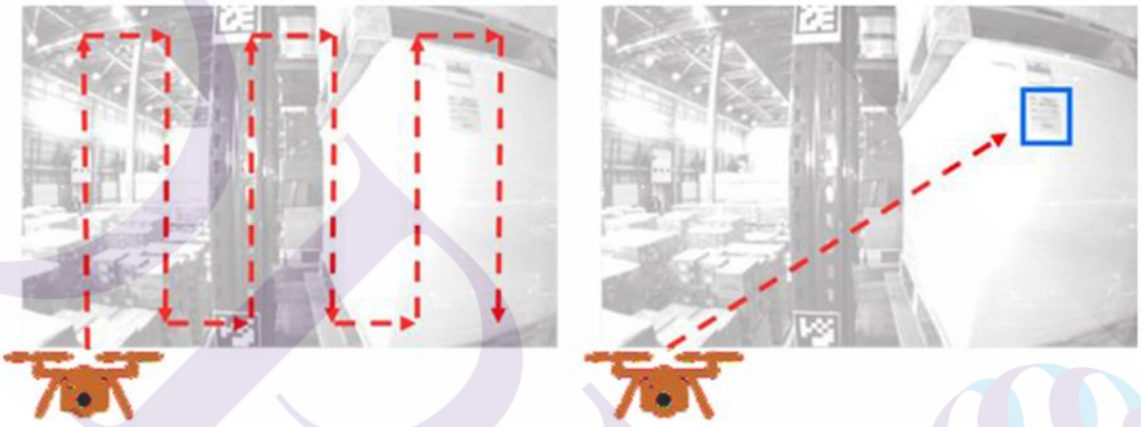


ภาพที่ 2.7 แสดงการทำแผนที่ด้วยเทคนิค SLAM และ AMCL กับ กล้อง ToF

การระบุตำแหน่งตามแผนที่ช่วยให้รถยก AGV สามารถกลับเข้ามายังจุดเฉพาะภายในแผนที่ก่อนหน้าที่รถเคยไปอีกครั้ง เช่น แร็ค หรือ สถานีชาร์จ โดยใช้อัลกอริทึมการระบุตำแหน่งแบบ Adaptive Monte-Carlo Localization (AMCL) ที่ใช้ในการติดตามยานพาหนะต่างๆ

2.4.5 การระบุตำแหน่งด้วยบาร์โค้ด [12]

ทุกวันนี้มีบริษัทที่มีคลังสินค้าและโรงงานขนาดใหญ่ให้ความสนใจกับวิธีการตรวจจับบาร์โค้ดเป้าหมายอัตโนมัติด้วยกล้องที่ใช้ตรวจจับความร้อน (Infrared-IR) ซึ่งสามารถนำวิธีการนี้มาช่วยโดรนในการวางแผนเส้นทางจึงส่งผลให้ลดการใช้พลังงานของโดรนลงจากการที่โดรนต้องทำการค้นหาทั่วคลังสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 2.8 (ก) โดยใช้กรอบการตรวจจับ (Detection Framework) ของการกำหนดตำแหน่งมาตัดภาพบางส่วนออกไปให้เหลือเพียงรูปของบาร์โค้ด 2 มิติ แล้วระบุตำแหน่งโดยวิเคราะห์ข้อมูลของระยะทางระหว่างโดรนและบาร์โค้ด 2D เป้าหมาย ดังแสดงในภาพที่ 2.8 (ข)



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.8 การตรวจจับบาร์โค้ด 2D เป้าหมาย (ก) เสียงหึ่งๆที่กำลังค้นหาดังทั่วคลังสินค้า ใช้วิธีการค้นหาแบบละโมบ (greedy search) แต่ (ข) เป็นการหาเส้นทางสั้นสุดจากตำแหน่งปัจจุบันไปยังบาร์โค้ด 2 มิติ เป้าหมาย

ภายในภาพจากกล้องที่ใช้ IR จะมีจุดเดียวที่เหมือนบาร์โค้ดที่สุด ซึ่งแสดงผลในภาพที่ 2.9 (ก) และ (ข) รูป (ก) แสดงถึงการตรวจจับบาร์โค้ดเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง ภาพด้านบนเป็นตัวอย่างการรู้จำบาร์โค้ด 2 มิติที่ดีที่สุดของโดรน และภาพด้านล่างที่แสดงถึงประสิทธิภาพของวิธีดังกล่าวที่ตรวจจับบาร์โค้ดได้แม้ความสว่างภายในภาพที่เกิดจากตัวส่งสัญญาณของกล้อง IR จะเปลี่ยนแปลง และรูป (ข) แสดงการแจ้งเตือนที่ผิดพลาด ภาพซ้ายบนและล่างแสดงการตรวจจับบาร์โค้ดเป้าหมายและบาร์โค้ดที่ไม่ใช่เป้าหมายพร้อมกัน ภาพกลางล่างนั้นไม่ชัดถึง 50% ภาพที่

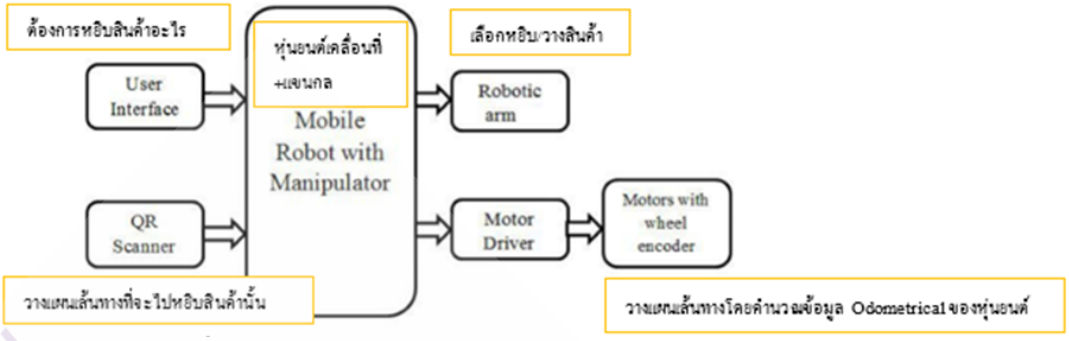
เหลือแสดงถึงการตรวจจับบาร์โค้ดที่ไม่ใช่เป้าหมายเนื่องจากภายในภาพมีแสงไม่เพียงพอทำให้ภาพไม่ชัดเป็นอย่างมาก

(ก) (ข)

ภาพที่ 2.9 (ก) แสดงการตรวจพบบาร์โค้ดในรูปภาพของคลังสินค้า และรูป (ข) แสดงการแจ้งเตือนที่ผิดพลาดในรูปภาพของคลังสินค้า

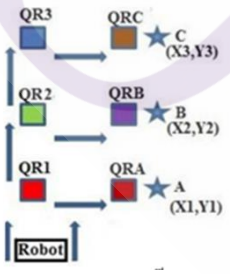
2.4.6 การวางแผนเส้นทางตามรหัส QR [13]

การขนส่งภายในพื้นที่ขนาดใหญ่อย่างคลังสินค้าทุกวันนี้ หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติมีบทบาทสำคัญหลายอย่าง เช่น นำทาง หยิบวัตถุ และเดินทางกลับไปที่ส่วนกระบวนการบรรจุหีบห่อสินค้า เป็นต้น วิจัยนี้วางแผนเส้นทางโดยใช้สติ๊กเกอร์ QR Code วางไว้บนพื้นในตำแหน่งที่เหมาะสมผ่านจุดต่างๆไปยังปลายทางเพื่อเลือกวัตถุที่ต้องการจากภาพที่ 2.10 แสดงสถาปัตยกรรมภาพรวมของระบบที่นำเสนอในส่วนติดต่อผู้ใช้ (UI) ส่วนนี้ใช้สื่อสารกับหุ่นยนต์ เช่น ป้อนข้อมูลเข้าหุ่นยนต์ โดยข้อมูลนี้คือ รายละเอียดสินค้า หรือ ผลิตภัณฑ์, โมดูลสแกนเนอร์ QR (QR scanner module) ใช้สำหรับวางแผนเส้นทาง, แขนหุ่นยนต์ (Robotic Arm) (5DOF) ใช้ในการเลือกและวางสินค้า หรือ ผลิตภัณฑ์, และมอเตอร์พร้อมตัวเข้ารหัสล้อ (Motor With Wheel Encoder) ที่ใช้ในการคำนวณข้อมูล Odometrical ของหุ่นยนต์สำหรับการวางแผนเส้นทาง

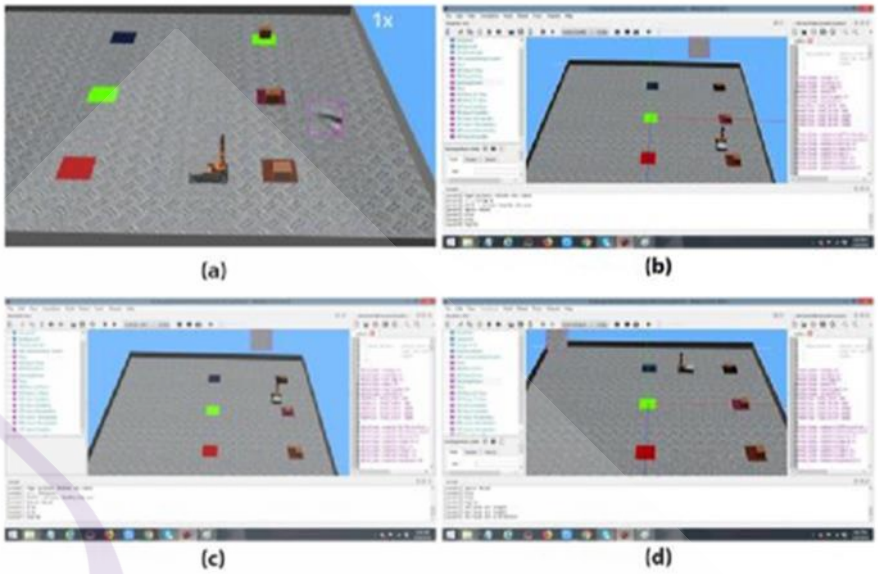


ภาพที่ 2.10 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบการวางแผนเส้นทางตามรหัส QR

จากผลการทดสอบพบว่าหุ่นยนต์สามารถรับอินพุตจากหน่วยส่วนกลางได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่หุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่ในคลังสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 2.11 เมื่อหุ่นยนต์รับข้อมูลป้อนเข้าและนำทางตัวเองไปยังตำแหน่งปลายทางเป้าหมาย จากวิธีนี้สรุปได้ดังภาพที่ 2.12 พบว่าเมื่อหุ่นยนต์ประมวลผลหนึ่งข้อมูลเข้า เช่น เป้าหมายปลายทาง A จากนั้นถ้ามีหน่วยกลางอื่นๆ ป้อนข้อมูลเข้าเพิ่มอีกหนึ่งรายการ เช่น เป้าหมายปลายทางเป็น B กับหุ่นยนต์ เพื่อหยิบสินค้า/ผลิตภัณฑ์ขึ้นมาแล้วนำไปไว้ที่เคาน์เตอร์พัสดุ จากนั้นหุ่นยนต์จะประมวลผลโดยการคำนวณเพื่อให้ได้ทิศทางของเส้นทางที่สอดคล้องกัน ในกรณีนี้หุ่นยนต์หันไปทางทิศตะวันออก (เนื่องจากอยู่ในขั้นตอนการหยิบสินค้า หรือ ผลิตภัณฑ์) ดังนั้นจึงมีเมทริกซ์เส้นทางให้หุ่นยนต์นำทางตัวเองไปยังเป้าหมายปลายทาง B เช่นเดียวกันเมื่อหุ่นยนต์ได้รับข้อมูลป้อนเข้าอื่น ๆ เช่น เป้าหมายปลายทางเป็น C จากนั้นหุ่นยนต์จะประมวลผลเพื่อให้ได้ทิศทางของตัวเองและคำนวณออกมาเป็นเมทริกซ์เส้นทางที่สอดคล้องกับทิศทางที่หุ่นยนต์หันหน้าออกไป กล่าวได้ว่าหุ่นยนต์จะนำทางตัวเองไปยังสถานที่เป้าหมายปลายทางตามเมทริกซ์จากเส้นทางที่คำนวณได้



ภาพที่ 2.11 รูปแบบการวางแผนเส้นทาง (แสดงสติ๊กเกอร์ QR เป็นสีต่างๆเพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น)



ภาพที่ 2.12 การใช้อัลกอริทึมในการปฏิบัติงานกับโหนดเป้าหมาย

การระบุตำแหน่งของสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมดังที่กล่าวมาเป็นตัวอย่างการนำเทคโนโลยีต่างๆมาใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะงานแต่ละประเภท ในงานวิจัยนี้ทดสอบในห้องที่มีพื้นที่ขนาดประมาณ 6.50 x 6.00 ตารางเมตร รวมถึงระยะทางที่ใช้ในการทดสอบประมาณ 27.07 เมตร ซึ่งจะใช้เทคโนโลยี Beacon ในการติดตามตำแหน่งของรถยกและเทคโนโลยี UHF RFID ในการระบุตัวตนของม้วนกระดาษ ซึ่งจะได้กล่าวถึง 2 เทคโนโลยีดังกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.5 ตัวอย่างการใช้งานของเทคโนโลยีที่วิจัยเราเลือกใช้

ปัจจุบันหลายเทคโนโลยีถูกเลือกใช้ในการระบุตำแหน่งรถยก หรือ หุ่นยนต์จำลองและติดตามสถานะของสินค้าภายในโรงงานอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้สนใจการระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ด้วยบีคอน และติดตามสถานะสินค้าด้วยอาร์เอฟไอดี มีหลายงานวิจัยสนับสนุนเรื่องดังกล่าวในหลายๆด้าน อาทิ การใช้เทคโนโลยี Beacon ในการพัฒนาการสอนสินค้าคงเหลือและโลจิสติกส์ การวางตำแหน่ง UGV ตามเวลาจริงโดยการจับคู่การสแกน LiDAR ของบีคอนอ้างอิง การระบุตำแหน่งบนพื้นฐานของ Quantized-RSSI ที่ใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษด้วยตัวรับสัญญาณปลุก การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ Synthetic Aperture Radar หรือ SAR ของแท็ก UHF-RFID ผ่านหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และ ระบบหุ่นยนต์สำหรับการระบุตำแหน่งของสิ่งของที่ติดแท็ก UHF-RFID แบบพาสซีฟบนชั้นวาง

2.5.1 การใช้เทคโนโลยี Beacon ในการพัฒนาการสอนสินค้าคงเหลือและโลจิสติกส์ [14]

ปัจจุบันข้อเท็จจริงจากข้อมูลของบริษัทสามารถนำมาใช้กับการเรียนระดับวิทยาลัย เช่น นำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงหลักสูตรการจัดการสินค้าคงคลังและโลจิสติกส์ในเมืองของมหาวิทยาลัยเวินโจว งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงระบบ 3 ส่วน ได้แก่ 1. แท็กของเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (BLE) 2. แอพสมาร์ทโฟนที่สามารถอ่านข้อมูล และ 3. ฐานข้อมูลคลาวด์

วิจัยนี้รวบรวมข้อมูลสินค้าคงเหลือและโลจิสติกส์จากการอ่านแท็กแบบแอคทีฟ และป้อนข้อมูลเหล่านี้กลับไปยังฐานข้อมูลคลาวด์ด้วยเทคโนโลยีบีคอน ทำให้ผู้ผลิตไม่จำเป็นต้องส่งสินค้าออกมากเกินไป นักศึกษาสามารถใช้ข้อมูลของฐานข้อมูลระบบคลาวด์ในการเรียนรู้วิธีการจัดการสินค้าคงคลังที่เหมาะสมและช่วยในการตัดสินใจทางโลจิสติกส์ ดังนั้นระบบนี้จึงสามารถช่วยให้วิทยาลัยฝึกอบรมนักศึกษาในหลักสูตรการจัดการสินค้าคงคลังและโลจิสติกส์ได้ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติ

บีคอนใช้ทฤษฎีของเทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) ซึ่งเป็นการสื่อสารที่ใช้ต้นทุนและพลังงานต่ำ ทำงานโดยส่งสัญญาณแอคทีฟจากแท็กบีคอนไปยังอุปกรณ์เครื่องอ่าน (Reader) ใดๆอย่างรวดเร็ว ระยะทางในการส่งสัญญาณประมาณ 10-100 เมตร จึงทำให้อุปกรณ์เครื่องอ่านสามารถรับสัญญาณบีคอนได้อย่างสะดวก แท็ก beacon ทั้งหมดจะมี ID ไม่ซ้ำกัน เมื่ออุปกรณ์เครื่องอ่านตรวจพบสัญญาณของแท็กบีคอนแล้ว อุปกรณ์จะระบุ ID แท็กบีคอนและจะทราบตำแหน่งแท็กบีคอนนั้นด้วย จากนั้นจะส่งข้อมูล ID และตำแหน่งแท็กบีคอนดังกล่าวไปยังฝั่งเซิร์ฟเวอร์ เนื่องจากแอพลิเคชั่นของเทคโนโลยีบีคอนสามารถส่งข้อมูลตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ จึงสามารถนำตำแหน่งที่นั้นไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

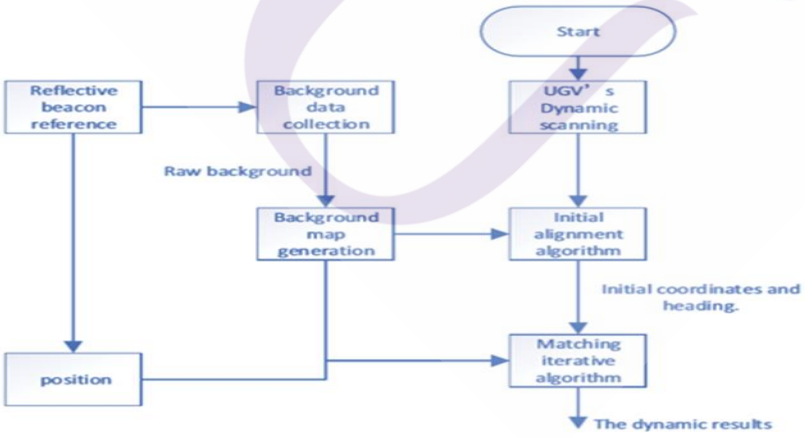
เมื่อบริษัทผู้ผลิตติดตั้งระบบการป้อนข้อมูลย้อนกลับโดยใช้เทคโนโลยีบีคอน ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถพัฒนาระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดค่าใช้จ่ายของบริษัทเป็นจำนวนมาก หลังจากที่นักศึกษาใช้งานระบบ นักศึกษาจะสามารถเรียนรู้เทคนิคการวิเคราะห์และเทคนิคการตัดสินใจทางโลจิสติกส์ที่เหมาะสมว่าจะดำเนินการต่อไปอย่างไรกับข้อมูลของสินค้าคงเหลือและโลจิสติกส์เหล่านี้

การใช้ระบบนี้สามารถปรับปรุงการฝึกอบรมหลักสูตรสินค้าคงคลังและโลจิสติกส์ โดยนักศึกษาได้รับข้อมูลจากแท็กและเครื่องอ่านบนชั้นวางสินค้าที่บอกปริมาณที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของสินค้า และได้ข้อมูลพิกัดที่เปลี่ยนแปลงไปตามการขนส่งเคลื่อนย้ายสินค้า ทำให้นักศึกษาสามารถระบุข้อมูล เช่น การหมุนเวียนสินค้าคงคลัง ระยะเวลาการส่งมอบ เส้นทางการติดตามโลจิสติกส์ เป็นต้น

2.5.2 การระบุตำแหน่ง UGV ตามเวลาจริงโดยการจับคู่การสแกน LiDAR ของบีคอนอ้างอิง [15]

ในอดีตที่ผ่านมา UGV ระบุตำแหน่งด้วยบีคอนแบบสะท้อนแสงด้วยเลเซอร์ในสภาพแวดล้อมที่มีคุณลักษณะเฉพาะหลากหลายได้ไม่ค่อยแม่นยำนัก เพราะข้อมูลที่ได้มาจากบีคอนแบบสะท้อนแสงนั้นมีไม่มากพอที่จะสามารถระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง ส่งผลให้เกิด Error เมื่อ Error สะสมมากขึ้นเรื่อยๆจึงทำให้การระบุตำแหน่งที่ได้นั้นไม่เที่ยงตรง ปัจจุบันจึงมีการออกแบบการกำหนดตำแหน่งแบบเวลาจริงโดยใช้การจับคู่การสแกน LiDAR ของบีคอนอ้างอิง การทดลองวิจัยนี้ใช้แพลตฟอร์มหุ่นยนต์ที่มี IMU ในตัว และ 2D LiDAR เพื่อสแกนการจับคู่กับแผนที่คุณลักษณะสภาพแวดล้อม 2 มิติที่เตรียมไว้ การสแกนการจับคู่กับแผนที่นี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลการสะท้อนของบีคอนทั้งหมด การจับคู่ใช้อัลกอริทึมการจับคู่รูปแบบจุดบนคลาวด์ที่เรียกว่า Guupied Grid Gauss - Newton Matching เพื่อคำนวณทิศทางและตำแหน่งของแพลตฟอร์มหุ่นยนต์ การจับคู่การสแกนทำได้ไม่ดีนักในพื้นที่ที่ไม่มีคุณลักษณะเฉพาะ จึงต้องเพิ่มบีคอนอ้างอิงตามทางเดินเพื่อให้การระบุตำแหน่งในพื้นที่อับของอาคารมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

การทำงานในพื้นที่ทดสอบ วิธีการที่ใช้เรดาร์แบบคงที่ในการค้นหาที่ตั้ง ดีกว่าวิธีที่ใช้การสแกนแบบเวลาจริง เนื่องจากก่อนที่จะใช้วิธีเรดาร์ได้นั้นต้องลดจุดสีรบกวนในภาพออกไปก่อนแล้วสร้างพื้นหลังของสภาพแวดล้อม แพลตฟอร์มหุ่นยนต์ UGV จะเริ่มต้นค้นหาที่ตำแหน่งและทิศทางที่หุ่นยนต์หันหน้าไป จากนั้นจะจัดตำแหน่งของแผนที่ตารางกับพื้นหลังของสภาพแวดล้อมเพื่อให้สามารถคำนวณตำแหน่งและทิศทางที่แพลตฟอร์มหุ่นยนต์ UGV นั้นหันหน้าไป ขั้นตอนการประมวลผลของการระบุตำแหน่ง UGV แสดงในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 ขั้นตอนการประมวลผลของวิธีการระบุตำแหน่ง UGV

จากภาพที่ 2.13 สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

ก. การสร้างพื้นหลัง (Background creation)

ใช้เรดาห์สำรวจแบบคงที่เพื่อให้ได้แผนที่ 2 มิติจากข้อมูลจุดเมฆที่มีคุณลักษณะตามสภาพแวดล้อม

ข. อัลกอริทึมการจัดตำแหน่งเริ่มต้น (Initial alignment algorithm)

ค้นหาพารามิเตอร์การหมุนระหว่างระบบพิกัดแพลตฟอร์ม UGV และระบบพิกัดของโลก การทดสอบจะเริ่มจากการเลือกพิกัดที่คลุมเครือและมุมทิศทางที่หุ่นยนต์หันหน้าออก ขั้นตอนนี้เน้นการคำนวณค้นหาเป็นหลัก

ค. การจับคู่การวนซ้ำ (Matching iteration)

แนวคิดของคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) ต้องการลดทรัพยากรการคำนวณของ UGV จึงใช้วิธีการจับคู่ด้วย Gauss - Newton ที่ไม่ต้องค้นหาโดยใช้ข้อมูลระหว่างปลายคลื่นวิทยุที่ส่งและไม่ต้องค้นหาอย่างละเอียด

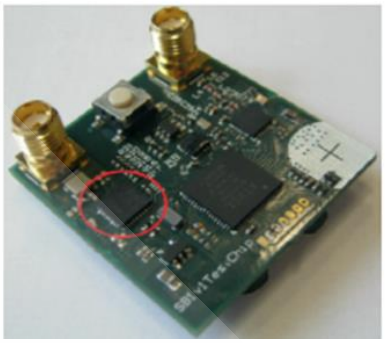
ง. การแก้ไขตัวสะท้อนแสง (Reflector correction)

ขั้นตอนนี้เสริมการแก้ปัญหาสภาพแวดล้อมที่ไม่มีโครงสร้างเฉพาะโดดเด่นหรือแม้แต่การจับคู่ล้มเหลวในสภาพแวดล้อมที่ไม่ขึ้นรูป โดยการนำคุณสมบัติของบีคอนเสาสะท้อนแสงที่มีข้อดี คือ รูปร่างคงที่ และความเข้มของแสงสะท้อนจะสูงกว่าแผนที่ทั่วไป

ความเข้มแสงที่มีเกณฑ์กำหนดแน่นอนจะทำให้สามารถสกัดและรู้จำบีคอนได้ บีคอนที่ถูกตั้งพิกัดไว้ล่วงหน้าก็จะช่วยให้ระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารทั้งหมดมีความแม่นยำ การระบุตำแหน่งที่ได้ มาจากการคำนวณจุดที่เหมาะสม 3 จุด การคำนวณสามารถแยกตำแหน่งพิกัดและทิศทางที่หุ่นยนต์หันหน้าไปเป็นชุด การเพิ่มบีคอนในทางเดินเรียบสามารถแก้ไขการขาดคุณสมบัติทางเรขาคณิต (Geometric) ในสภาพแวดล้อมและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

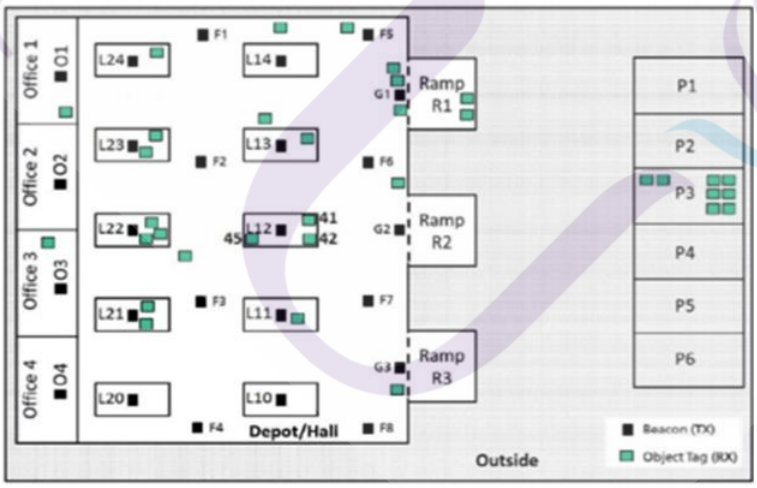
2.5.3 การระบุตำแหน่งบนพื้นฐานของ Quantized-RSSI ที่ใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษด้วยตัวรับสัญญาณปลุก [16]

วิจัยนี้พัฒนาอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้วยการใช้บีคอนที่มีทั้งตัววัดค่า RSSI และตัวรับสัญญาณปลุกที่ใช้พลังงานต่ำเป็นพิเศษให้สามารถระบุตำแหน่งได้ (แสดงในภาพที่ 2.14) ตัววัดค่า RSSI วัดโดยบันทึกระยะทาง (Log-Distance) ของเส้นทางที่สูญเสียไปในคลังสินค้าตัวอย่างจากการที่บีคอนสามารถวัดปริมาณพลังงานอินพุตจะเห็นได้ว่าการระบุตำแหน่งจะแม่นยำขึ้นเมื่อใช้อัลกอริทึมรวมที่มีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 2.14 โมดูลทดสอบตัวรับสัญญาณปลุก พร้อมด้วย IC ปลุก ที่ล้อมรอบโมดูล, ไมโครคอน-โทรลเลอร์และชิปตัวรับส่งสัญญาณ CC1101 เพิ่มเติมโดย Texas Instruments (ในภาพไม่แสดงเสาอากาศ)

ระบบระบุตำแหน่งที่รองรับการปลุกของบีคอนจะทำงานโดยแต่ละบีคอนจะส่งเฟรมสัญญาณตำแหน่ง และ/หรือเลขประจำตัวของบีคอนและสัญญาณปลุกหากันเป็นระยะๆแล้วส่งให้โมดูลแท็กต่างๆเพื่อใช้ในการคัดเลือกวัตถุเป้าหมาย การระบุตำแหน่งในตัวเองมีข้อดี คือ ประหยัดพลังงานแท็กเพราะส่งสัญญาณบีคอนเฉพาะที่ถูกร้องขอ ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงสถานการณ์จำลองคลังสินค้าโดยใช้แอปพลิเคชัน Geofencing หรือแอพฯโลจิสติกส์คลังสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 2.15

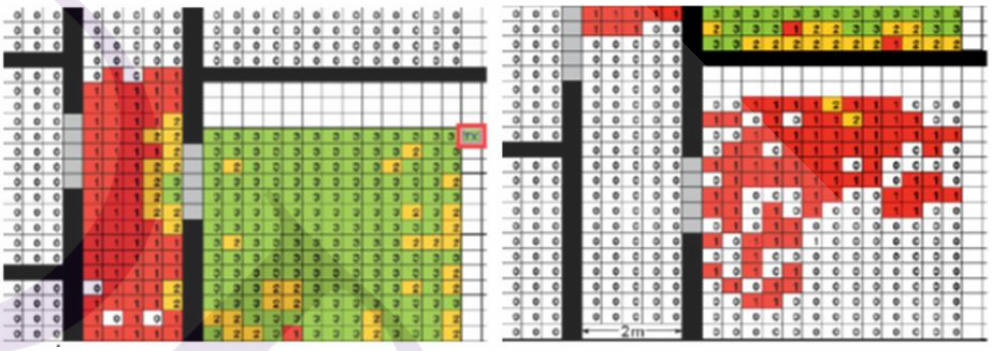


ภาพที่ 2.15 ตัวอย่างระบบระบุตำแหน่งด้วยบีคอน แต่ละบีคอนวางที่ Offices (Ox), พื้นที่คลังสินค้า (Fx) ตำแหน่งที่ใช้ทดสอบ เช่น ทางลาดสำหรับบรรทุกสินค้า (Lxx, Gx).

การระบุตำแหน่งในอาคาร ระบบจะมีสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 2 ประเภท ดังนี้

1. พื้นที่โดยรอบถูกล้อมไปด้วยห้องเล็ก ๆ โถงทางเดินและกำแพงสำหรับสถานการณ์จำลองของสำนักงานปกติ (ภาพที่ 2.16), ภาพที่ 2.16 แสดงแผนที่การแพร่กระจายสัญญาณที่แท็กวัดได้ในห้อง Offices ต่างๆ ซึ่งแสดงสัญญาณอย่างไม่น่าเชื่อถือนัก

2. พื้นที่ขนาดใหญ่ในห้องโถงหรือคลังสินค้า ควบคุมการแพร่กระจายสัญญาณโดยวัดผลกระทบจากการสูญเสียเส้นทางและการกระจายหลายเส้นทาง ควรใช้อัลกอริธึมการกระจายสัญญาณให้ซับซ้อนมากขึ้นเพื่อคำนวณค้นหาตำแหน่งแท็กในพื้นที่ขนาดใหญ่



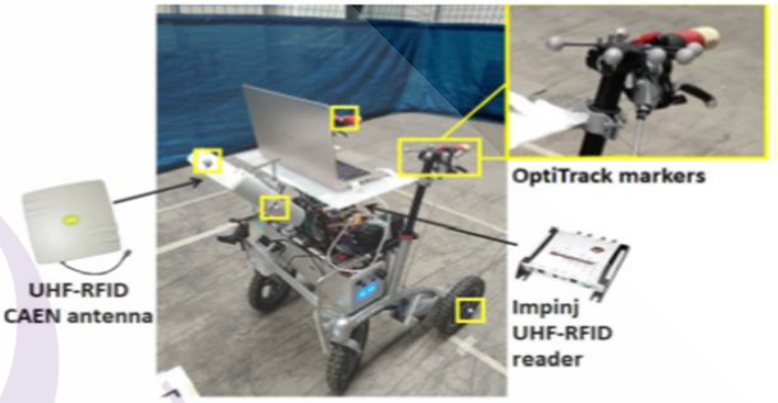
ภาพที่ 2.16 การแพร่กระจายสัญญาณจากภายในมุมขวาด้านบนของห้องสำนักงานปิดที่ RSSI วัดได้ 4 ระดับ (0 ถึง 3) โดยใช้ตัวรับสัญญาณปลุก

บีคอนราคาถูกจำนวนมากมีอายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานจึงลดผลกระทบจากการสูญเสียข้อมูลของการเหนี่ยวนำที่อ่อนลงเนื่องจากสัญญาณสามารถแพร่กระจายได้อย่างอิสระ

2.5.4 การระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้ SAR ของแท็ก UHF-RFID ผ่านหุ่นยนต์เคลื่อนที่ [17]

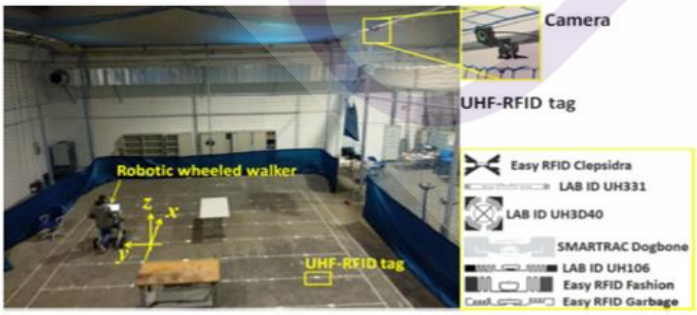
วิจัยนี้เป็นของมหาวิทยาลัยเทรนโตที่เสนอวิธีการวัดเพื่อค้นหาแท็ก (Ultra High Frequency Radio Frequency Identification : UHF-RFID) ที่ต่างกัน 6 แท็กในคลังสินค้าที่ขึ้นอยู่กับวิธีการสังเคราะห์เรดาร์รูรับแสง (Synthetic Aperture Radar - SAR) ที่วิจัยนี้ใช้แท็กต่างกันหลายชนิดนั้นเพื่อตรวจสอบว่าประเภทของแท็กมีผลต่อประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งหรือไม่ ซึ่งจากการสำรวจปัญหาก่อนหน้าพบว่าแท็กที่อยู่ ground side ทำให้การระบุตำแหน่งแบบ 2 มิติระบุตำแหน่งได้ไม่แม่นยำนัก วิจัยนี้ใช้แพลตฟอร์มหุ่นยนต์วอล์คเกอร์ที่มีเครื่องอ่าน UHF-RFID ของ Impinj Speedway Revolution R420 และเสาอากาศ UHF-RFID ของ CAEN RFID WANTENNA X019 (ภาพที่ 2.17) ซึ่งถูกระบุตำแหน่งแพลตฟอร์มหุ่นยนต์วอล์คเกอร์โดยใช้อัลกอริทึมที่ต้องรู้

เส้นทางการเคลื่อนที่ของเสาอากาศเครื่องอ่านเพื่อทดสอบระบบกล้องปรับเทียบ และใช้ระบบวิชั่นที่ปรับเทียบแล้วในการประเมินความแม่นยำของการระบุตำแหน่งเพื่อระบุแท็กที่ตรวจพบ เทคนิคต่างๆดังกล่าวจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์แท็กต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์เส้นทางการเคลื่อนที่ของเสาอากาศที่แตกต่างกัน



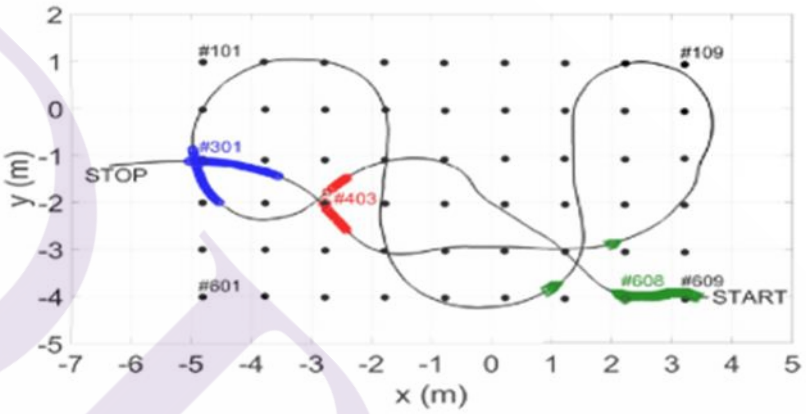
ภาพที่ 2.17 หุ่นยนต์วอล์คเกอร์แบบมีล้อที่มีเครื่องอ่าน UHF-RFID ของ Impinj และเสาอากาศ UHF-RFID ของ CAEN RFID

การวัดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเสาอากาศเครื่องอ่านใช้ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหว OptiTrack ระบบนี้มาพร้อมกับกล้องอัจฉริยะ Prime13 จำนวน 14 ตัว (ภาพที่ 2.18) ที่สามารถสตรีมข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์กลางอย่างรวดเร็วแต่จะแสดงผลข้อมูลล่าช้าเล็กน้อย ระบบ OptiTrack สามารถวัดตำแหน่งของ marker ad-hoc ในกรอบอ้างอิงที่รู้จัก (ดังแสดงในภาพที่ 2.18) การระบุตำแหน่งและกำหนดทิศทางที่กำหนดไว้ของระบบวิชั่นมีความค่อนข้างแม่นยำ



ภาพที่ 2.18 สถานการณ์ในอาคารพร้อมด้วยแท็ก UHF-RFID เชิงพาณิชย์ ขนาด 6 × 9 ในพื้นที่ 40 ตารางเมตร และระบบจับการเคลื่อนไหว OptiTrack

การทดลองได้ใช้ marker 20 อันวางไว้บนแพลตฟอร์มหุ่นยนต์วอล์คเกอร์ สามารถช่วยติดตามตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพแม้ในขณะที่บาง markers ถูกปิดกั้น Markers 3 ตัวที่วางบนเสาอากาศ RFID มีไว้เพื่อติดตามตำแหน่งและกำหนดทิศทางดังแสดงในภาพที่ 2.33 การวัดจากระบบวิชั่นอ้างอิงมีความไม่แน่นอนเล็กน้อยจึงมีผลกับตำแหน่งจริงของแท็ก UHF-RFID ที่วางอยู่บนพื้นดังนั้นจึงมี marker บางอันติดอยู่ด้านบนของแท็ก UHF-RFID ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นเส้นทางเดินของแพลตฟอร์มหุ่นยนต์วอล์คเกอร์พร้อมกับตำแหน่งของแท็กแสดงในภาพที่ 2.19



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างของเส้นทางการเคลื่อนที่เสาอากาศของเครื่องอ่านที่วัดโดยระบบวิชั่นตำแหน่งแท็กแสดงด้วยวงกลมสีดำ และเส้นทางที่ตรวจพบแท็กบางอย่างจะแสดงด้วยเส้นที่เป็นสีแดง น้ำเงินและเขียว

การวิเคราะห์เชิงทดลองขึ้นอยู่กับการตรวจจับแท็ก RFID ที่แสดงในภาพที่ 2.35 ของความถี่ f_0, ในขณะที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางในภาพที่ 2.35 เสาอากาศเครื่องอ่านบนหุ่นยนต์ตรวจจับได้ 37 แท็กโดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่แตกต่างกันดังแสดงในแท็ก #301 ที่พิกัด [-4.82, -1.11] เมตร (เส้นหนาทึบสีน้ำเงิน), แท็ก #403 ที่พิกัด [-2.78, -2.02] เมตร (เส้นหนาทึบสีแดง) และแท็ก #608 ที่พิกัด [2.22, 4.04] เมตร (เส้นหนาทึบสีเขียว)

2.5.5 ระบบหุ่นยนต์สำหรับการระบุตำแหน่งของสิ่งของที่ติดแท็ก UHF-RFID แบบพาสซีฟบนชั้นวาง [18]

จากระบบระบุตำแหน่งในคลังสินค้าที่กล่าวถึงก่อนหน้าเห็นได้ว่าปัจจุบันหุ่นยนต์ที่ใช้งานในโรงงานได้รับการพัฒนาให้สามารถระบุตำแหน่งวัตถุสิ่งของในคลังสินค้าได้ด้วยการนำเทคนิคต่างๆเข้ามาประยุกต์ใช้กับตัวแพลตฟอร์มหุ่นยนต์ วิจัยนี้ระบุตำแหน่งวัตถุบนชั้นวางสินค้า

โดยใช้เทคโนโลยีต้นทุนต่ำบนยานพาหนะที่คล้ายกับจักรยานล้อเดียวที่สามารถเลือกวิธีขนส่งเคลื่อนย้ายได้อย่างหลากหลายพร้อมทั้งมีเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีและแท็กที่ติดอยู่นอกชั้นวาง

การระบุตำแหน่งของวัตถุมี 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1.หุ่นยนต์จะบอกตำแหน่งตัวเองโดยอัลกอริธึมที่ใช้คาลมาน (Kalman-based algorithm) ซึ่งจะระบุตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลความเร็วจากล้อหุ่นยนต์ (Odometry) จากระยะ (Phase) สัญญาณของแท็ก RFID อ้างอิง 2-3 ตัวที่ติดตั้งตามชั้นวาง และ 2. หุ่นยนต์จะประมาณตำแหน่งของวัตถุที่ติดแท็กด้วยการจับคู่รูปแบบระยะ (Phase) ที่รวบรวมไปตามเส้นทางเฉพาะกับแบบจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Parametric Electromagnetic Model) ขั้นตอนที่ 1

จากนั้นจะระบุตำแหน่งวัตถุบนชั้นวางโดยใช้อัลกอริธึมที่เหมาะกับระยะ (Phase) ของสัญญาณจากแท็กที่อยู่บนวัตถุที่เก็บรวบรวมตามเส้นทางเฉพาะ ด้วยการสร้างแบบจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Parametric Electromagnetic Model) มีการวิเคราะห์ได้ว่าข้อผิดพลาดในการประมาณค่าในพิกัดแท็กยังคงมีอยู่เมื่อมีเสียงรบกวนการวัด

สรุปผลการทดลองของวิจัยนี้ได้ 5 ข้อใหญ่ๆ คือ 1. ความหนาแน่นเชิงพื้นที่ต่ำของแท็กอ้างอิง 2.หุ่นยนต์เคลื่อนไหวได้ตามต้องการอย่างไม่สลับซับซ้อน 3. หุ่นยนต์เคลื่อนที่ถูกต้องแม้จะโดนรบกวนเพียงเล็กน้อย 4. ระบบสามารถรองรับพื้นที่สภาพแวดล้อมหลายขนาด 5. ข้อดีของเทคโนโลยี UHF RFID แบบพาสซีฟ เช่น ราคาถูก, ไม่มีค่าใช้จ่ายในการดูแล, มี ID, มีการวัดระยะที่แม่นยำ, สามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่ไม่ดี แต่ข้อเสนอนี้มีจุดอ่อนอยู่ที่ความสัมพันธ์กับความไวต่อปรากฏการณ์คลื่นหลายวิถี (Multipath Phenomena) ที่อาจทำให้คุณภาพของการวัดระยะ (Phase) แย่ลง

สภาพสิ่งของต่างๆในตำแหน่งที่ไม่เป็นระเบียบทำให้ระบบระบุตำแหน่งไม่แม่นยำนัก โดยเฉพาะการสะท้อนกลับและการเลี้ยวเบนหลายๆทิศทางจากชั้นวางโลหะ มีผลต่อคุณภาพการวัดระยะ (Phase) ของตำแหน่งวัตถุจริงๆ และตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างเครื่องอ่านแท็กและชั้นวางที่มีสิ่งของไม่เป็นระเบียบทำให้ข้อมูลตำแหน่งเกิดการสะท้อนและเลี้ยวเบนหลายทิศทางจึงส่งผลให้ระบุตำแหน่งได้ไม่แม่นยำนัก ดังนั้น การเก็บรวบรวมการวัดระยะที่มากพอจะช่วยลดข้อมูลที่มาหลายทิศทางให้น้อยลงได้ อัลกอริทึมการจับคู่ที่นำเสนอนี้เราวัดข้อมูลที่ไม่มีคลื่นหลายเส้นทางบางจุด เพื่อลดผลกระทบจากคลื่นหลายวิถี (Multipath) ที่แฝงตัวอยู่ ณ. จุดอื่นๆ

จากการทดลองที่แสดงในภาพที่ 2.20 มี 2 กรณี กรณี a หมายถึงที่เก็บเอกสารที่ติดแท็กอยู่ในตู้โลหะ กรณี b หมายถึงคลังสินค้าที่มีสินค้าที่ติดแท็กวางซ้อนกันโดยอิสระ กรณี b ระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำมากกว่ากรณี a ซึ่งถือได้ว่าเป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุดเนื่องจากสิ่งของที่วางไม่เป็นระเบียบมีผลต่อการสะท้อนกลับและการเลี้ยวเบนจากตู้โลหะ ซึ่งทั้ง 2 กรณีดังกล่าว

แพลตฟอร์มหุ่นยนต์ของวิจัยนี้ได้ดำเนินการวัดระยะด้วยเครื่องอ่าน RFID เช่น วัดทุกระยะที่ห่างจากกันประมาณ 5 เซนติเมตรในเส้นทางที่หุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่ไป หุ่นยนต์จะหยุดเป็นเวลา 3 วินาทีและรวบรวมระยะของสัญญาณที่ได้รับมาประมวลผลแต่ละแท็ก 30 ครั้งอย่างอิสระ จากนั้นใช้ระยะเฉลี่ยในอัลกอริธึมการระบุตำแหน่งเพื่อกรองเสียงรบกวนแบบเกาส์เซียนของฮาร์ดแวร์ออกไป

ภาพที่ 2.20 การจัดเตรียมการทดลอง: a) ตู้โลหะพร้อมที่เก็บเอกสารที่ติดแท็ก b) กล่องกระดาษซ้อนกัน แท็กอ้างอิงอยู่ในวงกลมสีแดง

2.6 ซอฟแวร์ที่ใช้พัฒนาระบบ

2.6.1 พื้นฐานภาษาไพธอน (Python)

เนื่องจากบอร์ด Paspberry Pi รองรับการเขียนโปรแกรมได้หลากหลายภาษาหนึ่งในนั้นคือภาษาไพธอน (Python) ซึ่งเป็นภาษาที่หมู่นักพัฒนานิยมเลือกใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาไพธอนมี 2 รุ่น คือ ไพธอน 2 และ ไพธอน 3 อีกทั้งยังมีไลบรารี (Library) จาก Open Source ที่ส่วนใหญ่ยังเป็นรุ่น 2 แต่วิจัยนี้เลือกใช้ไพธอน 3 เพราะทันสมัยกว่าไพธอน 2

เครื่องมือที่วิจัยนี้เลือกใช้พัฒนาภาษาไพธอน คือ โปรแกรม IDE3 ภาษาไพธอนใช้ย่อหน้า (Identation) หรือการเว้นวรรค 4 ช่อง แทนการใช้บล็อก (Block) {…} ของตระกูลภาษาซี (C)

การรันโปรแกรมที่ถูกเขียนจากภาษาไพธอนบนโปรแกรมเทอร์มินอล (Terminal) ใช้คำสั่ง sudo python3 ชื่อโปรแกรมภาษาไพธอน.py

การรับค่าและแสดงผลของภาษาไพธอน ใช้ x = input(“Enter Value”) และ print(x) ตามลำดับการใช้คำสั่งเงื่อนไขของภาษาไพธอน มีรูปแบบดังนี้ กำหนดค่า x = 90

```
if x > 100:
   print(“x is big”)
elif x < 10:
   print(“x is small”)
else:
   print(“x is medium”)
```

จากเงื่อนไขดังกล่าว คำสั่งนี้จะแสดงผลเป็น x is medium

คำสั่งในการวนซ้ำของภาษาไพธอน ใช้ในการเรียกซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนดมีรูปแบบดังนี้

```
For I in range(1, 11):
   Print(i)
```

จากการวนซ้ำดังกล่าว คำสั่งนี้จะแสดงผลตั้งแต่ค่า 1 ถึง 10

การนิยามฟังก์ชัน (Function) ในภาษาไพธอน ใช้สำหรับหลีกเลี่ยงการเขียนโค้ดเดิมซ้ำๆ โดยเริ่มเขียนจาก def count_to_10():

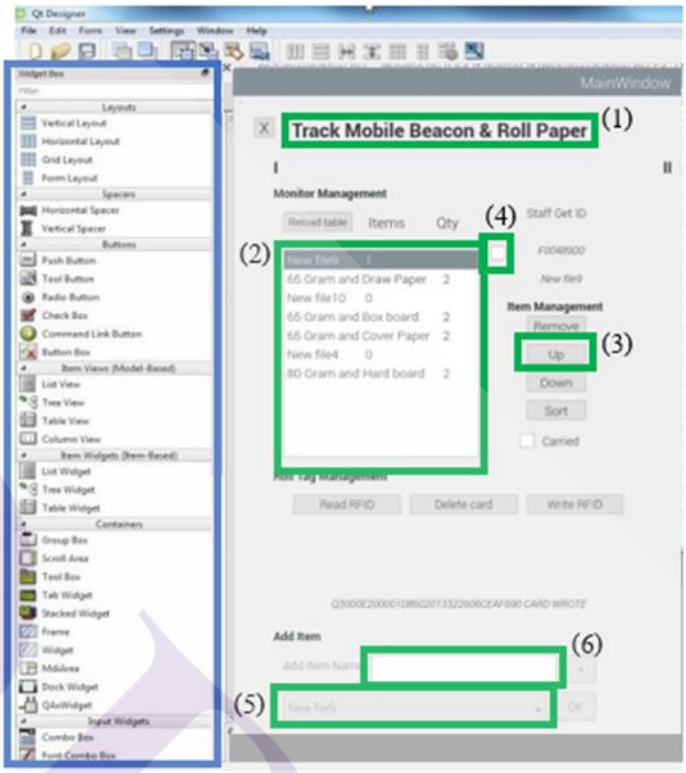
```
 for i in range(1, 11):
   print(i)
```

และเรียกใช้ฟังก์ชันนี้ด้วยคำสั่ง count_to_10()

นอกจากคำสั่งพื้นฐานในภาษาไพธอนดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ยังมีคำสั่งที่น่าสนใจอื่นๆ เช่น คำสั่งทางคณิตสาสตร์ (Arithmetic) การสร้างสตริง การแปลงชนิดของตัวแปรหรือค่า การหาความยาวสตริงและการเปรียบเทียบค่า ซึ่งผู้อ่านสามารถหาความรู้เพิ่มเติมจาก [น.Raspberry Pi Cookbook]

2.6.2 GUI

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมในการพัฒนาหน้า GUI ที่มีชื่อว่า Qtcreator รุ่น 5 ซึ่งจะมีเครื่องมือสำหรับสร้าง UI ต่างๆหลายประเภทตามที่ผู้ออกแบบต้องการ โดยจะคำนึงถึงผู้ใช้ให้สามารถโต้ตอบกับโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และซับซ้อนน้อยที่สุด ซึ่ง UI ดังกล่าวจะอยู่ทางซ้ายมือของโปรแกรม Qtcreator ดังแสดงในภาพที่ 2.21



ภาพที่ 2.21 แสดงส่วนติดต่อกับผู้ใช้ในวิจัยนี้บางส่วนโดยโปรแกรม Qt Creator หน้า Designer

Label ลาเบลในวิจัยนี้ใช้สำหรับใส่ข้อความที่เราต้องการแสดงในหน้าต่าง main window เช่น Track Mobile Beacon & Roll Paper และ Monitor Management สำหรับฟังก์ชันของภาษาไพธอนที่ใช้แสดงข้อความบนหน้า GUI คือ settext(“Item”) เมื่อรันโปรแกรมจะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 21 (1)

List Widget ลิสต์วิดเจทใช้สำหรับแสดงข้อมูลในเรื่องเดียวกัน ออกมาเป็น 1 column โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถกระทำการกับลิสต์ได้หลายอย่าง เช่น เพิ่ม หรือ ลบ ในวิจัยนี้นำมาใช้ในการแสดงรายการประเภทและจำนวนคงเหลือของม้วนกระดาษ สำหรับฟังก์ชันของภาษาไพธอนในการเพิ่มและลบ คือ addItem() และ clear() ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 21 (2)

Push Button พุช บัททอน คือปุ่มที่สามารถกดเพื่อกระทำตามคำสั่ง event ที่เรากำหนด ในวิจัยนี้นำปุ่มมาใช้ เช่น ปุ่ม Read, Delete และ Write โดย event จะมีรูปแบบคือ self.pushButton.-clicked.connect(self.ชื่อฟังก์ชัน) ดังแสดงในภาพที่ 21 (3)

Check Box เป็นปุ่มที่ใช้สำหรับกดหรือยกเลิกติ๊กถูกข้างหน้าข้อความได้ ในวิจัยนี้เราใช้ปุ่มดังกล่าวสำหรับผู้ดูแลระบบกดส่งข้อมูลเพื่อแจ้งไปยังผู้บังคับหุ่นยนต์รถ สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ตรวจสอบการติ๊กของปุ่มคือ isChecked() ดังแสดงในภาพที่ 21 (4)

Combo Box แสดงลิสต์ประเภท DropDown ซึ่งจะใช้พื้นที่ในหน้า mainwindow น้อย เพราะจะแสดงแค่รายการปัจจุบันที่อยู่บนสุดของลิสต์ ตำแหน่งด้านขวามีลูกศรให้กดลงเพื่อดูรายการในลิสต์อื่นๆเพิ่มเติม สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ เช่น addItem(), Clear() และ currentText() ดังแสดงในภาพที่ 21 (5)

Text Edit ใช้ได้ทั้งกรอก แก้ไข และแสดงข้อความ ซึ่งในวิจัยนี้นำ Text Edit มาใช้ในการกรอกรายการสินค้าประเภทใหม่ที่ยังไม่เคยมีในฐานข้อมูล สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ เช่น insertPlainText() และ append() ดังแสดงในภาพที่ 21 (6)

2.6.3 Terminal บน Raspberry Pi

เทอร์มินอล บน ราสเบอร์รี่พาย มีไว้ใช้สำหรับรันคำสั่ง Linux ทีละบรรทัด เช่น การคัดลอกข้อมูลใช้คำสั่ง cp .. .., การย้ายข้อมูลใช้คำสั่ง mv .. .., และ การแปลงจาก GUI เป็นไพธอน ในส่วนการออกแบบ จะใช้คำสั่ง pyuic -x .. -o .. โดย ".." แทนพาธจนถึงไฟล์ของที่เก็บไฟล์ เช่น cp PyQt/helloQt/Textfile/adminreport.csv PyQt/helloQt/Textfile/adminreport1.csv ผลลัพธ์ขากคำสั่งนี้จะทำให้ได้ไฟล์ใหม่ที่ชื่อว่า adminreport1.csv ที่มีข้อมูลข้างในไฟล์เหมือนกับไฟล์ adminreport.csv ทุกประการ

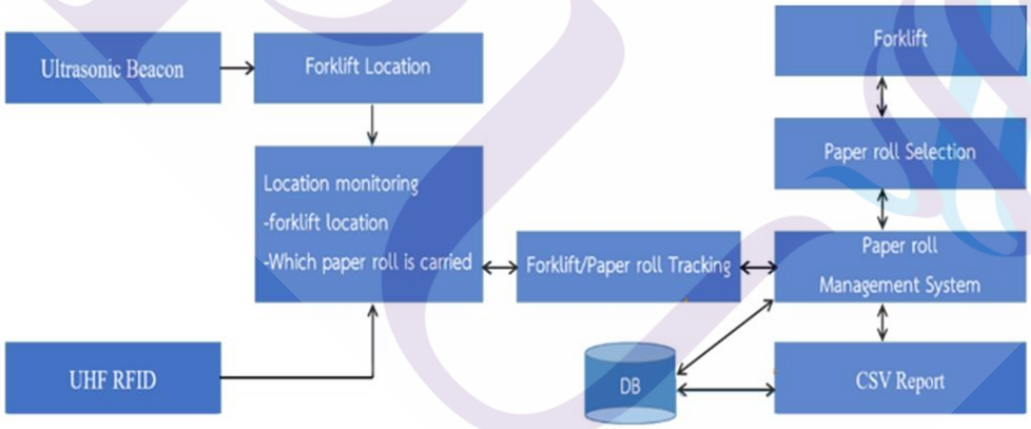
2.7 สรุปเนื้อหา

บทนี้จะเห็นได้ว่ารถยกได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เริ่มจากรถยกทั่วไป รถยกที่ใช้เทคโนโลยี รถยกที่มีระบบระบุตำแหน่ง ตามลำดับ ตอนนี้มีปัจจัยจำกัดในเรื่องของ ความหนาของกระดาษ เสียง และโลหะ ที่ทำให้การระบุตำแหน่งและระบุตัวตนของวัสดุยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากบีคอนสามารถใช้ระบุตำแหน่งและอาร์เอฟไอดีสามารถใช้ในการระบุตัวตนของสินค้าที่ใช้ต้นทุนไม่แพง วิจัยนี้จึงสนใจนำบีคอน อาร์เอฟไอดี และแพลตฟอร์มหุ่นยนต์มาเป็นต้นแบบในการปรับปรุงประสิทธิภาพปัจจัยจำกัดดังกล่าว

บทที่ 3
การวางแผนและการออกแบบระบบ

วิจัยบทนี้จะกล่าวถึง ภาพรวมของระบบ การออกแบบอุปกรณ์ ลำดับขั้นตอนการทำงาน การออกแบบวงจร แสดงรายละเอียดของอุปกรณ์แต่ละส่วนในระบบ รวมถึงอธิบายการทำงานของ การระบุตำแหน่ง การระบุตัวตนของม้วนกระดาษ การดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถที่ประกอบด้วย การแสดงผลทางหน้าจอ และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ได้แก่ การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ ตลอดจนการสรุปเนื้อหา

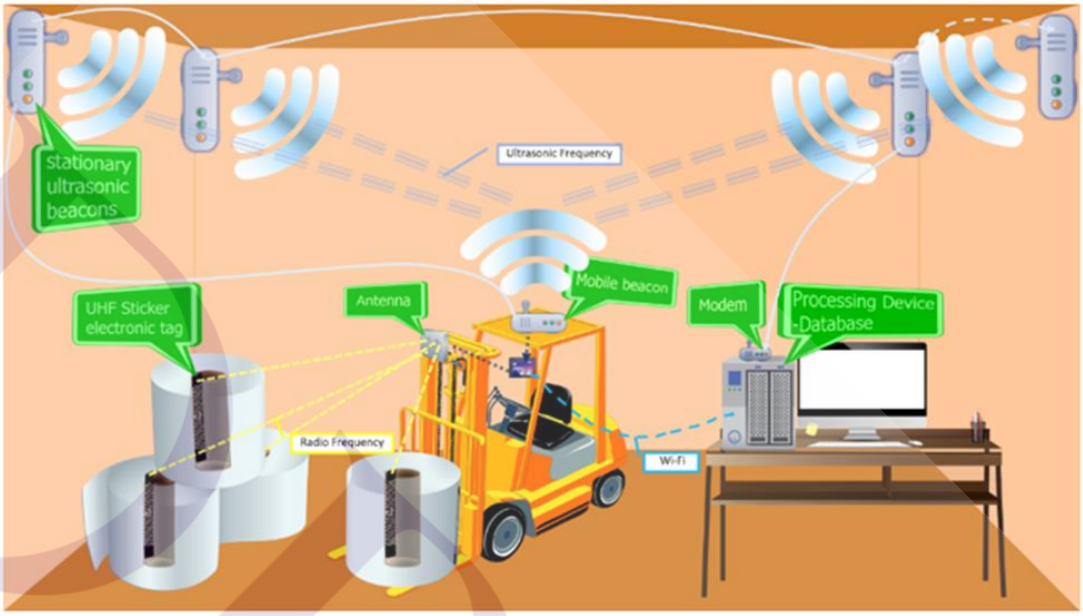
3.1 ภาพรวมของระบบ



ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมของระบบ

จากภาพที่ 3.1 แสดงภาพรวมการทำงานของระบบ 2 ส่วน โดยส่วนแรกเราใช้บีคอนคลื่นเสียงที่สามารถสื่อสารกันในระยะทาง 30 เมตร มาติดตามตำแหน่งของรถ Forklift และใช้อาร์เอฟไอดีที่สามารถอ่านข้อมูลในระยะทาง 185 - 250 เซนติเมตรได้เป็นอย่างดี หรือสามารถอ่านผ่าน

ความหนากระดาษได้มากกว่า 13 เซนติเมตร มาระบุตัวตนของม้วนกระดาษที่รถ Forklift ต้องการเคลื่อนย้าย เพื่อรวมเป็นระบบที่สามารถติดตามตำแหน่งรถ Forklift และสถานะม้วนกระดาษ ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานก่อนที่จะส่งข้อมูลไปให้ส่วนที่สูงกว่าจัดการต่อไป

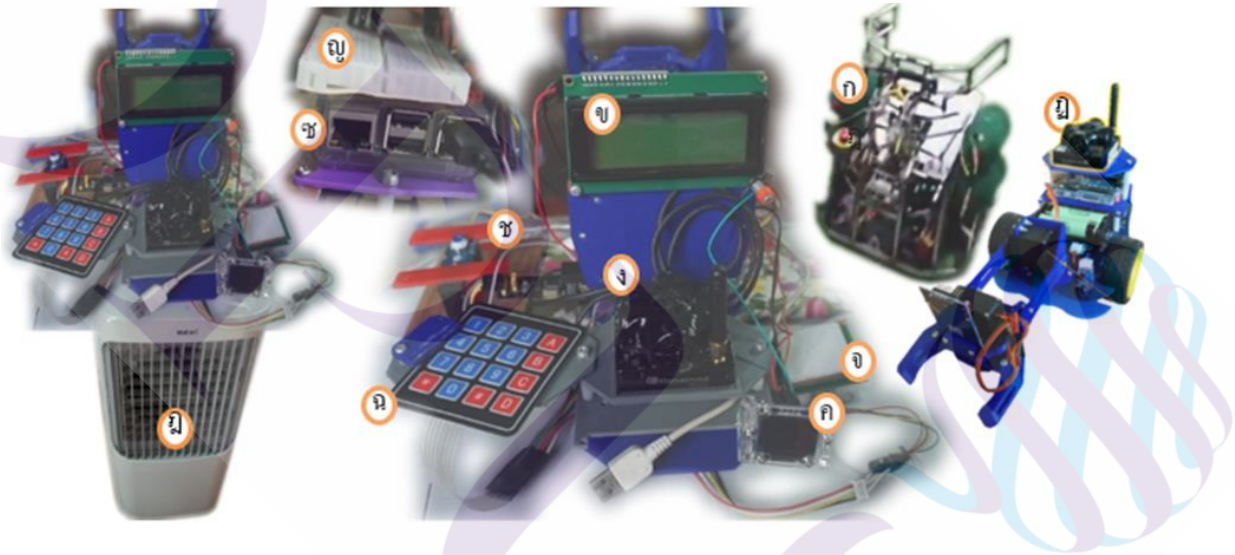


ภาพที่ 3.2 ภาพรวมของระบบ

จากภาพที่ 3.2 ผู้ปฏิบัติการขับรถ Forklift ไปหยิบม้วนกระดาษตามตำแหน่งที่ปรากฏบนจอมิเตอร์ที่ติดอยู่บนรถ Forklift อุปกรณ์บีคอนแบบคลื่นเสียง (Ultrasonic Beacon) เก็บตำแหน่งที่อยู่ Forklift ผ่านสัญญาณอัลตร้าโซนิค (Ultrasonic Frequently) และอุปกรณ์อาร์เอฟไอดีความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequently Radio Frequency Identification) เก็บข้อมูลของม้วนกระดาษผ่านสัญญาณวิทยุ (Radio Frequently) แล้วประมวลผลข้อมูลทั้งหมดที่ศูนย์กลางข้อมูล (Data Center) เพื่อตรวจสอบว่าขณะนี้หยิบกระดาษถูกม้วนหรือไม่ ถ้าไม่จะแสดงผลแจ้งเตือนบนหน้าจอรถ Forklift และแสดงผลตำแหน่งรถ Forklift อย่างต่อเนื่องผ่านสัญญาณเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wi-Fi) บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2 การออกแบบอุปกรณ์

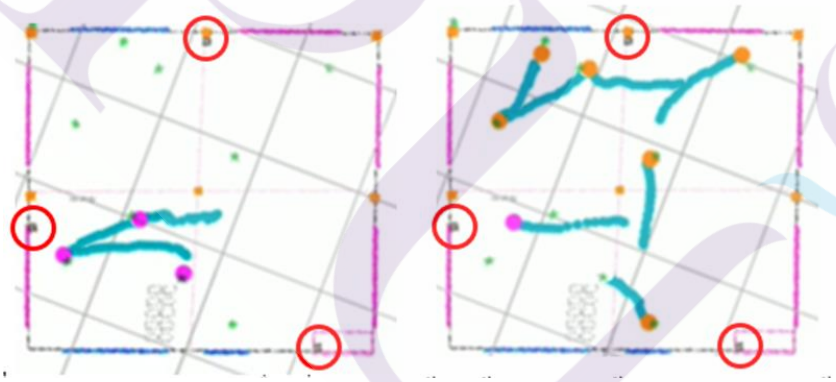
งานวิจัยนี้จำลองรถที่ใช้เคลื่อนย้ายม้วนกระดาษด้วยหุ่นยนต์รถ ABU 2019 ดังแสดงในภาพที่ 3.4 (ก) และภาพรวมของเครื่องมือที่ใช้ในวิจัยนี้ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยแบ่งเป็นอุปกรณ์ต่างๆดังนี้ อุปกรณ์ที่รับคำสั่งจากผู้ดูแลระบบ (ข) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับดูความคืบหน้าในการปฏิบัติงานรวมถึงแจ้งข้อมูลไปยังผู้ดูแลระบบ (ค) อุปกรณ์ที่ใช้ติดตามตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษที่อยู่บนรถ (ง) อุปกรณ์สำหรับระบุตัวตนม้วนกระดาษ (จ) อุปกรณ์ที่ให้ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้กรอก-ส่งรหัส และอ่านรหัสม้วนกระดาษ (ฉ) อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แทนการขนส่งสินค้าของรถ forklift (ช) ชุดควบคุมรวมถึงรับ-ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ทั้งหมดไปยังผู้ดูแลระบบ (ซ) อุปกรณ์สำหรับจั๊มสายไฟ (ญ) อุปกรณ์ที่ใช้เคลื่อนที่และติดตั้งเครื่องมือบนรถ forklift (ฎ) หุ่นยนต์รถเคลื่อนที่พร้อมติดตั้งเครื่องมือสำหรับการทดสอบเบื้องต้น (ฏ)



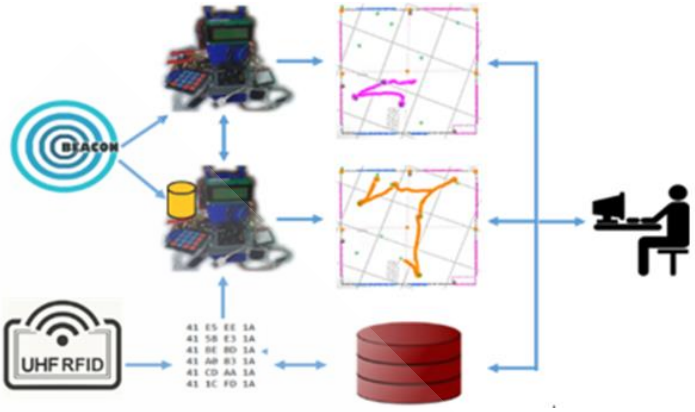
ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแพลตฟอร์มรถเคลื่อนที่ (ซ้าย) และภาพรวมเครื่องมือวิจัยนี้ (ขวา)

แพลตฟอร์มรถสำหรับเคลื่อนที่ในงานวิจัยนี้ใช้หุ่นยนต์รถ ABU 2019 ใช้ราสเบอร์รี่พายในการประมวลผลข้อมูลที่รับมาจากบีคอน อาร์เอฟไอดี และเป็นชุดควบคุมการแสดงผลบนหน้าจอมอนิเตอร์ของรถและส่วนติดต่อระบบ ติดต่อฐานข้อมูล พร้อมแสดงผลและส่งคำสั่งที่ต้องการผ่านทางหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อติดตามตำแหน่งปัจจุบันของรถ

ผ่านสัญญาณอัลตราโซนิค และระบุตัวตนม้วนกระดาษผ่านสวิตซ์ที่ถูกกดทับ ผ่านสัญญาณวิทยุ แล้วส่งข้อมูลทั้งหมดมาที่ชุดควบคุมอุปกรณ์ จากนั้นชุดควบคุมอุปกรณ์จะประมวลผลและแสดงผลโดยเทียบเลขรหัสที่ได้จากตัวอ่านอาร์เอฟไอดีกับรายการเลขรหัสประจำตัวทั้งหมดของม้วนกระดาษจำลองที่อยู่ในฐานข้อมูล Text file ผ่านทางหน้าจอของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ Remote ไปในราสเบอร์รี่พาย และแสดงผลบอกสถานะผ่านจอมอนิเตอร์ที่อยู่บนรถ การสังเกตทางหน้าจอบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสามารถช่วยโปรแกรมตรวจสอบดูว่าขณะนี้ผู้ใช้งานอ่านม้วนกระดาษรหัสใหม่หรือไม่ ซึ่งถ้าเป็นม้วนกระดาษเบอร์ใหม่ ระบบจะจัดเก็บเบอร์นั้นเพิ่มลงในฐานข้อมูล Text file หรือตรวจสอบหน้าจอเพื่อดูว่าขณะนี้รถหยิบจับม้วนกระดาษรหัสอะไรและถูกต้องตามคำสั่งที่ต้องการตามที่ระบุทางจอ OLED ที่ติดที่ตัวรถหรือไม่ ซึ่งถ้าม้วนกระดาษที่ถือไว้อยู่ไม่ถูกต้อง ตัวรถถูกเปลี่ยนไปเลือกม้วนกระดาษที่ถูกต้อง อีกทั้งผู้ทดสอบสามารถติดตามตำแหน่งรถได้อย่างต่อเนื่อง ในภาพที่ 3.4 จุดสีเหลี่ยมสีดำ 3 จุด ในวงกลมสีแดง แทน Stationary Beacon ที่ติดอยู่ 3 ตัว เพื่อให้สัญญาณการหาตำแหน่งครอบคลุมรอบสถานที่ทดสอบ รูปทางซ้ายแสดงการติดตามการเคลื่อนที่ของรถขณะค้นหาม้วนกระดาษ รูปทางขวาแสดงแสดงการติดตามการเคลื่อนที่ของรถขณะหยิบจับม้วนกระดาษจนถึงปลายทางจึงวางม้วนกระดาษอีกครั้ง ซึ่งกระบวนการของภาพรวมทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 3.5



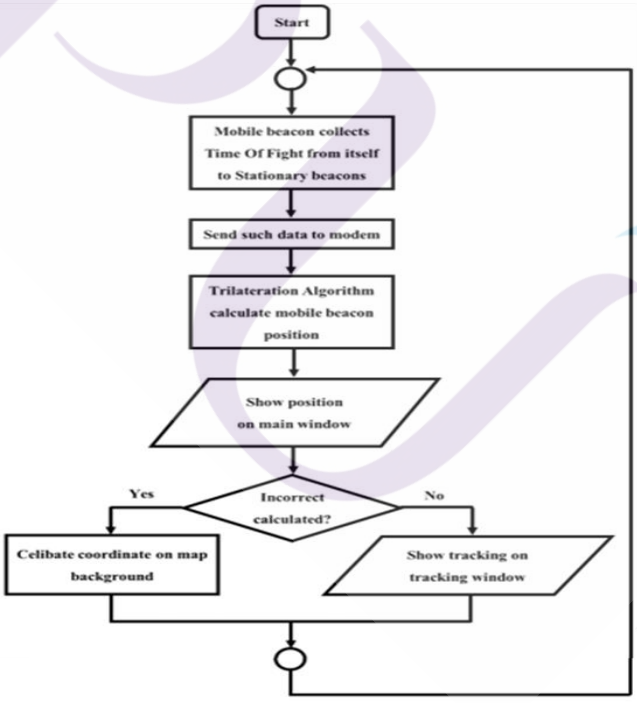
ภาพที่ 3.4 แสดงการติดตามการเคลื่อนที่ของรถขณะค้นหาม้วนกระดาษ (ซ้าย) และขณะหยิบจับม้วนกระดาษจนถึงปลายทาง (ขวา) วงกลมสีแดงแต่ละอันแทนตำแหน่งที่ติดตั้ง Stationary Beacon



ภาพที่ 3.5 ภาพรวมของระบบที่ได้พัฒนา

3.3 การระบุตำแหน่ง

ปัจจุบันมีการนำเทคนิคต่างๆมาใช้ในการติดตามตำแหน่งของวัตถุเป้าหมาย เช่น ตัวรับรู้ชนิดแม่เหล็กและอัลตราโซนาร์ ตัวรับรู้ชนิดสัมผัสแบบแม่เหล็กเหนี่ยวนำ ตัวรับรู้ LIDAR บาร์โค้ด คิวอาร์โค้ด และบีคอน เป็นต้น โดยกระบวนการทำงานบีคอนแสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของการระบุตำแหน่ง

จากรูปแผนผังที่ 3.6 สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อดำเนินการติดตั้งบีคอนสถิตที่ตำแหน่งของผนังห้องตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และติดตั้งตั้งบีคอนเคลื่อนที่บนตัวรถเรียบร้อยแล้ว ตัวบีคอนเคลื่อนที่จะเป็นตัวรวบรวมระยะเส้นทาง หรือ Time Of Fight จากตัวมันเองจนถึงบีคอนสถิตแล้วส่งข้อมูลระยะที่ได้ไปหาโมเด็ม ซึ่งจะใช้อัลกอริทึม Trilateration ในการคำนวณหาตำแหน่งรถจากบีคอนเคลื่อนที่ และแสดงพิกัดในหน้าต่าง Main Windows บนหน้าจอของโน้ตบุ๊ก

งานวิจัยนี้ระบุตำแหน่งโดยใช้ชุดอุปกรณ์บีคอน Starter ของ Marvelmind [19] ที่ฮาร์ดแวร์ใช้ firmware รุ่น 4.9 ดังภาพที่ 3.7

ภาพที่ 3.7 ชุดอุปกรณ์บีคอนของ Marvelmind

บีคอนของ Marvelmind เป็นระบบนำทางในอาคารที่ออกแบบมาเพื่อให้ข้อมูลตำแหน่งที่แม่นยำ หรือผิดพลาดไม่เกิน ± 2 เซนติเมตร ซึ่งนำไปใช้ได้กับ หุ่นยนต์อย่างยานพาหนะ (AGV) และ เครื่องบินเฮลิคอปเตอร์ (Copters) รวมถึงติดตามวัตถุอื่นๆที่ติดตั้งบีคอนเคลื่อนที่ (Mobile Beacon) เช่น วัตถุดังกล่าว เช่น วัตถุที่มองเห็นสภาพแวดล้อมเสมือนจริง (VR) หมวกกันน็อคสำหรับคนงานก่อสร้างหรือคนงานเหมือง เป็นต้น การนำทางของระบบขึ้นอยู่กับบีคอนแบบสถิต (Stationary Beacons) ที่ทำงานประสานกันผ่านคลื่นวิทยุในช่วงความถี่ที่ไม่ต้องขออนุญาต (433 MHz) เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุที่ติดตั้งบีคอนเคลื่อนที่จากความล่าช้าในการแพร่กระจายของคลื่นเสียง Ultrasonic ที่ได้รับ ในรูปแบบของ Time-Of-Flight หรือ TOF โดยใช้อัลกอริทึม Trilateration ซึ่งเป็นการระบุตำแหน่งจากโครงข่ายสามเหลี่ยมเชิงด้าน ตามหลักการเดียวกับ GPS โดยบีคอนแบบสถิตมีข้อกำหนดการทำงานของระบบที่เหมาะสม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อกำหนดการทำงานของระบบที่ใช้ในบีคอน Mavelmind ที่เหมาะสม

ข้อกำหนดการทำงานของระบบในบีคอน Mavelmind ที่เหมาะสม
1. สำหรับการติดตาม 3 มิติ ที่มี ความกว้าง ความสูง และความลึก (X, Y, Z) จะใช้บีคอนเคลื่อนที่ 1 ตัวที่สามารถสื่อสารกับบีคอนแบบสถิตมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ตัวพร้อมกัน โดยไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง
2. สำหรับการติดตาม 2 มิติ ที่มี ความกว้าง และความสูง (X, Y) จะใช้บีคอนเคลื่อนที่ 1 ตัวที่สามารถสื่อสารกับบีคอนแบบสถิต 2 ตัวพร้อมกัน โดยไม่ผ่านสิ่งกีดขวาง
3. ผู้ทดสอบสามารถติดตั้งบีคอนแบบสถิตที่มีระยะห่างที่ใกล้ที่สุดไม่เกิน 30 เมตร

บีคอนที่ถูกทดสอบในห้องปฏิบัติการที่มีระยะทางมากกว่า 50 เมตรขึ้นไป พบรายละเอียดทางเทคนิค ดังตารางที่ 3.2

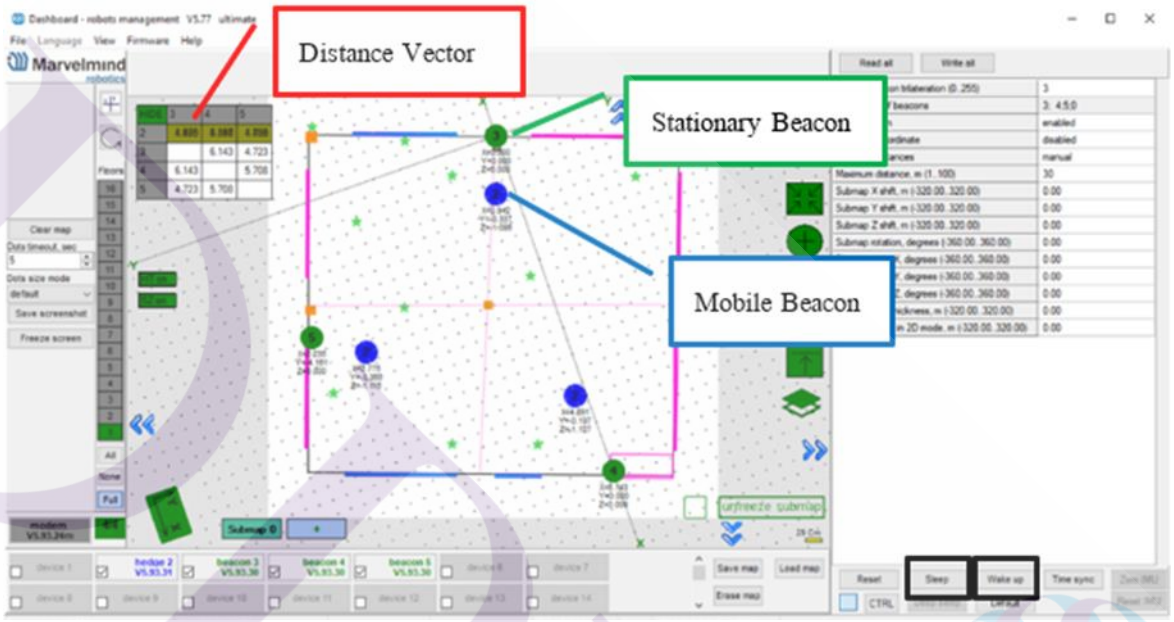
ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของบีคอน Marvelmind

รายละเอียดทางเทคนิคของบีคอน Marvelmind	
1. ระยะห่างระหว่างบีคอน	แนะนำ 30 เมตร (เช่น ตัวแปลง Transducer4 ส่งสัญญาณตรงไปที่ Transducer4 ในขณะที่ปิดสัญญาณของตัวแปลงอื่นๆ)
2. พื้นที่ครอบคลุม	1000 ตารางเมตร จากการกำหนดค่าเริ่มต้นของชุดอุปกรณ์ (Starter Set)
3. สัญญาณครอบคลุม	มีลักษณะคล้ายกับ Cellular เครือข่ายของมือถือ
4. ความแม่นยำตำแหน่ง	สัมบูรณ์ 1-3% ของระยะห่างระหว่างบีคอน
5. ความแม่นยำ	บีคอนต่างกัน +- 2 เซนติเมตร
6. การอัพเดตตำแหน่ง	อัพเดทตำแหน่งด้วยอัตรา 0.5-45Hz
	สามารถตั้งค่าการอัพเดทด้วยตนเอง
	อัตราการอัพเดทขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างบีคอนเคลื่อนที่ และบีคอนแบบสถิต โดยที่ระยะห่างที่น้อยกว่าจะอัพเดตได้ด้วยอัตราที่ดีกว่า
	ขึ้นอยู่กับจำนวนของบีคอนเคลื่อนที่ เช่น บีคอน

	เคลื่อนที่ 1 ตัว จะมีอัตราการอัพเดต 25 Hz, 2 ตัว จะมีอัตราการอัพเดท 25 Hz / 2 และ 3 ตัว จะมีอัตราการอัพเดท 25 Hz / 3 เป็นต้น
	ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของ Radio Profile (500 kbps เทียบกับ 38 kbps)
	ขึ้นอยู่เล็กน้อยกับจำนวนของบีคอนแบบสถิต
7. อุปกรณ์จ่ายไฟให้กับชุดบีคอน (Power Supply) สามารถจ่ายไฟให้บีคอนทั้งจากภายในและภายนอก 1. ภายใน อายุการใช้งานแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับการใช้งานบีคอน ดังนี้ 2. ภายนอก	แบตเตอรี่ Li Po 1000 mAh
	บีคอนแบบสถิตที่อัตราการอัพเดต 16 Hz สามารถนำมาใช้งานได้สูงสุด 72 ชั่วโมง หรือ 3 วัน
	บีคอนแบบสถิตที่อัตราการอัพเดต 1 Hz สามารถนำมาใช้งานได้ประมาณ 72h * 16 หรือ 1 เดือน
	บีคอนเคลื่อนที่ที่อัตราการอัพเดต 8Hz สามารถนำมาใช้งานได้สูงสุด 12 ชั่วโมง หรือ ครึ่งวัน
	ใช้สาย microUSB สำหรับการใช้งานแบบถาวร
8. น้ำหนักของบีคอนเคลื่อนที่	59 กรัม ในกรณีที่รวมแบตเตอรี่ 1000 mAh และตัวเครื่องและเสาอากาศ 50 มิลลิเมตร
	27 กรัม ในกรณีที่แบตเตอรี่เหลือน้อยมากจนถึงไม่มีเลย
9. ขนาด Beacon	ปกติ 55x55x33 มิลลิเมตร
	พร้อมเสาอากาศ 50 มิลลิเมตร มีขนาดรวม 55x55x65 มิลลิเมตร

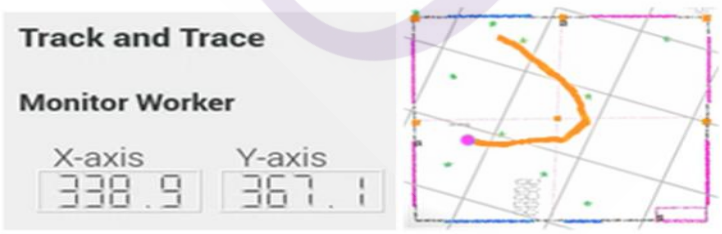
การเริ่มต้นใช้งานบีคอน เริ่มจากผู้ทดสอบเชื่อมต่อโมเด็ม Marvelmind กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จากนั้นเปิดสวิตซ์ของอุปกรณ์บีคอนสถิต (Stationary Beacon) ทั้งหมดที่ติดอยู่ตามกำแพงและบีคอนเคลื่อนที่ที่ติดอยู่บนตัวรถ ซึ่งในโปรแกรม Dashboard ตัว Stationary Beacons จะแสดงเป็นวงกลมสีเขียวที่มีตัวเลขเฉพาะตัวกำกับ และตัว Mobile Beacon จะแสดงเป็นวงกลมสีน้ำเงิน ด้านล่างของโปรแกรมหมายถึงอุปกรณ์บีคอนที่เราเปิดสวิตซ์ให้ทำงานทั้งหมด

ตารางมุมซ้ายบนแสดง Distance Vector ของบีคอนแต่ละตัว เมื่อเราต้องการติดตามตำแหน่งของ Mobile Beacon ให้เราคลิกปุ่ม Freeze map ในโปรแกรม จากนั้นปุ่ม freeze map จะเปลี่ยนคำเป็น unfreeze map อีกทั้งสามารถใช้ปุ่ม Sleep และ Wake up ในกรอบดำแทนการเปิดปิดการทำงานของตัวอุปกรณ์ Beacon ในช่วงระยะเวลาที่ไม่ใช้งานเพียงไม่นานได้



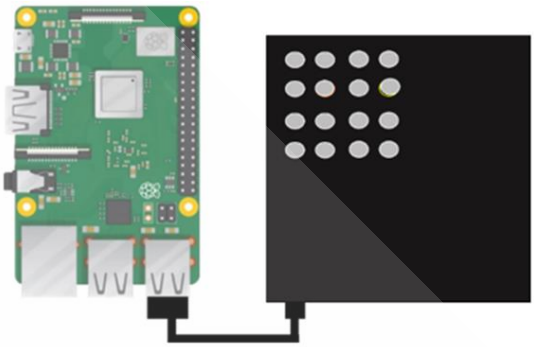
ภาพที่ 3.8 หน้าตา Dashboard ของโปรแกรมบีคอน Marvelmind บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ตัวอย่างหน้าตาการแสดงผลจากการติดตามบีคอนที่นำมาใช้ในการระบุตำแหน่งของรถ (แสดงในกรอบสีแดง) ผ่านโปรแกรม Python3 IDE บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างหน้าตาการติดตามตำแหน่งรถจากบีคอน ผ่านโปรแกรม Python3 IDE

รูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์บีคอน Marvelmind สามารถเชื่อมต่อกับชุดควบคุม Raspberrypi3 model b ดังแสดงในภาพที่ 3.10 (ซ้าย) กับโมบายบีคอน Marvelmind ผ่านสายยูเอสบี



ภาพที่ 3.10 ภาพแสดงการเชื่อมต่อกับชุดควบคุม Raspberrypi3 model b (ซ้าย) กับโมบายบีคอน (ขวา)

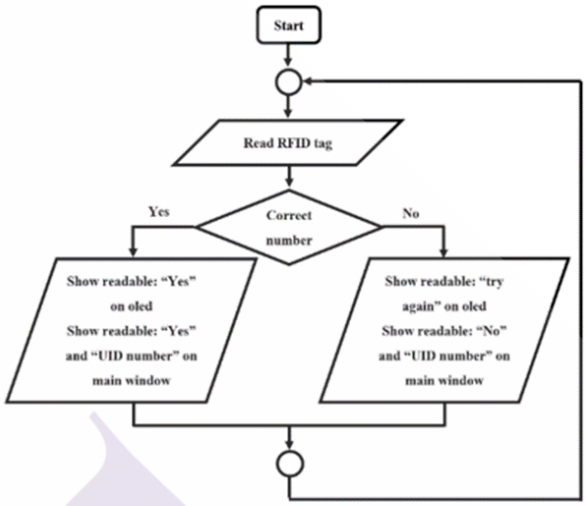
เนื่องจากรถกำลังเคลื่อนที่ ทำให้ผู้วิจัยสามารถติดตามตำแหน่งของบีคอน Marvelmind ผ่านการรีโมตจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปหา Raspberry Pi ดังภาพที่ 3.11

ภาพที่ 3.11 แสดงพิกัดตำแหน่งรถในงานวิจัย

3.4 การระบุตัวตนของม้วนกระดาษ

ปัจจุบันมีการนำเทคนิคต่างๆมาใช้ในการระบุตัวตนของวัตถุ เช่น ระบุตัวตนโดยใช้ Synthetic Aperture Radar หรือ SAR ของแท็ก UHF-RFID เป็นต้น โดยกระบวนการทำงานอาร์เอฟไอดีแสดงดังภาพที่ 3.12 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า ที่ตัววัตถุแต่ละชิ้นจะมีแท็กที่สามารถบอกถึงหมายเลขประจำตัววัตถุอยู่ เมื่อตัวรถเดินทางมาถึงวัตถุที่ต้องการแล้ว ตัวอ่านอาร์เอฟไอดีบนตัวรถนั้นจะสแกนแท็กที่ติดบนตัววัตถุ จากนั้นระบบจะตรวจสอบหมายเลขแท็กที่เข้ามาว่าเป็นเลขที่ผู้ดูแลระบบแจ้งมาหรือไม่ ถ้าใช่จะแสดงผลว่า “Yes” แล้วผู้ปฏิบัติการขับรถจะทำการขนส่งไปยังที่

หมายปลายทางต่อไป แต่ถ้าหมายเลขแท็กที่สแกนเข้ามานั้นไม่ถูกต้อง ระบบจะส่งคำสั่งแจ้งเตือนไปยังหน้าจอมอนิเตอร์ของผู้ปฏิบัติการขับรถว่า “Try again” เพื่อให้ผู้ปฏิบัติการขับรถเลือกหยิบรหัสวัตถุที่ถูกต้อง

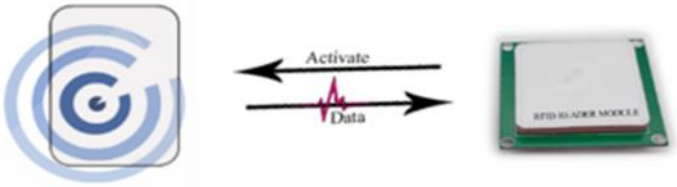


ภาพที่ 3.12 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนของระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ

ระบบ RFID ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แท็ก และเครื่องอ่านแสดงการสื่อสารกันดังภาพแผนผังที่ 3.13 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [20]

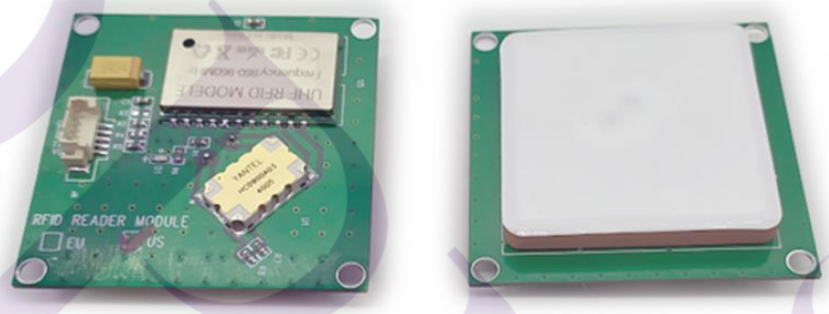
1. แท็ก RFID จะถูกฝังอยู่กับเครื่องส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ ในแท็ก RFID ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไมโครชิป ที่ทำหน้าที่ในการจัดเก็บและประมวลผลข้อมูล และเสาอากาศที่ทำหน้าที่ในการรับและส่งสัญญาณ โดยแท็กหนึ่งๆจะมีหมายเลขซีเรียลสำหรับนำไปใช้กับวัตถุหนึ่งโดยเฉพาะ

2. เครื่องอ่านหรือเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุแบบ 2 ทาง ทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่เข้ารหัสบนแท็กโดยส่งสัญญาณไปยังแท็กผ่านเสาอากาศ จากนั้นแท็กจะตอบสนองกับข้อมูลที่เขียนในหน่วยความจำของที่เก็บข้อมูล และเครื่องอ่านจะส่งผลการอ่านไปยังโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ RFID



ภาพที่ 3.13 การสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก RFID

การระบุตัวตนของม้วนกระดาษในวิจัยนี้ใช้อาร์เอฟไอดีคลื่นความถี่สูงยิ่ง Module No.FM-505 ที่สามารถใช้ได้ภายในช่วงความถี่ 840-960 MHZ ดังแสดงในภาพที่ 3.14 และรายละเอียดทางเทคนิคของ UHF RFID ดังกล่าวแสดงดังตารางที่ 3.3



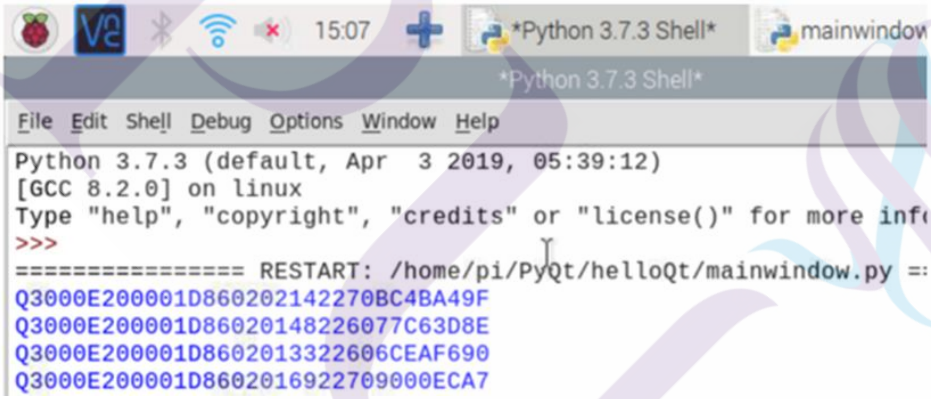
ภาพที่ 3.14 อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID Integrated Module No.FM-505

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของ อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID

รายละเอียดอุปกรณ์ FONKAN UHF RFID Integrated Module No. FM-505	
1. กระแสไฟที่ใช้งาน	DC 3.5-5 V
2. การใช้กระแสไฟขณะอยู่ในโหมด Sleep	น้อยกว่า 100 uA
3. การใช้กระแสไฟขณะอยู่ในโหมด Standby	น้อยกว่า 80 uA
4. ทำงานในโหมด	เขียนและอ่าน RFID tag
5. ช่วงระยะห่างในการเขียน Tag	10-50 เซนติเมตร
6. ช่วงระยะห่างในการอ่าน Tag	200-250 เซนติเมตร
7. โมดูลการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรเลอร์	TTL Uart Interface

8. เวลาในการทำงาน	< 100 มิลลิวินาที
9. ทำงานในช่วงความถี่	840-960 MHZ
10. อัตราการสื่อสารข้อมูล	115200 bps 38400 bps
11. ขนาดโมดูล RFID + เสาอากาศในตัว	(50 มิลลิเมตร × 50 มิลลิเมตร) + (40 มิลลิเมตร × 40 มิลลิเมตร)
12. อุณหภูมิในการทำงานด้านสิ่งแวดล้อม	-20 ถึง 70 องศาเซลเซียส
13. อุณหภูมิในการเก็บรักษาสิ่งแวดล้อม	-20 ถึง 85 องศาเซลเซียส
14. ความชื้นสัมพัทธ์	ความชื้นสัมพัทธ์ < 95% หรือ 25 องศาเซลเซียส

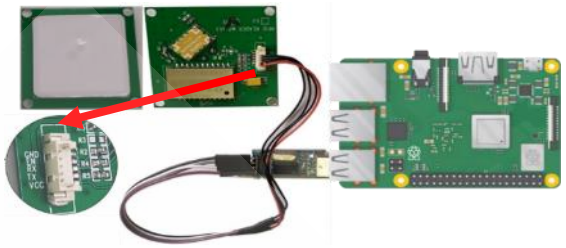
ตัวอย่างหน้าตาการแสดงผลจากการสแกนแท็กของเครื่องอ่าน RFID (แสดงในกรอบสีแดง) ผ่านโปรแกรม Python IDE บนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างหน้าตาการแสดงผลจากการสแกนแท็กของเครื่องอ่าน RFID ผ่านโปรแกรม Python IDE

รูปแบบการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อระหว่าง โมดูล FONKAN FM-505 UHF RFID Integrated Module No.FM-505 กับ Raspberry Pi ด้วยสายยูเอสบี ผ่านสาย TTL232 อินเทอร์เฟซ แบบ ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อแสดงดังภาพที่ 3.16 ซึ่งมีรายละเอียดการเชื่อมต่อแสดงดังตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.16 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ FONKAN UHF RFID Integrated Module No. FM-505 กับ Raspberry Pi

ตารางที่ 3.4 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง FONKAN UHF RFID Integrated Module No. FM-505 กับสายยูเอสบี TTL232 อินเทอร์เฟซ

การต่อใช้งานโมดูล RFID กับ Raspberry Pi TTL232 อินเทอร์เฟซ แบบ UART		**หมายเหตุ***
GND	GND	GND = ขาไฟลบ หรือ ขาไฟ Ground
EX	-	RF module enable power: HIGH(ACTIVE), LOW(POWER DOWN)
RX	TXD	RX - Data input, TTL Level
TX	RXD	TX - Data output, TTL Level
VCC	5V	แหล่งจ่ายไฟที่เป็นบวก DC3.5V-5V

ในขณะที่ UHF RFID อ่านแท็ก ภายในฐานข้อมูล Text file ของม้วนกระดาษประเภทแข็งที่ความหนา 80 แกรม จะประกอบไปด้วยเลขรหัสม้วนกระดาษ (แสดงในกรอบสีแดง) ดังภาพที่ 3.17 จากนั้น RFID จะแสดงผล Interface และ Python Shell รหัสม้วนกระดาษ 8 ตัวหลัง (แสดงในกรอบสีฟ้า) ผ่านการรีโมตจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปหา Raspberry Pi ดังภาพที่ 3.18

ภาพที่ 3.17 แสดงข้อมูลเลขรหัส RFID ใน Text file

ภาพที่ 3.18 แสดงรหัสที่ใช้ระบุตัวตนของแท็ก RFID จากการสแกนด้วย อุปกรณ์ FONKAN FM-505 UHF RFID Integrated Module No.FM-505

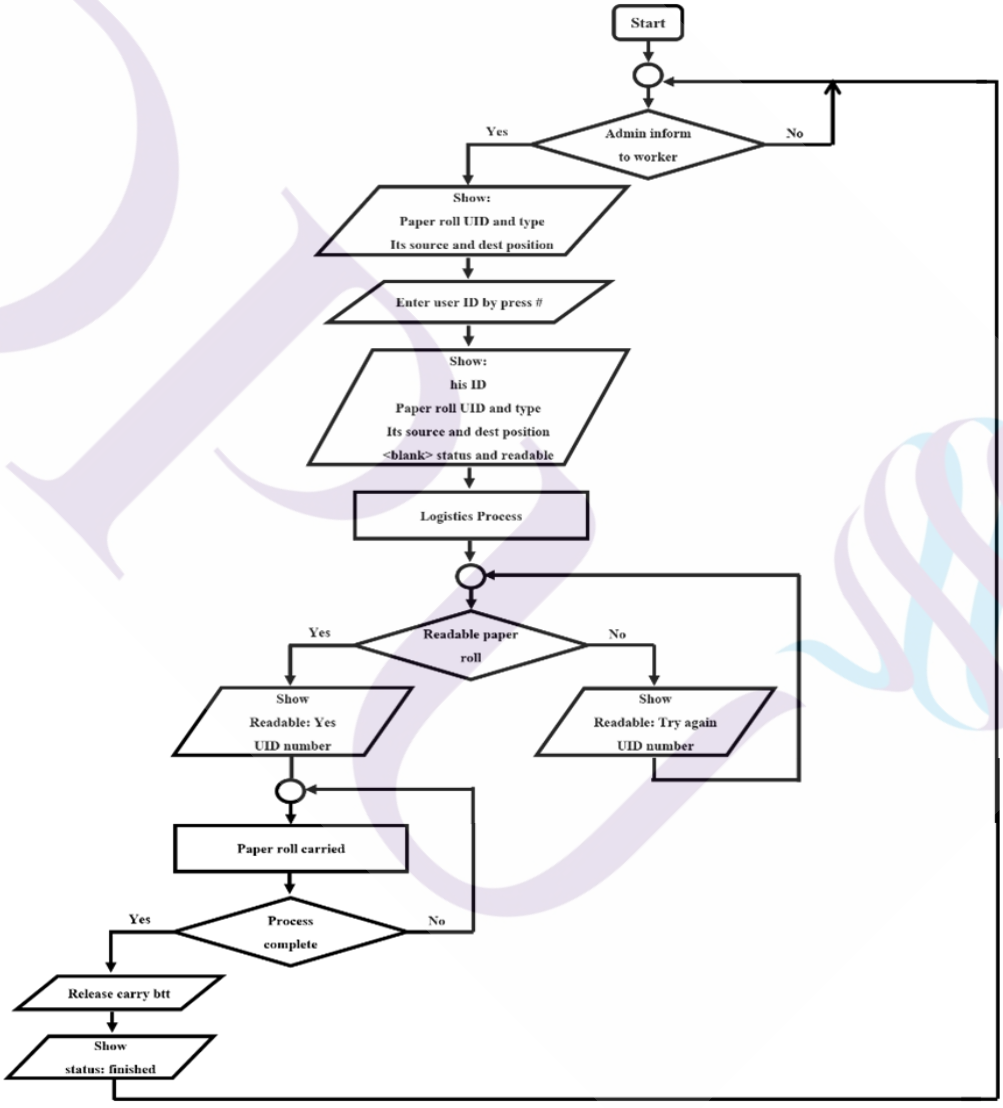
3.5 การดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ

หัวข้อนี้กล่าวถึงการดำเนินงานขนส่งม้วนกระดาษของผู้ปฏิบัติการขับรถตั้งแต่เริ่มกรอกรหัสประจำตัวจนถึงนำของไปวางไว้ยังจุดเป้าหมายที่ผู้ดูแลระบบกำหนดโดยแบ่งเป็น 2 หัวข้อย่อย ได้แก่ การแสดงผลทางหน้าจอและอุปกรณ์ที่ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ ดังนี้

3.5.1 การแสดงผลทางหน้าจอ

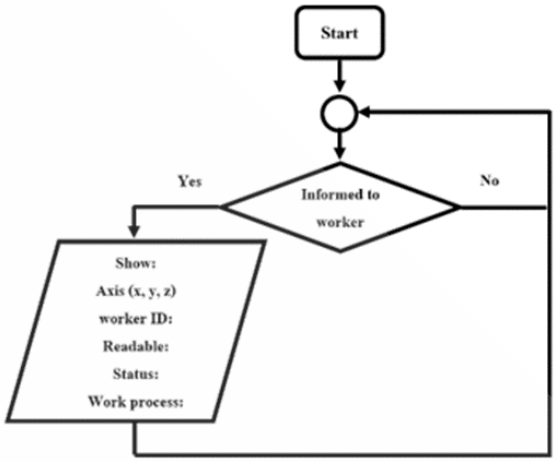
การปฏิบัติการขนส่งม้วนตามแสดงในรูปแผนผังที่ 3.19 กระดาษเริ่มจาก 1. ผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับรายละเอียดและตำแหน่งของม้วนกระดาษทางหน้าจอ LCD 20X4 จากผู้ดูแลระบบ 2. ผู้ปฏิบัติการขับรถส่งรหัสประจำตัวของตนเพื่อแสดงว่าเป็นผู้รับผิดชอบภารกิจนี้ด้วยการกด “#” เพื่อรีเซ็ตหน้าจอ และกรอกรหัสจากนั้นกด “A” เพื่อเข้าสู่การปฏิบัติงาน 3. ปรากฏข้อความรหัสประจำตัวของผู้ปฏิบัติการขับรถและข้อมูลภารกิจขนส่งม้วนกระดาษทางหน้าจอเดิมอีกครั้งรวมถึงแจ้งข้อมูลดังกล่าวไปยังผู้ดูแลระบบเพื่อติดตามการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถอีกด้วย 4. ผู้ปฏิบัติการขับรถดำเนินการขับรถค้นหาม้วนกระดาษ 5. ถึงจุดรับม้วนกระดาษ ผู้ปฏิบัติการขับรถจะใช้ตัวอ่านที่อยู่บนรถอ่านรหัสม้วนกระดาษ ถ้ารหัสม้วนกระดาษตรงกับรหัสม้วนกระดาษที่ผู้ดูแลระบบแจ้งมา จะปรากฏข้อความของสถานะ Readable ว่า “Yes” แต่ถ้ารหัสไม่ตรง ข้อความของสถานะ Readable จะเป็น “Try again” เพื่อบอกให้ผู้ปฏิบัติการขับรถหยิบม้วนกระดาษรหัสใหม่จนกว่ารหัสนั้นจะตรงกับรหัสของม้วนกระดาษที่ผู้ดูแลระบบแจ้งมา อีกทั้ง

ผู้ดูแลระบบก็สามารถทราบรหัสม้วนกระดาษที่ผู้ปฏิบัติการขับรถอ่านในขณะเวลาพร้อมกัน 6. เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถเจอรหัสม้วนกระดาษที่ถูกต้อง ผู้ปฏิบัติการขับรถจะยกม้วนกระดาษมาไว้บนรถเพื่อทำการขนส่งสินค้าไปยังจุดปลายทางที่ผู้ดูแลระบบกำหนด ซึ่งสถานะระหว่างการขนส่งม้วนกระดาษในขั้นตอนนี้จะปรากฏทางหน้าจอ OLED ว่า “Carried” รวมถึงแจ้งไปยังหน้าจอของผู้ดูแลระบบด้วย 7. สถานการณ์ขนส่งม้วนกระดาษจะเปลี่ยนจาก “Carried” เป็น “Finished” ก็ต่อเมื่อผู้ปฏิบัติการได้ขับรถขนม้วนกระดาษมาถึงจุดปลายทางและวางสินค้าเรียบร้อยแล้ว ทางหน้าจอ OLED จะปรากฏสถานะเป็น “Finished”



ภาพที่ 3.19 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการแสดงผลทางหน้าจอ สำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถ

พร้อมทั้งแจ้งสถานะและเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถได้ใช้ตั้งแต่เริ่มจนจบภารกิจในครั้งนี้ไปยังผู้ดูแลระบบ แสดงผลการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถทั้งหมดไปยังผู้ดูแลระบบ ดังรูปแผนผังที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการแสดงผลทางหน้าจอ สำหรับผู้ดูแลระบบ

ข้อความที่นำไปแสดงผลบนจอที่ติดบนรถเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการขับรถรับทราบมีดังนี้ รหัส ประเภท ตำแหน่งปัจจุบันของม้วนกระดาษ และตำแหน่งของสถานที่ปลายทางที่ให้ผู้ปฏิบัติการขับรถดำเนินการเคลื่อนย้าย จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะใส่รหัสประจำตัวของตนลงไป แล้วระบบจะแสดงผลสรุปภารกิจในครั้งนี้อีกครั้ง ดังภาพที่ 3.21

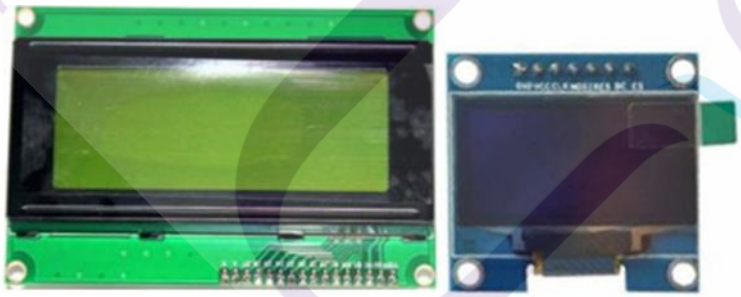
ภาพที่ 3.21 แสดงข้อความที่ปรากฏบนจอ LCD ที่ติดอยู่บนรถ

จากนั้น ผู้ปฏิบัติการขับรถจะดำเนินการค้นหาม้วนกระดาษต่อไป เมื่อถึงตำแหน่งของม้วนกระดาษ ผู้ปฏิบัติการขับรถจะใช้เครื่องอ่านสแกนหมายเลขรหัสของม้วนกระดาษที่ต้องการนำไปขนส่งอีกครั้ง ถ้าม้วนกระดาษนั้นไม่ใช่ม้วนกระดาษที่ถูกกำหนดจากผู้ดูแลระบบ ระบบจะ

แสดงข้อความแจ้งเตือนทางหน้าจอ OLED บนรถที่ Readable ว่า “Try again” ระบบจะแสดงสถานะเป็น “Yes” ก็ต่อเมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถสามารถสแกนรหัสม้วนกระดาษที่ถูกต้อง จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษไปยังตำแหน่งปลายทางที่ผู้ดูแลระบบกำหนด เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถจนถึงตำแหน่งปลายทางนั้นแล้ว จะทำการวางม้วนกระดาษเพื่อให้ฝ่ายขนส่ง นำม้วนกระดาษที่ได้รับจัดการต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.22

ภาพที่ 3.22 แสดงข้อความที่ปรากฏบนจอ OLED ที่ติดอยู่บรถ

จอแสดงผลที่นำมาใช้ในงานวิจัยที่ติดอยู่กับรถ คือ LCD Display 20X4 (Yellow) (ซ้าย) และ OLED Display (Blue) (ขวา) ดังในภาพที่ 3.23 ซึ่งนำมาใช้ในการแสดงข้อมูลที่จำเป็นแก่ผู้ปฏิบัติการขับรถที่ดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ และรายละเอียดทางเทคนิคของ LCD และ OLED ดังตารางที่ 3.5



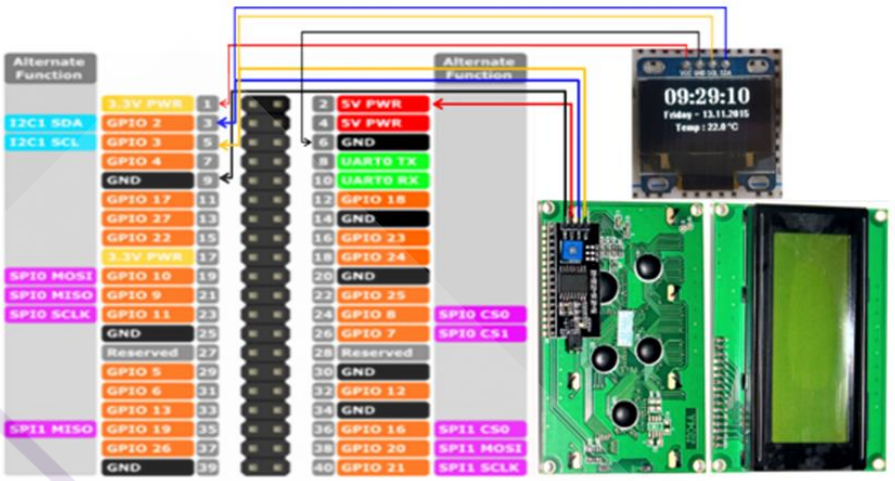
ภาพที่ 3.23 LCD Display 20X4 (Yellow) (ซ้าย) และ OLED Display (Blue) ที่มีความละเอียด 128x64 (ขวา)

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของจอ LCD และ OLED สำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถ

รายละเอียดทางเทคนิคของ LCD 20X4 (Yellow) [21]	
1. ขนาด	98 x 60 x 24 mm
2. ระยะห่างตัวอักขระ	3.55 x 5.35 mm
3. ขนาดตัวอักขระ	2.96 x 4.75 mm
4. ทิศทางการชม	มุมมองกว้าง
5. แรงดันไฟฟ้า	5V (Pin), 3.3V (IDC10)
6. การเชื่อมต่อ	I2C/TWIx1,IDC10 x2
7. ISC Address	0 X 20 – 0 X 27
8. สี	แสงไฟ LED สีเหลือง ตัวอักษรสีดำ
9. จำนวนตัวอักษร	20 ตัวอักษร x 4 บรรทัด
รายละเอียดทางเทคนิคของ OLED [22]	
1. ขนาดหน้าจอ	0.96 inch
2. ความละเอียด	128 X 64
3. สี	ฟ้า
4. มุมมอง	มากกว่า 160 องศา
5 ขนาดมิติประมาณ	27 mm * 27 mm * 4 mm
6. IC ไดร์เวอร์	SSD1306
7. แรงดันไฟฟ้า	3.3-5V
8. ช่วงอุณหภูมิในการทำงาน	30ºC ถึง 80ºC
9. การเชื่อมต่อ	I2C
10. ISC Address	0 X 3 C

รูปแบบการเชื่อมต่อ

อุปกรณ์ OLED Display (Blue) ที่ความละเอียด 128x64 เชื่อมต่อกับชุดควบคุม Raspberry Pi ในวิจัยนี้ด้วยวิธีต่อแบบ I2C โดยมีรายละเอียดของการเชื่อมต่อกันดังรูปประกอบที่ 3.24 และตารางที่ 3.6



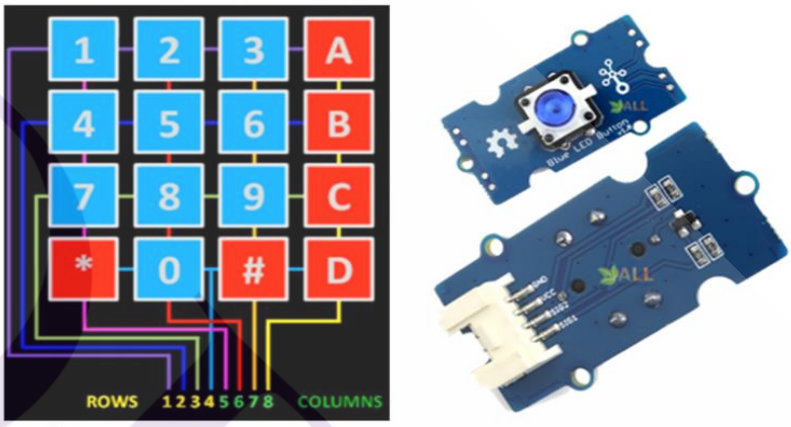
ภาพที่ 3.24 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD (ล่างขวา) กับ OLED (บนขวา)

ตารางที่ 3.6 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD กับ OLED

การต่อใช้งาน LCD กับ Raspberry Pi		**หมายเหตุ***
SCL (สีเหลือง)	5	ส่งสัญญาณนาฬิกาว่าข้อมูลที่จะรับ/ส่งอยู่ที่ความถี่ใด
SDA (สีฟ้า)	3	ส่งสัญญาณข้อมูล Serial Data
VCC (สีแดง)	5V	แหล่งจ่ายไฟที่เป็นบวก
GND (สีดำ)	GND	กราวด์ของวงจรหรือแหล่งจ่ายไฟ
การต่อใช้งาน OLED กับ Raspberry Pi		**หมายเหตุ***
SCL (สีเหลือง)	5	ส่งสัญญาณนาฬิกาว่าข้อมูลที่จะรับ/ส่งอยู่ที่ความถี่ใด
SDA (สีฟ้า)	3	ส่งสัญญาณข้อมูล Serial Data
VCC (สีแดง)	3.3V	แหล่งจ่ายไฟที่เป็นบวก
GND (สีดำ)	GND	กราวด์ของวงจรหรือแหล่งจ่ายไฟ

3.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ

เนื่องจากหัวข้อ 3.6.1 ได้กล่าวถึงการใช้งานปุ่มกดใน Keypad และปุ่มกด Switch ของผู้ปฏิบัติการขับรถแล้ว หัวข้อนี้จึงจะกล่าวถึงเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบ ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ปุ่มกดของ Matrix Keypad 4x4 และ Grove Blue LED button ดังแสดงในรูปประกอบที่ 3.25 และแสดงรายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์ในตารางที่ 3.7



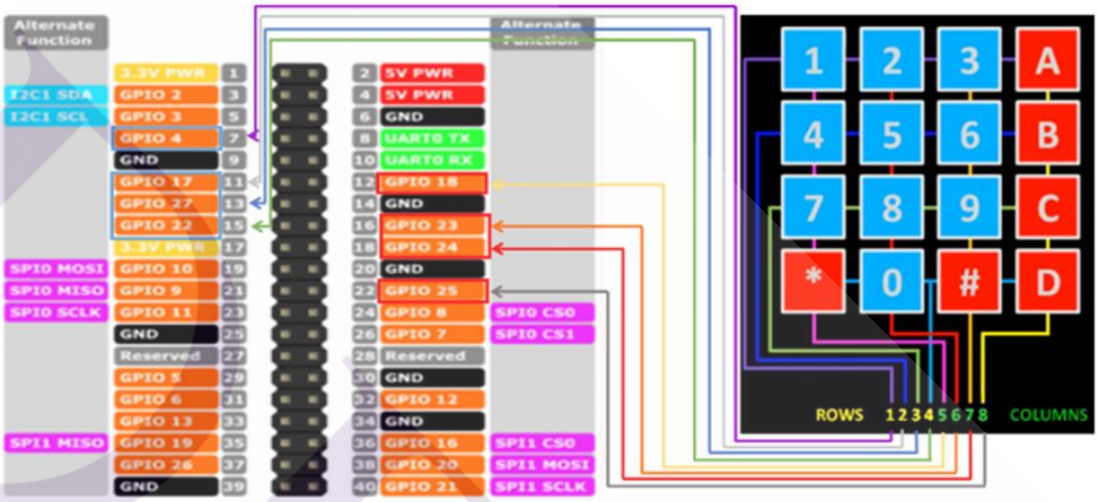
ภาพที่ 3.25 Matrix Keypad 4x4 (ซ้าย) และ Grove Blue LED button [arduinoall] (ขวา)

ตารางที่ 3.7 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของ Matrix Keypad 4x4 และ Grove Blue LED button

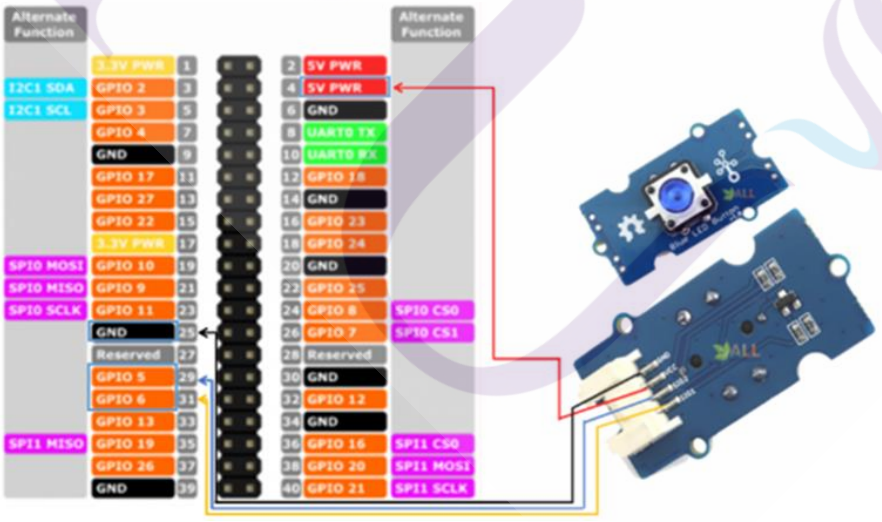
รายละเอียดทางเทคนิคของ Matrix Keypad 4x4 [23]	
1. อินเทอร์เฟซ	8 pins สำหรับ Matrix ขนาด 4x4
2. อุณหภูมิที่ทำงานได้	-20 ถึง +40 องศาเซลเซียส
3. ขนาด	60.0 x 76.5 mm
4. น้ำหนัก	8 กรัม
รายละเอียดทางเทคนิคของ Grove Blue LED button [24]	
1. ขนาด	40 x 20 x 13 mm
2. แรงต้านทานตอนกดปุ่ม	<100 mΩ
3. แรงต้านทานตอนปล่อยปุ่ม	>100 MΩ
4. น้ำหนัก	4.3 กรัม
5. แรงดันไฟฟ้า	3.3V/5V

รูปแบบการเชื่อมต่อ

อุปกรณ์ Matrix Keypad 4x4 และ Grove Blue LED button เชื่อมต่อกับชุดควบคุม Raspberry Pi โดยมีรายละเอียดของการเชื่อมต่อกันดังรูปประกอบที่ 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ และตารางที่ 3.8



ภาพที่ 3.26 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ Matrix Keypad 4x4



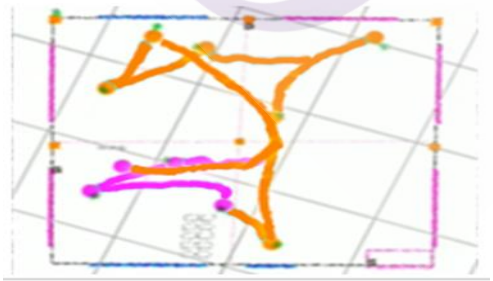
ภาพที่ 3.27 การเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ Grove Blue LED button

ตารางที่ 3.8 แสดงการเชื่อมต่อระหว่าง Raspberry Pi และ LCD กับ OLED

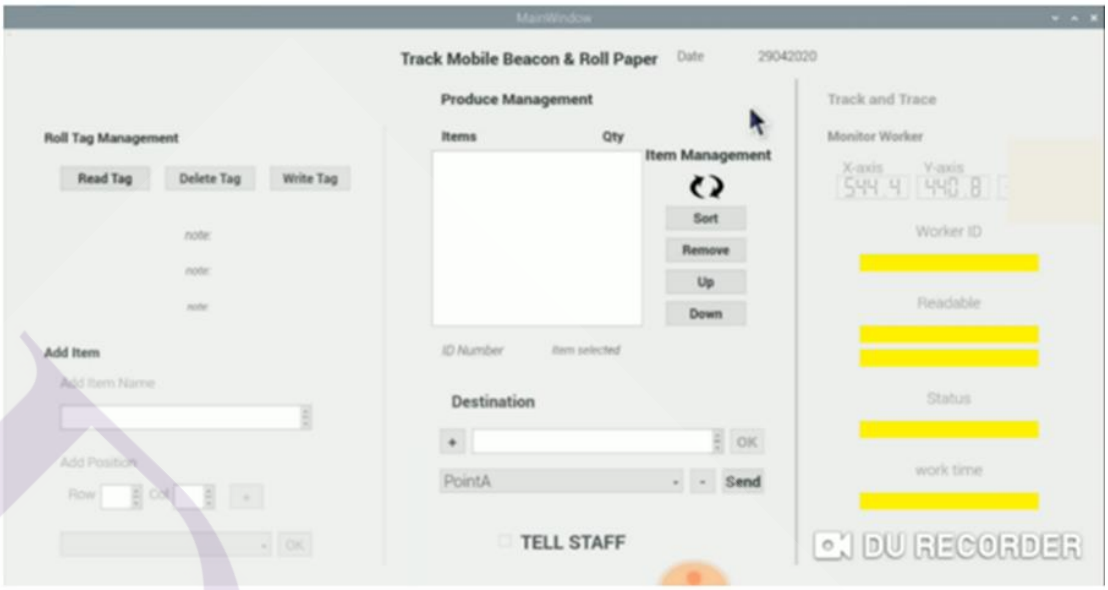
การต่อใช้งาน Matrix Keypad 4x4 กับ Raspberry Pi		**หมายเหตุ***
Row1 (ม่วง)	7	แถวของปุ่ม 1,2,3,A
Row2 (เทา)	11	แถวของปุ่ม 4,5,6,B
Row3 (น้ำเงิน)	13	แถวของปุ่ม 7,8,9,C
Row4 (เขียว)	15	แถวของปุ่ม *,0,#,D
Column1 (เหลือง)	12	หลักของปุ่ม 1,4,7,*
Column2 (แสด)	16	หลักของปุ่ม 2,5,8,0
Column3 (แดง)	18	หลักของปุ่ม 3,6,9,#
Column4 (ขาว)	22	หลักของปุ่ม A,B,C,D
การต่อใช้งาน Grove Blue LED buttonกับ Raspberry Pi		**หมายเหตุ***
Sig1 (สีเหลือง)	31	
Sig2 (สีฟ้า)	29	
VCC (สีแดง)	5V	แหล่งจ่ายไฟที่เป็นบวก
GND (สีดำ)	GND	กราวด์ของวงจรหรือแหล่งจ่ายไฟ

3.6 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ

ในงานวิจัยนี้ การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ดังภาพที่ 3.28 และ 3.29 แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ ส่วนจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษ ส่วนส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ และส่วนการติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ ดังนี้



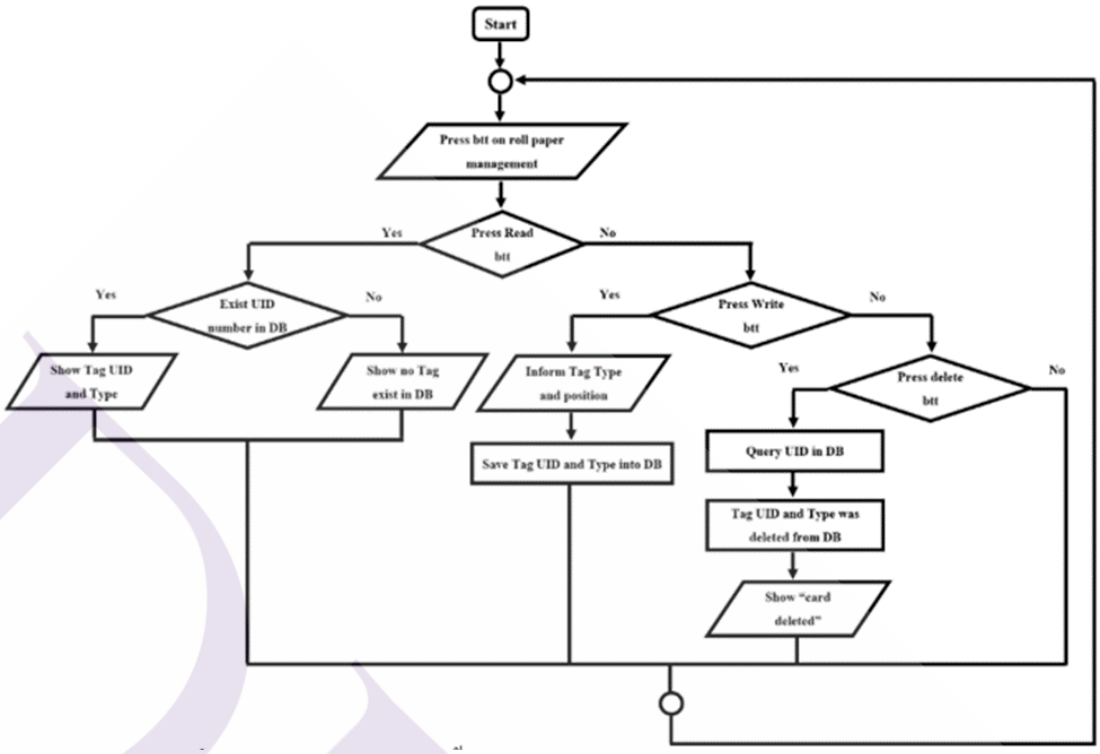
ภาพที่ 3.28 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ส่วนติดตามรถ



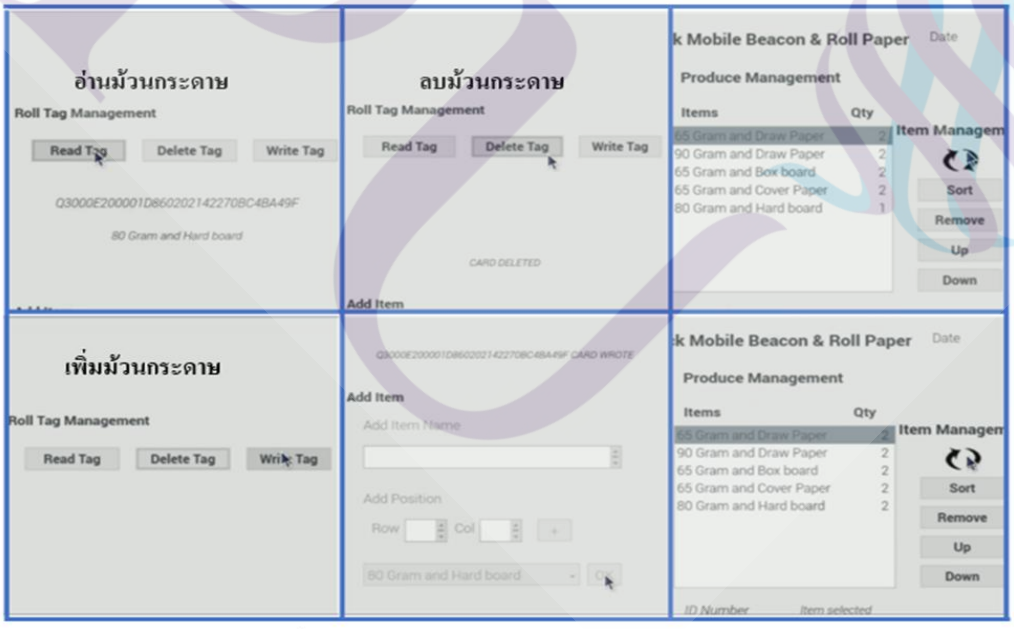
ภาพที่ 3.29 การดำเนินงานของผู้ดูแลระบบ ส่วนติดต่อกับผู้ใช้

3.6.1 การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ

การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ มีลักษณะการทำงานดังภาพที่ 3.30 ใช้เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการเพิ่มม้วนกระดาษล็อตใหม่เข้าไปเก็บในระบบ โดยในหน้าของส่วนติดต่อกับผู้ใช้นี้จะมี 3 ปุ่ม คือปุ่มอ่าน (Read) ปุ่มลบ (Delete) ปุ่มเขียน (Write) การใช้งานคือ เมื่อได้รับม้วนกระดาษใหม่เข้ามา ผู้ดูแลระบบจะทำการอ่านแท็กโดยการกดปุ่ม Read พร้อมยื่นตัวเครื่องอ่าน (Reader) ไปที่ตัวม้วนกระดาษ ซึ่งถ้าเป็นม้วนกระดาษใหม่จะยังไม่มีข้อมูลในระบบ ผู้ดูแลระบบจึงต้องเพิ่มข้อมูลเข้าไปในระบบโดยการกดปุ่ม Write ทางหน้าจอ จากนั้นเลือกประเภทม้วนกระดาษหรือสร้างประเภทม้วนกระดาษขึ้นใหม่ จากนั้นกดปุ่มตกลง (OK) และถ้าผู้ดูแลระบบต้องการเปลี่ยนข้อมูลประเภทของม้วนกระดาษเมื่อไรก็ตาม ผู้ดูแลระบบสามารถกดปุ่มลบ (Delete) เพื่อดำเนินการใส่ข้อมูลเข้าไปอีกครั้ง ดังภาพที่ 3.31



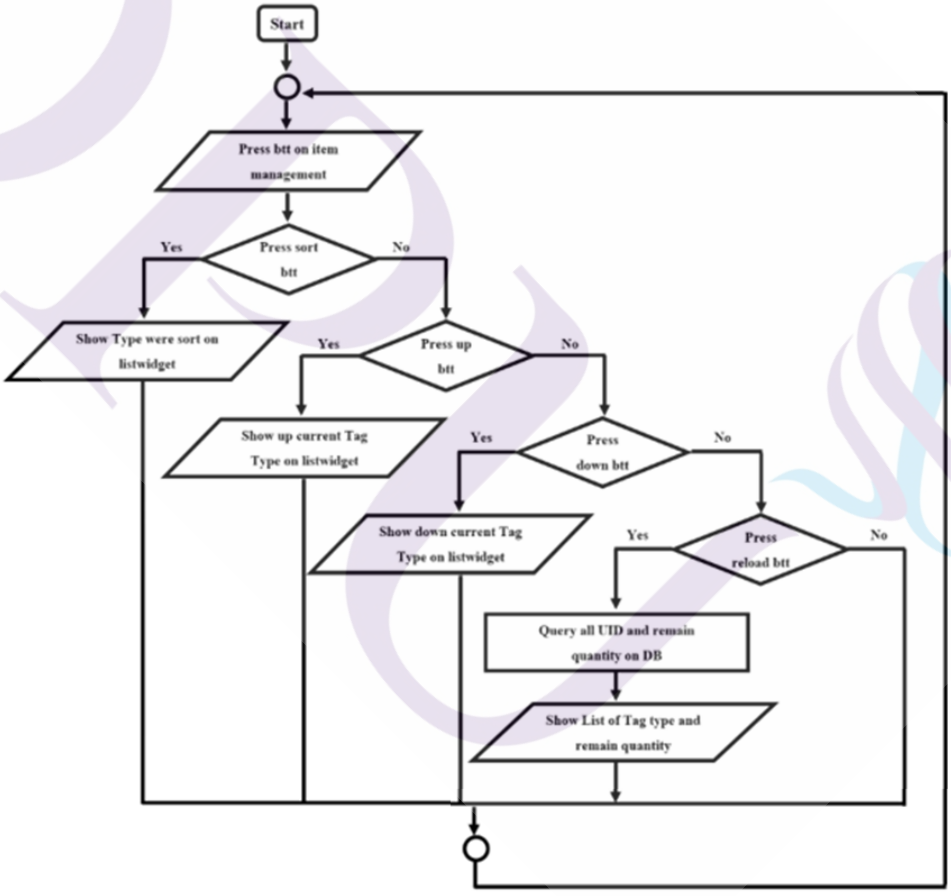
ภาพที่ 3.30 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ



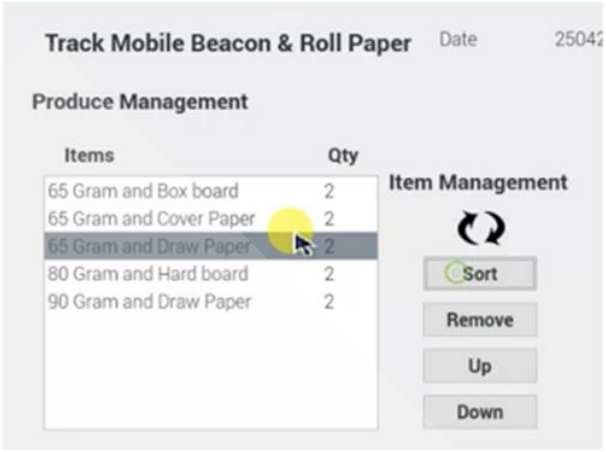
ภาพที่ 3.31 การจัดการระบบระบุตัวตนของม้วนกระดาษ

3.6.2 การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล

การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล เป็นหน้าจอสำหรับให้ผู้ดูแลระบบเห็นประเภทและจำนวนคงเหลือของม้วนกระดาษทั้งหมด หรือเลือกส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ ในส่วนนี้มีลักษณะการทำงานดังรูปแผนผังที่ 3.32 ผู้ใช้กดที่ไอคอนรูปรีเฟรช (Refresh) เพื่อให้ระบบแสดงประเภทและจำนวนคงเหลือออกมาทางส่วนแสดงข้อมูลประเภทรายการ (ListWidget) จากนั้น ผู้ดูแลระบบสามารถเลือกกดได้ 3 ปุ่ม คือ ปุ่ม Sort ปุ่ม Up ปุ่ม Down สำหรับปุ่ม Sort จะใช้เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการให้รายการแสดงเรียงตามตัวเลขตัวอักษรของประเภทม้วนกระดาษ เพื่อให้ไม่เกิดความยุ่งยากไล่กวาดตาหาประเภทม้วนกระดาษที่ต้องการ ปุ่ม Up และปุ่ม Down ใช้เมื่อผู้ดูแลระบบต้องการเลื่อนประเภทม้วนกระดาษที่ต้องการให้ขึ้นหรือลงจากประเภทม้วนกระดาษที่อยู่ด้านบนและด้านล่างของมัน ดังภาพที่ 3.33



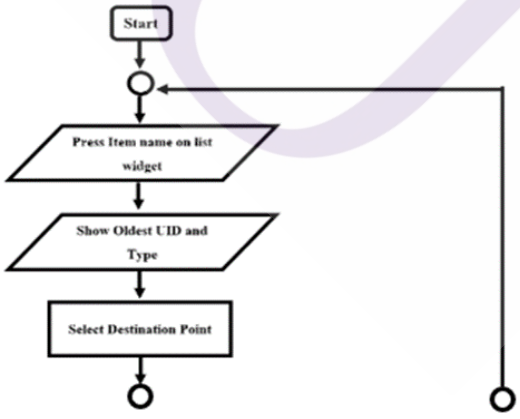
ภาพที่ 3.32 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล



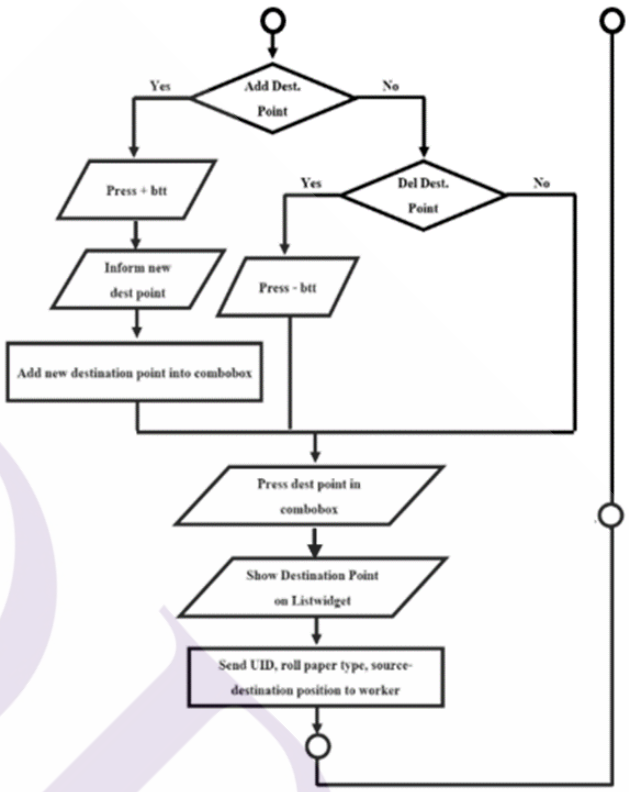
ภาพที่ 3.33 การจัดการกับข้อมูลม้วนกระดาษในหน้าแสดงผล

3.6.3 การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ

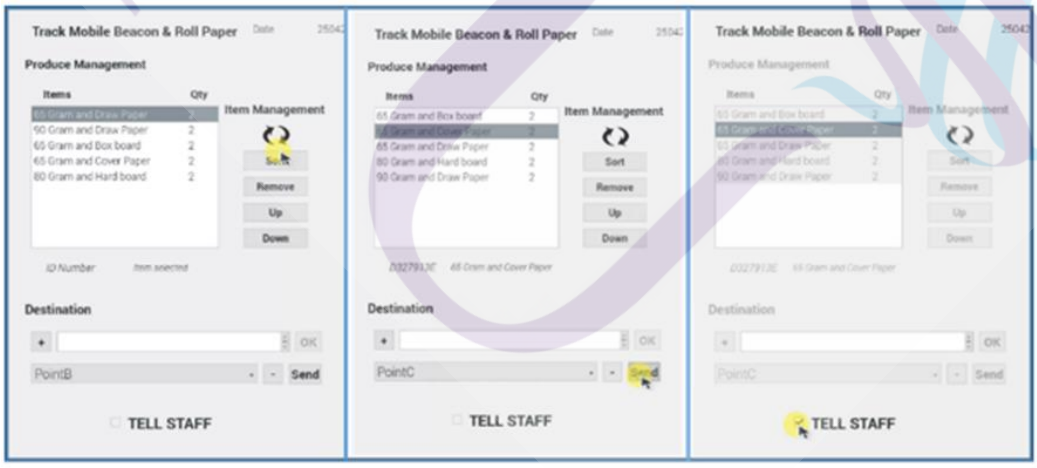
การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ จะเกิดขึ้นเมื่อผู้ดูแลระบบต้องการให้ผู้ปฏิบัติการขับรถไปนำม้วนกระดาษจากแหล่งที่เก็บไปไว้ในที่ที่กำหนด โดยมีลักษณะการทำงานดังรูปแผนผังที่ 3.34 เริ่มจาก เมื่อผู้ดูแลระบบกดไปที่ม้วนกระดาษกระดาษประเภทใดประเภทหนึ่งจากทั้งหมด ผู้ดูแลระบบจะเห็นเลขรหัสสินค้าที่ผลิตไว้นานที่สุดปรากฏที่ด้านล่างของ ListWidget นั้น จากนั้นผู้ดูแลระบบจะเลือกจุดปลายทาง โดยผู้ดูแลระบบสามารถเพิ่มหรือลบสถานที่ปลายทางจากเดิมที่มีอยู่แล้วได้ เมื่อเลือกจุดปลายทางได้แล้ว ผู้ดูแลระบบจะกดปุ่ม Send เพื่อให้ปุ่มที่ใช้นำข้อมูล เลขรหัส ประเภทม้วนกระดาษ ตำแหน่งต้นทางและปลายทาง ดังภาพที่ 3.35 ส่งออกไปปรากฏบนหน้าจอ LCD ของผู้ปฏิบัติการขับรถ



ภาพที่ 3.34 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ



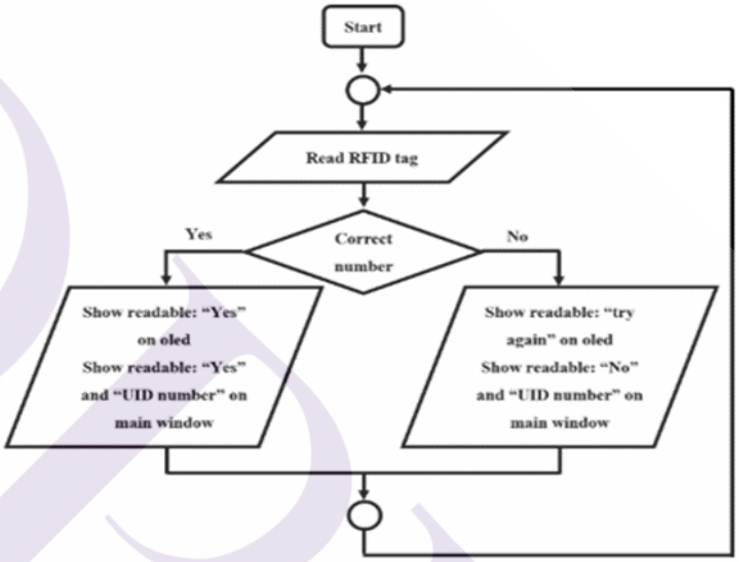
ภาพที่ 3.34 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ (ต่อ)



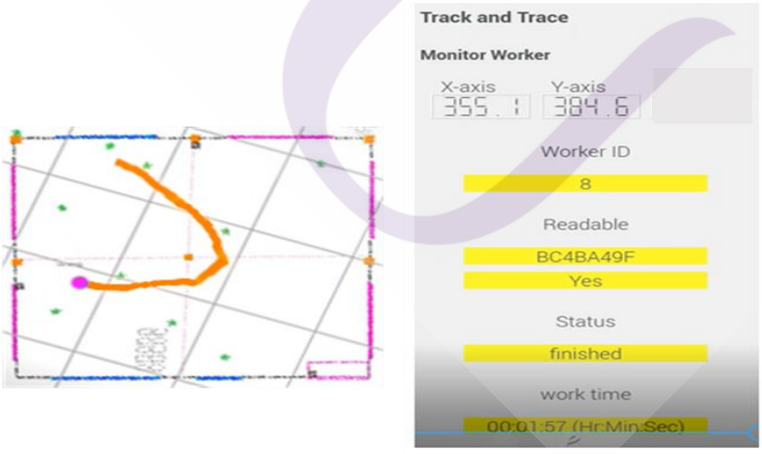
ภาพที่ 3.35 การจัดการส่งข้อมูลแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ

3.6.4 การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ

การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ เป็นส่วนสำหรับผู้ดูแลระบบที่ต้องการเห็นการขนส่งม้วนกระดาษของผู้ปฏิบัติการขับรถ ซึ่งผู้ดูแลระบบสามารถเห็นทั้งตำแหน่งของรถ forklift และม้วนกระดาษที่ผู้ปฏิบัติการขับรถกำลังเคลื่อนย้ายเห็นสถานการณ์ทำงานของเครื่องอ่านม้วนกระดาษและรถ แบบเรียลทาม ซึ่งในส่วนนี้จะมีลักษณะการทำงานดังรูปแผนผังที่ 3.36 และส่วนที่ผู้ดูแลระบบจะสามารถติดตามได้ ดังภาพที่ 3.37



ภาพที่ 3.36 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ



ภาพที่ 3.37 การติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ

3.7 สรุปเนื้อหา

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึง ขั้นตอนการศึกษาวิจัยการออกแบบระบบ กระบวนการทำงานการออกแบบของระบบในทุกส่วน ทั้งระบบโดยรวมและระบบย่อยที่ใช้ ในงานวิจัยทั้งหมด การประมวลผลในการทำงาน การคิดการตัดสินใจ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะนำมาใช้ขั้นตอนของการรับและส่งข้อมูลจาก Node ต่าง ๆ จนมาจัดเก็บใน Database จนถึงการนำข้อมูลมาใช้งาน การออกแบบ Hardware และการออกแบบส่วนของ User Interface ของการแสดงผลและควบคุมการทำงานระบบแจ้งเตือนตลอดจนวิธีที่จะใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้นำเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งจากคลื่นเสียงของบีคอน (Ultrasonic Beacon) และการระบุตัวตนม้วนกระดาษจากคลื่นวิทยุของอาเอฟไอดีความถี่สูงยิ่ง (UHF RFID) เข้ามาประยุกต์ใช้กับการติดตามตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษ โดยเริ่มจากผู้ดูแลระบบต้องการหาตำแหน่งของรถ Forklift ที่อยู่ภายในคลังสินค้าว่ารถคันไหนที่จะสามารถเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษได้ จากนั้นจะแจ้งข้อมูลการขนส่งที่ประกอบไปด้วย รหัส ประเภท และตำแหน่งสถานที่จัดเก็บม้วนกระดาษ รวมถึงสถานที่ปลายทางที่ให้รถ forklift ขนม้วนกระดาษไปส่ง แล้วส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ Forklift จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะตอบรับโดยส่งรหัสประจำตัวพนักงานของตนเพื่อเป็นการตอบรับว่าเป็นคนรับผิดชอบภารกิจในครั้งนี้ โดยการทดสอบจะกล่าวถึงการทดสอบทั้งหมด 4 ประการ ประกอบด้วย การทดสอบการใช้งานระบบ การทดสอบความแม่นยำของระบบ และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ และการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Hardware ในการควบคุมการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถ ประการแรก การทดสอบการใช้งานระบบ กล่าวถึงตัวอย่างการใช้งานระบบ 4 ประเภทได้แก่ 1.ประเภทการจัดการกับม้วนกระดาษเทียบกับฐานข้อมูล 2.ประเภทการส่งข้อมูลจากผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ 3.ประเภทการรับส่งข้อมูลจากผู้ปฏิบัติการมายังผู้ดูแลระบบและ 4.ประเภทการติดตามตำแหน่งรถและม้วนกระดาษ ประการต่อมา การทดสอบความแม่นยำของระบบ กล่าวถึงตัวอย่างการทดสอบความแม่นยำของระบบ 3 ประเภท ดังนี้ 1.ประเภทการติดตามตำแหน่งของรถและการที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ จนถึงจุดปลายทางและวางม้วนกระดาษสำเร็จ 2.ประเภทการทำงานโดยรวมของผู้ปฏิบัติการขับรถ และ 3.ประเภทความสามารถในการระบุตัวตนผ่านความหนาของกระดาษ ประการสุดท้าย การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ กล่าวถึงตัวอย่างการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ 4 ประเภท ได้แก่ 1.ประเภทความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง 2.ประเภทความหน่วงของการระบุตำแหน่ง 3.ประเภทความครอบคลุมภายในสถานที่ทดสอบและ 4.ประเภทการเก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆ และประการที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Hardware ในการควบคุมการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถ ดังนี้

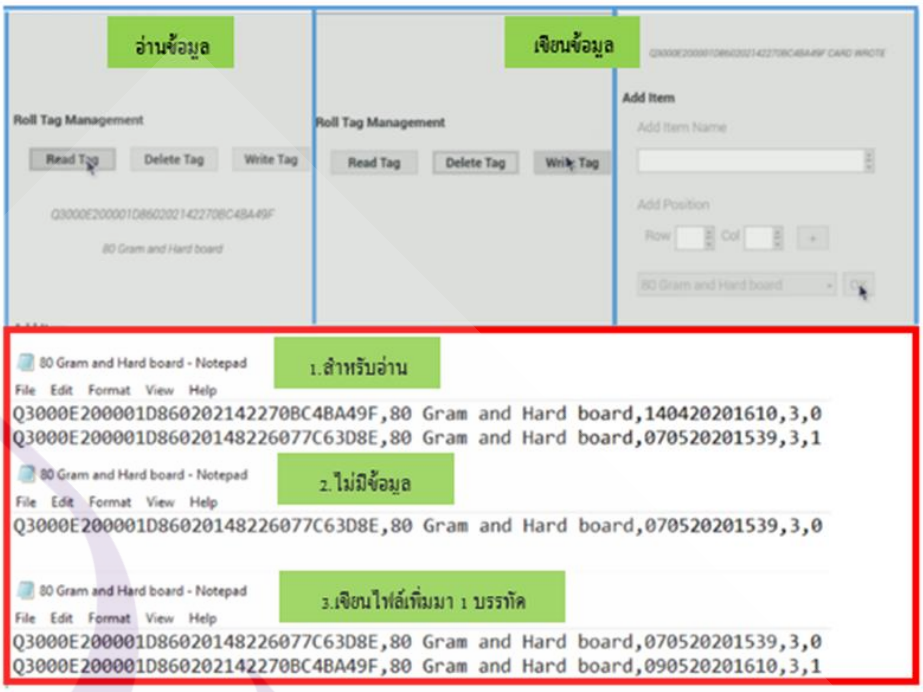
4.1 การทดสอบการใช้งานระบบ

ในหัวข้อการทดสอบการใช้งานระบบ วิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างมากล่าว 4 ประเภท ได้แก่ 1.ตัวอย่างการจัดการกับม้วนกระดาษเทียบกับฐานข้อมูล 2.ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลจากผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ 3.ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลจากผู้ปฏิบัติการขับรถมายังผู้ดูแลระบบและ 4.ตัวอย่างการติดตามตำแหน่งรถและม้วนกระดาษ ดังนี้

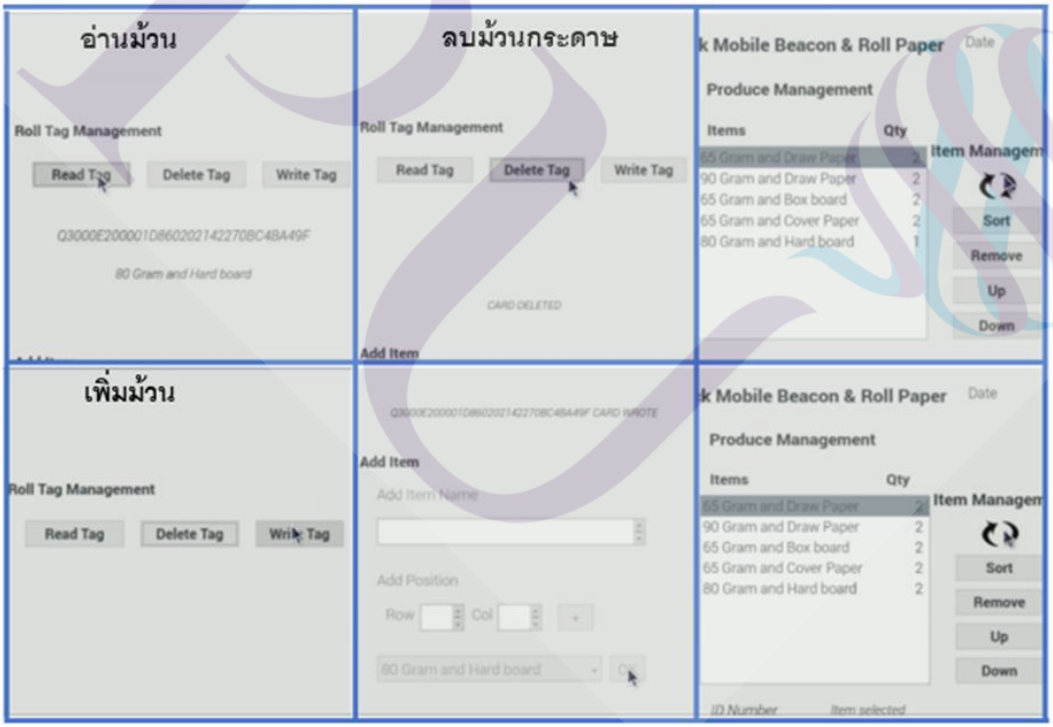
4.1.1 ตัวอย่างการจัดการกับม้วนกระดาษเทียบกับฐานข้อมูล

การทดสอบประสิทธิภาพในการอ่านเขียนม้วนกระดาษเมื่อเทียบกับฐานข้อมูล หมายถึง ทุกครั้งที่ผู้ดูแลระบบใช้เครื่องอ่านสแกนม้วนกระดาษ ถ้าม้วนกระดาษชิ้นนั้นมีในฐานข้อมูล Text File แสดงว่าระบบจะสามารถขึ้นเลขรหัสและประเภทของม้วนกระดาษชิ้นนั้นได้ในทำนองเดียวกัน ถ้าระบบบอกว่าม้วนกระดาษชิ้นนั้นยังไม่มีในระบบ แสดงว่าใน Text File ยังไม่มีม้วนกระดาษชิ้นนั้น เมื่อผู้ดูแลระบบทำการเพิ่มข้อมูลม้วนกระดาษชิ้นนั้นเข้าไปในระบบ คือ กระดาษชิ้นนั้นจะต้องมีข้อมูลอยู่ใน Text File ของประเภทม้วนกระดาษนั้นด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.1 รูปในกรอบสีฟ้า คือ การอ่านและลบรหัสม้วนกระดาษ รูปในกรอบสีแดงคือฐานข้อมูล Text File ภาพที่ 1 ใช้สำหรับการอ่าน ภาพที่ 2 ยังไม่มีข้อมูลม้วนกระดาษชิ้นนั้นในระบบ ภาพที่ 3 เกิดขึ้นหลังจากที่ผู้ดูแลระบบเพิ่มข้อมูลลงระบบ

ในทำนองเดียวกัน ถ้าม้วนกระดาษชิ้นไหนมีข้อมูลอยู่ในระบบแล้ว ระบบจะแสดงเลขรหัสและประเภทของม้วนกระดาษขึ้นมาดังรูปซ้ายบนของภาพที่ 4.2 ถ้าผู้ดูแลระบบอยากแก้ไขหรือใส่ข้อมูลประเภทม้วนกระดาษเข้าไปอีกครั้งจะทำการลบม้วนกระดาษ จากนั้นจะเพิ่มม้วนกระดาษ ดังรูปกลางบน ซ้ายล่าง กลางล่าง ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 แสดงการระบุตัวตนม้วนกระดาษ เมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล



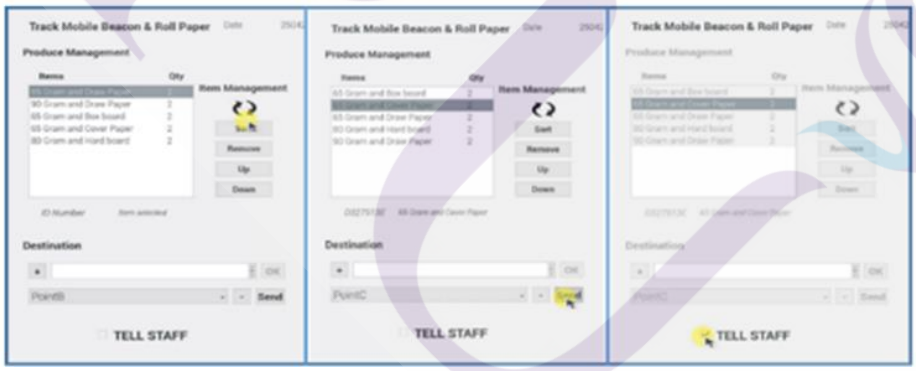
ภาพที่ 4.2 แสดงการระบุตัวตนโดยการอ่าน ลบ เขียน ม้วนกระดาษ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของทุกครั้งที่อ่านและเขียนข้อมูลม้วนกระดาษลงในระบบ และเมื่อนำการกระทำดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับรูปขวาบนและขวาล่างของภาพที่ 4.2 พบว่า ข้อมูลที่ได้จะสัมพันธ์กับข้อมูลที่อยู่ในฐานข้อมูล Text File และระบบสามารถจัดการกับม้วนกระดาษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.1.2 ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลจากผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ

การทดสอบประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลจากผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถและผู้ปฏิบัติการขับรถมายังผู้ดูแลระบบ เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลถึงกันแบบ Real Time ทั้งฝั่งผู้ดูแลระบบที่ต้องการแจ้งข้อมูลรายละเอียดการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษที่ประกอบไปด้วย รหัส, ประเภท, ตำแหน่งที่เก็บปัจจุบันของม้วนกระดาษ ไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ อีกทั้งผู้ดูแลระบบก็สามารถเห็นการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถภายในเวลาเดียวกันอีกด้วย

เมื่อผู้ดูแลระบบได้รับคำสั่งจากลูกค้ารายย่อยว่าต้องการม้วนกระดาษประเภทใด จึงจะส่งคำสั่งแจ้งไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถว่าให้ไปเอาม้วนกระดาษประเภทใด รหัสใด ตำแหน่งเก็บอยู่ที่ใด และรถบรรทุกที่ต้องใช้ในการขนส่งไปที่บริษัทลูกค้ารายย่อยนั้นจอดรออยู่ที่ตำแหน่งใด โดยผู้ดูแลระบบจะกระทำงานกับโปรแกรมดังภาพที่ 4.3 ตั้งแต่เลือกประเภทม้วนกระดาษ ซึ่งระบบจะเลือกม้วนกระดาษที่ผลิตไว้นานที่สุดก่อน จากนั้นผู้ดูแลระบบจะเลือกตำแหน่งที่ผู้ปฏิบัติการขับรถต้องนำม้วนกระดาษไปวางที่จุดปลายทาง แล้วกดส่งข้อมูลไปบอกพนักงาน



ภาพที่ 4.3 แสดงการจัดการส่งข้อมูลของผู้ดูแลระบบไปยังผู้ปฏิบัติการขับรถ

เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับคำสั่งที่ผู้ดูแลระบบแจ้งมาอันประกอบด้วย รหัส ประเภท ตำแหน่งที่จัดเก็บของม้วนกระดาษ และตำแหน่งปลายทางที่ต้องดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษไปวาง ดังแสดงในภาพที่ 4.4

ภาพที่ 4.4 แสดงข้อมูลคำสั่งที่ผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับจากผู้ดูแลระบบ

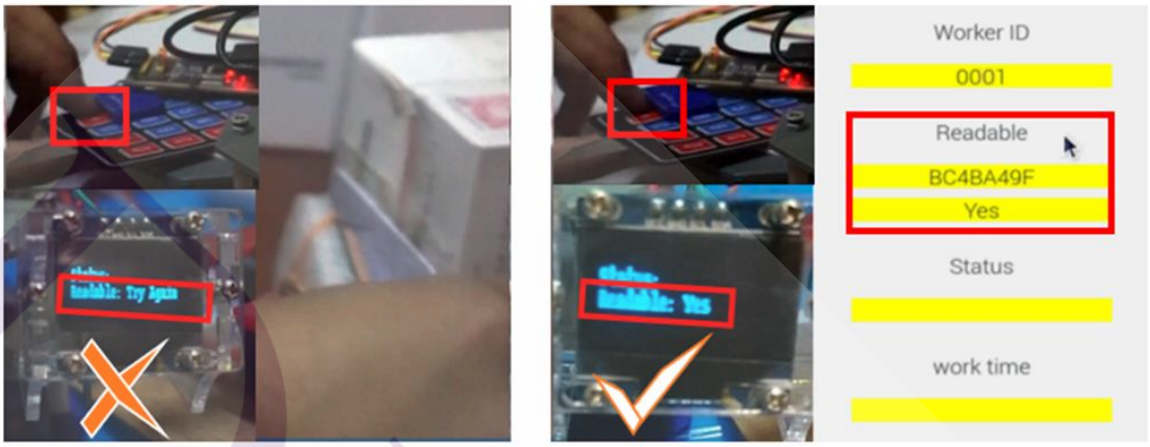
4.1.3 ตัวอย่างการรับส่งข้อมูลจากผู้ปฏิบัติการขับรถมายังผู้ดูแลระบบ

เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับคำสั่งในการไปเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษของผู้ดูแลระบบแล้ว จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะกรอกรหัสประจำตัวของตนลงในระบบ อีกทั้งระบบจะเริ่มนับเวลาการเริ่มทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถจากตอนนี้จนกว่าผู้ปฏิบัติการขับรถจะนำม้วนกระดาษไปวางไว้ที่ปลายทางอีกด้วย ซึ่งเมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถกรอกรหัสเสร็จ ระบบจะแสดงหน้าสำหรับการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถอีกครั้ง ซึ่งประกอบด้วย รหัสของผู้ปฏิบัติการขับรถ รหัส ประเภท ตำแหน่งจัดเก็บ และตำแหน่งปลายทางของม้วนกระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 4.5

ภาพที่ 4.5 แสดงการกรอกรหัสประจำตัวของผู้ปฏิบัติการขับรถพร้อมส่งให้ผู้ดูแลระบบ

จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะดำเนินการค้นหาม้วนกระดาษ เมื่อไปถึงตำแหน่งที่เก็บม้วนกระดาษ ผู้ปฏิบัติการขับรถจะใช้เครื่องอ่านสแกนรหัสของม้วนกระดาษ โดยการกดปุ่ม “*” เพื่อใช้ในการอ่าน ถ้าเป็นชิ้นม้วนกระดาษที่ยังไม่ถูกต้อง ระบบจะขึ้นทางหน้าจอ OLED ว่าให้ลองใหม่อีกครั้ง “Try Again” ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (ซ้าย) ถ้าเป็นม้วนกระดาษที่ถูกต้องแล้ว ระบบจะ

แสดงทางหน้าจอ OLED ว่า “Yes” ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (ขวา) เพื่อให้ผู้ปฏิบัติการขับรถมั่นใจได้ว่าสามารถนำม้วนกระดาษชิ้นที่ถูกต้องไปดำเนินการเคลื่อนย้าย อีกทั้งระบบยังสามารถแสดงผลการสแกนของเครื่องอ่านไปยังผู้ดูแลระบบได้อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.6 (ขวา)

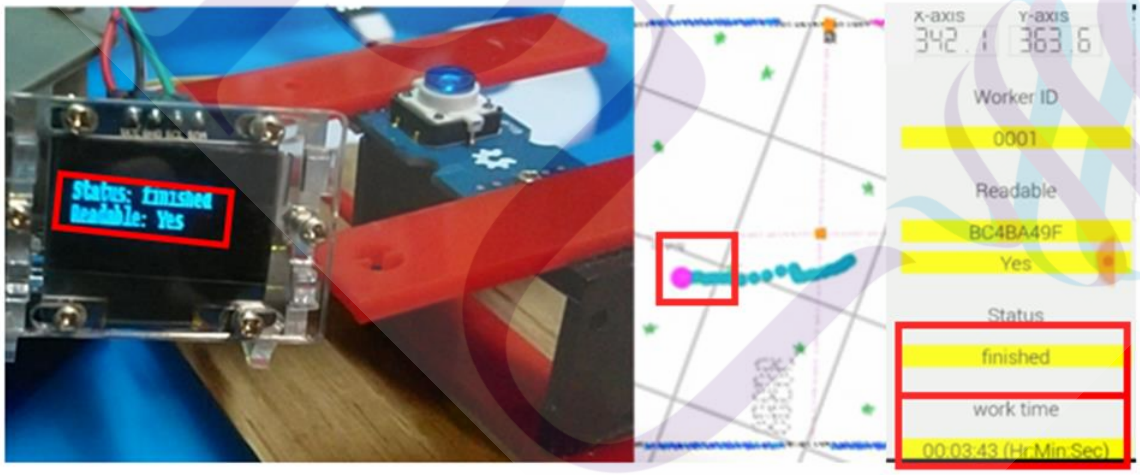


ภาพที่ 4.6 แสดงการอ่านรหัสม้วนกระดาษ ขณะที่ทางฝั่งผู้ดูแลระบบสามารถเห็นรหัสประจำตัวพนักงาน รหัสม้วนกระดาษ และผลอ่านที่แสดงว่ารหัสม้วนกระดาษยังไม่ถูกต้อง (ซ้าย) และอ่านรหัสได้ถูกต้อง (ขวา)

จากนั้นผู้ปฏิบัติการขับรถจะดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษโดยขณะที่ม้วนกระดาษอยู่บนรถนั้น สีตำแหน่งรถของผู้ปฏิบัติการขับรถจะกลายเป็นสีส้ม และสถานะทางหน้าจอของทั้งทางฝั่งผู้ปฏิบัติการขับรถและฝั่งผู้ดูแลระบบจะเป็น Carried ตลอดระยะเวลาที่รถกำลังบรรทุกม้วนกระดาษ ดังภาพที่ 4.7

ภาพที่ 4.7 แสดงการอ่านรหัสม้วนกระดาษ ขณะที่ทางฝั่งผู้ดูแลระบบสามารถเห็นรหัสประจำตัวพนักงาน รหัสม้วนกระดาษที่อ่านถูกต้องสถานะกำลังขนย้าย (Carried) ม้วนกระดาษ

เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถเคลื่อนย้ายรถจนมาถึงตำแหน่งปลายทาง ผู้ปฏิบัติการขับรถจะวางม้วนกระดาษลง และส่งผลให้สถานะกลายเป็น “Finished” สีของรถที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในครั้งนี้จะเปลี่ยนจากสีส้มกลับมาเป็นสีชมพูอีกครั้ง และทางฝั่งหน้าจอของผู้ดูแลระบบก็จะขึ้นระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ดำเนินงานในครั้งนี้อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4.8

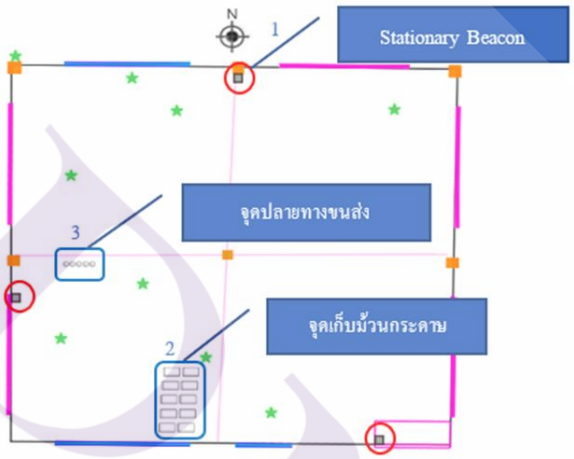


ภาพที่ 4.8 แสดงการขนส่งเสร็จสิ้น พร้อมวางม้วนกระดาษลงที่จุดปลายทาง สถานะการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษเปลี่ยนเป็น “Finished” เวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการขนส่งม้วนกระดาษ ตั้งแต่เริ่มใส่รหัสประจำตัวตน ออกค้นหาม้วนกระดาษ อ่านรหัสม้วนกระดาษ ขนย้ายม้วนกระดาษจนสิ้นสุดลงที่จุดปลายทางสำหรับส่งม้วนกระดาษ

จะเห็นได้ว่าการทดสอบประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถในขั้นตอนของการดำเนินงานต่างๆนั้นสัมพันธ์กัน

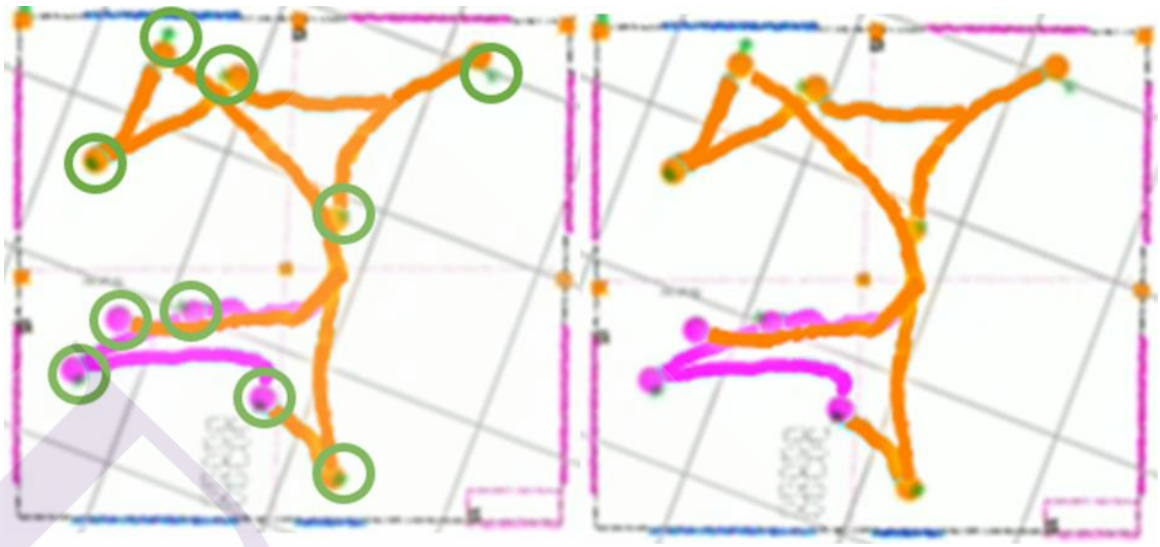
4.1.4 ตัวอย่างการติดตามตำแหน่งรถและม้วนกระดาษ

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยติดตั้ง Stationary Beacons ที่หมายเลข 1 ในกรอบสี่เหลี่ยมสีน้ำเงินจำนวน 3 ตัว ดังแสดงในภาพที่ 4.9 เอาไว้ภายในกรอบสีแดง ติดตั้งตำแหน่งของ mark ทั้ง 10 จุด ซึ่งเป็นจุดดาวสีเขียว เนื่องจากจุดที่ 10 อยู่นอกความครอบคลุมของสัญญาณคลื่นเสียงจากบีคอน ผู้ทดสอบจึงทดสอบโดยการเดินเพียงจุดที่ 1 ถึงจุดที่ 9 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ภายในห้องระหว่างทางจะผ่านจุดเก็บจนถึงจุดถ่ายเทม้วนกระดาษในสี่เหลี่ยมสีน้ำเงินที่หมายเลข 2 และ 3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 แสดงภาพแผนที่ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพการระบุตำแหน่งถูกต้องทั้ง 30 ครั้ง แม้มีคลาดเคลื่อนเล็กน้อย แต่ในภาพรวมก็ยังสามารถระบุตำแหน่งได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในภาพประกอบดังภาพที่ 4.10 จุดสีชมพู หมายถึง ตำแหน่งของรถ Forklift ที่ไม่ได้กำลังดำเนินการขนย้ายม้วนกระดาษ จุดสีส้ม หมายถึง ตำแหน่งของรถ Forklift ที่กำลังดำเนินการขนย้ายม้วนกระดาษ จุดสีฟ้าคือจุดสีส้มหรือสีชมพูที่ผ่านมา ซึ่งจะทำให้เราเห็นภาพรวมว่ารถเคลื่อนที่ผ่านตรงไหนในแผนที่ไปแล้วบ้าง



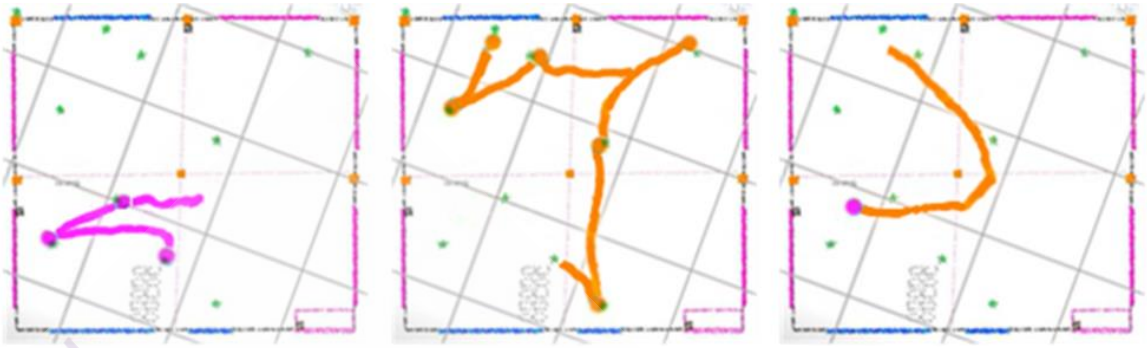
ภาพที่ 4.10 แสดงการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษโดยผ่านจุด Mark ทั้ง 9 จุด และจุดปลายทางอยู่ในวงกลมสีเขียว (ซ้าย)

4.2 การทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของระบบ

ในหัวข้อการทดสอบความแม่นยำในการบอกตำแหน่งของระบบ วิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างมากล่าว 2 ประเภทและ 1 ข้อของการทดสอบ ได้แก่ 1.ตัวอย่างการติดตามตำแหน่งของรถ และการที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจนถึงจุดปลายทางและวางม้วนกระดาษสำเร็จ 2.ตัวอย่างการทำงานโดยรวมของผู้ปฏิบัติการขับรถและ 3.ความสามารถในการระบุตัวตนผ่านความหนาของกระดาษ ดังนี้

4.2.1 ตัวอย่างการติดตามตำแหน่งของรถ และการที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ จนถึงจุดปลายทางและวางม้วนกระดาษสำเร็จ

งานวิจัยนี้ได้เคลื่อนรถผ่านจุดดาวสีเขียว 3 จุด ก่อนถึงจุดเก็บม้วนกระดาษ ซึ่งในขณะนี้จุดสีชมพูจะแทนตำแหน่งของรถที่ผ่านจุดดาวสีเขียว เมื่อรถได้เคลื่อนที่ถึงจุดเก็บม้วนกระดาษ และผู้ปฏิบัติการขับรถได้บรรทุกม้วนกระดาษไว้บนรถแล้ว จุดที่ผ่านจุดดาวสีเขียวจะเปลี่ยนเป็นจุดสีส้ม ซึ่งผ่านจุดดาวสีเขียวอีก 6 จุด และจะเปลี่ยนสีจุดกลับเป็นสีชมพูอีกครั้งเมื่อนำม้วนกระดาษวางไว้ที่จุดปลายทางแล้ว ดังแสดงในภาพที่ 4.11 ซ้าย กลาง ขวา ตามลำดับ

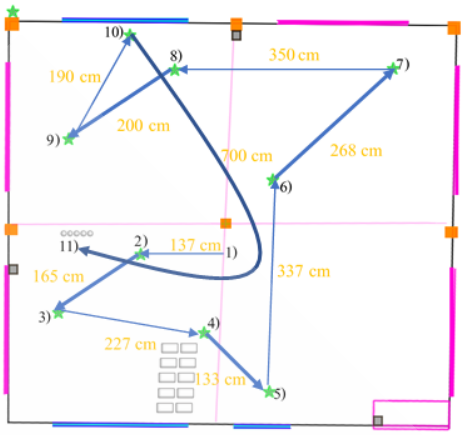


ภาพที่ 4.11 แสดงการติดตามตำแหน่งของรถ ตั้งแต่เส้นทางก่อนถึงจุดเก็บม้วนกระดาษ (ซ้าย) เส้นทางขณะที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ (กลาง) และเส้นทางที่ผู้ขับรถวางม้วนกระดาษที่จุดปลายทาง (ขวา)

ผลการทดสอบการติดตามตำแหน่งของรถ และการที่รถกำลังเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจนถึงจุดปลายทางและวางม้วนกระดาษสำเร็จ พบว่าระบบสามารถแสดงการติดตามตำแหน่งของรถบนแผนที่ได้อย่างถูกต้อง

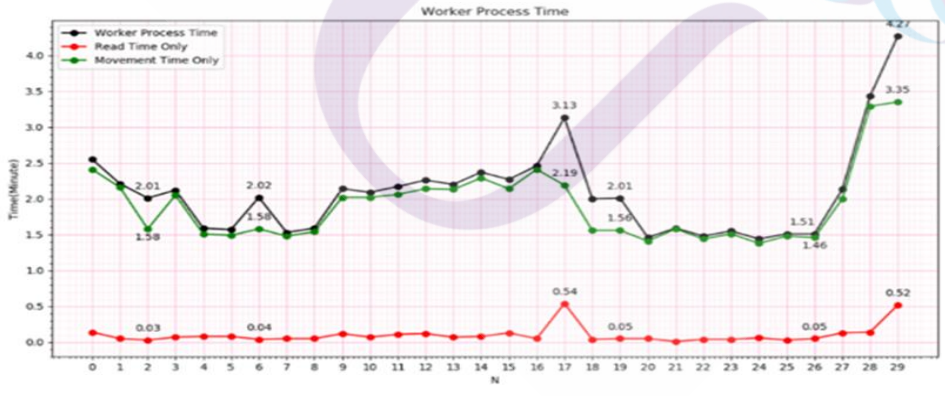
4.2.2 ตัวอย่างการทำงานโดยรวมของผู้ปฏิบัติการขับรถ

เมื่อผู้ปฏิบัติการขับรถได้รับคำสั่งของการขนย้ายม้วนกระดาษจากผู้ดูแลระบบ ผู้ปฏิบัติการขับรถจะเริ่มดำเนินงานตั้งแต่กรอกรหัสประจำตัว เคลื่อนย้ายม้วนกระดาษไปไว้ยังตำแหน่งปลายทาง อีกทั้งผู้ดูแลระบบจะทราบระยะเวลาในปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติการขับรถคนนั้นในแต่ละครั้ง จึงเป็นผลให้ผู้วิจัยทดสอบระบบโดยการจำลองเป็นผู้ปฏิบัติการขับรถที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายม้วนกระดาษเป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 ครั้งที่ระยะทางเท่ากัน คือ 27.07 เมตร ซึ่งการปฏิบัติงานในครั้งนี้ เริ่มจาก 1.จุดเริ่ม 2.จุดโต๊ะ 3.จุดปลายเตียง 4.จุดหัวเตียง 5.จุดประตูห้องพระ 6.จุดที่นอน 7.จุดวางกระเป๋าเดินทางที่ใส่เสื้อผ้า 8.จุดขวาของประตู 9.จุดเก็บจานชาม 10.จุดกลางของประตู 11.จุดปลายทาง ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 4.12 ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางที่ใช้จากเริ่มต้นจนถึงปลายทาง



ภาพที่ 4.12 แสดงระยะทางภายในห้องทดสอบที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้สำหรับขนส่งม้วนกระดาษ รวมทั้งสิ้น 2,707 เซนติเมตร หรือ 27.07 เมตร

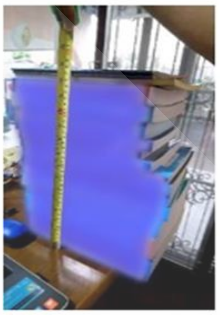
จากภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถ (เส้นสีดำ) ใช้ในการดำเนินการทั้ง 30 ครั้งตั้งแต่รีเซ็ตหน้าจอ LCD เพื่อกรอกรหัสของตน ขับรถไปยังจุดหาม้วนกระดาษ อ่านรหัสม้วนกระดาษ เคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ จนกระทั่งนำม้วนกระดาษมาไว้ที่ปลายทางได้สำเร็จขึ้นอยู่กับเวลาที่ที่ผู้ปฏิบัติการขับรถสามารถอ่านเจอม้วนกระดาษที่ถูกต้อง (เส้นสีแดง) ตามคำสั่งของผู้ดูแลระบบได้รวดเร็วเท่าใด และเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ (เส้นสีเขียว) ได้รวดเร็วเพียงใด ซึ่งในรูป ผู้วิจัยจะแสดงค่าตัวเลขให้เห็นเพียงบางจุด เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจของผู้อ่าน



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจากการทดสอบ 30 ครั้ง

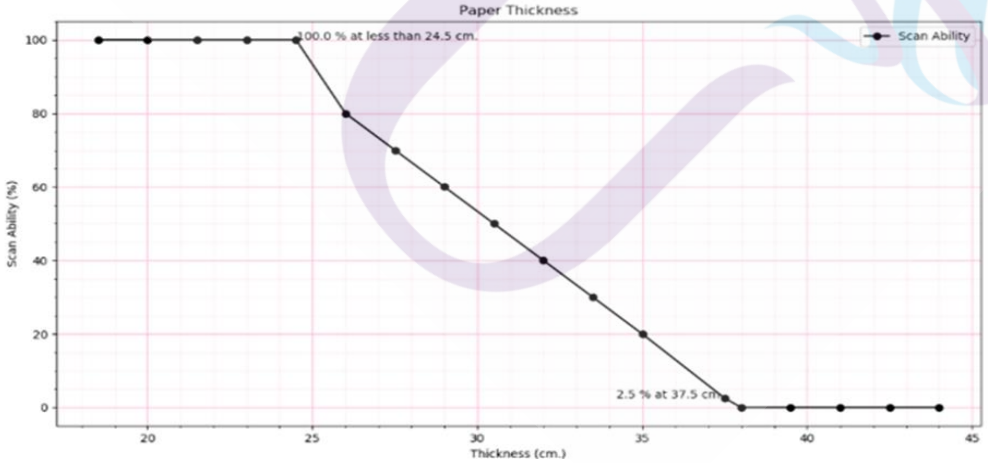
4.2.3 การระบุตัวตนผ่านความหนาของกระดาษ

ผู้วิจัยได้นำแท็กของม้วนกระดาษและตัวอ่าน UHF RFID มาทดสอบความสามารถในการสแกนผ่านความหนาของกระดาษตั้งแต่ 0 ถึง 45 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 แสดงความสามารถของตัวอ่านที่อ่านแท็กของม้วนกระดาษผ่านกระดาษที่มีความหนาถึง 37.5 เซนติเมตร

พบว่าตัวอ่าน UHF RFID ที่ใช้ในระบบ สามารถอ่านแท็กได้เป็นอย่างดี ตั้งแต่ความหนาม้วนกระดาษตั้งแต่ 0 ถึง 24.5 เซนติเมตร และความสามารถในการอ่านจะเริ่มลดลงเมื่อกระดาษหนามากกว่า 24.5 ถึง 37.5 และไม่สามารถอ่านได้เมื่อม้วนกระดาษหนามากกว่า 37.5 ดังแสดงในรูปกราฟที่ 4.15



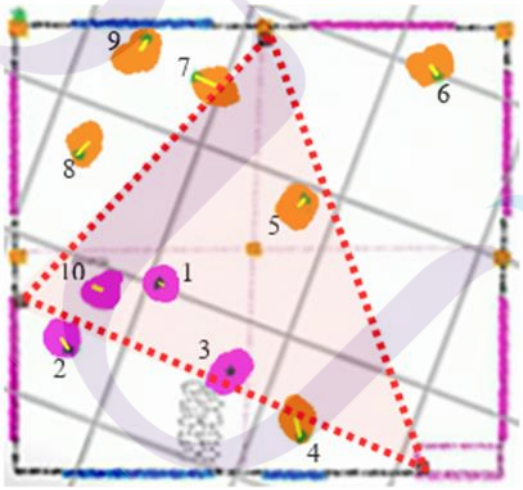
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงความสามารถของตัวอ่านที่อ่านแท็กของม้วนกระดาษผ่านกระดาษที่มีความหนา (ซม.)

4.3 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

ในหัวข้อการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ วิจัยนี้ได้ยกตัวอย่างมากล่าว 3 ประเภท และ 1 ข้อการทดสอบ ได้แก่ 1.ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง 2.ตัวอย่างการทดสอบความหน่วงของการระบุตำแหน่ง 3.ตัวอย่างการทดสอบความครอบคลุมภายในสถานที่ทดสอบและ 4.การเก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆ ดังนี้

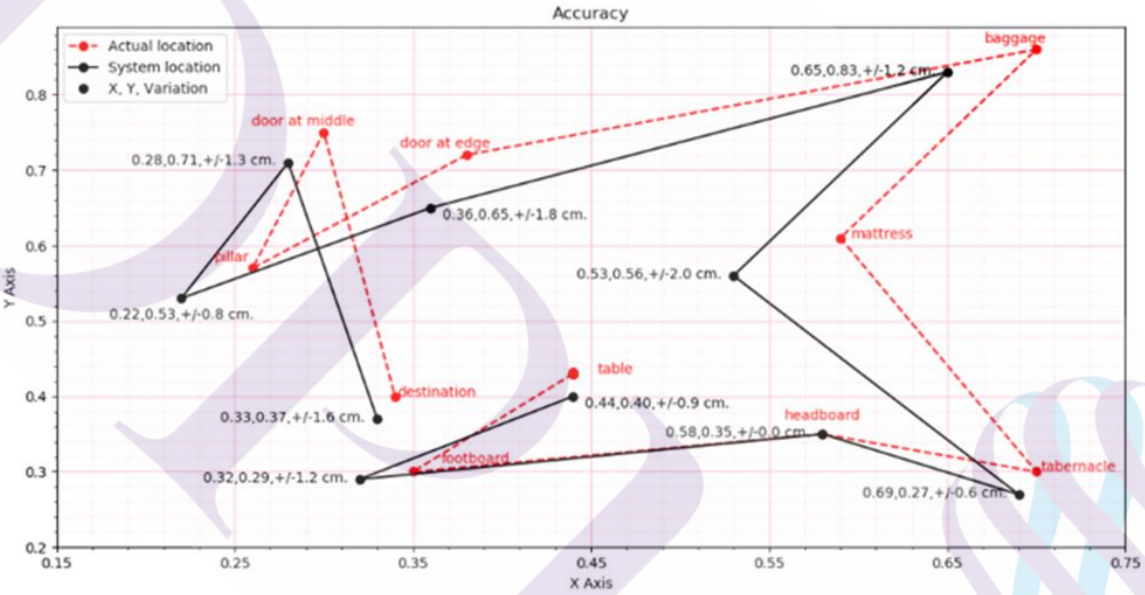
4.3.1 ตัวอย่างการทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง

การทดสอบความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจากการทดสอบในสถานที่ทดสอบขนาดประมาณ 6.50 x 6.00 เมตร พบว่าแต่ละจุด Marker ที่รถเคลื่อนที่ผ่านไปเฉลี่ยจากการทดสอบทั้ง 30 ครั้งแล้วนั้น จะได้ภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 4.16 และค่าความถูกต้องของการระบุตำแหน่งแสดงดังภาพที่ 4.17 ซึ่งตัวเลขสีดำ 1 ถึง 10 ที่อยู่ประจำแต่ละจุดคือ พิกัด x, พิกัด y, ค่าความคลาดเคลื่อน ภาพที่ได้เกิดจากผู้วิจัยรวมรูปจากการทดสอบทั้ง 30 ครั้ง ครั้งละ 10 จุด ด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS6 จากรูปเมื่อผู้วิจัยนำตำแหน่งที่ได้จากระบบมาเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Trilateration ในวิจัย ผู้อ่านจะเห็นได้ว่า จุด 1,3,5 และ 10 ที่อยู่ภายในโครงข่ายสามเหลี่ยม (กรอบสามเหลี่ยมเส้นประสีแดงในภาพที่ 4.16) สามารถบอกตำแหน่งได้ดีกว่า จุด 2,4,6,7,8 และ 9 ที่อยู่ด้านนอกของสามเหลี่ยมเดียวกัน



ภาพที่ 4.16 แสดงผลความถูกต้องของการระบุตำแหน่งจากการทดสอบ 30 ครั้ง

sค่าความคลาดของตำแหน่งทั้ง 10 จุด เกิดจากความล่าช้าในการแพร่กระจายของคลื่นเสียง Ultrasonic ที่ Mobile Beacon ที่ติดตั้งอยู่บนรถได้รับ โดยแต่ละจุดมีค่าความคลาดเคลื่อนตำแหน่ง ดังนี้ 1.โต๊ะ (Table) คือ 0.9 เซนติเมตร 2.ปลายเตียง (Footboard) คือ 1.2 เซนติเมตร 3.หัวเตียง/จุดเอาม้วนกระดาษ (Headboard) คือ 0 เซนติเมตร 4.ห้องพระ (Tabernacle) คือ 0.6 เซนติเมตร 5.ฟูกที่นอน (Mattress) คือ 2.0 เซนติเมตร 6.กระเป๋าเสื้อผ้า (Baggage) คือ 1.2 เซนติเมตร 7.ขวาริมประตู (Door At Edge) คือ 1.8 เซนติเมตร 8.ที่เก็บจาน (Pillar) คือ 0.8 เซนติเมตร 9.กลางประตู (Door At Middle) คือ 1.3 เซนติเมตร และ 10.จุดปลายทางสำหรับส่งม้วนกระดาษ (Destination) คือ 1.6 เซนติเมตร

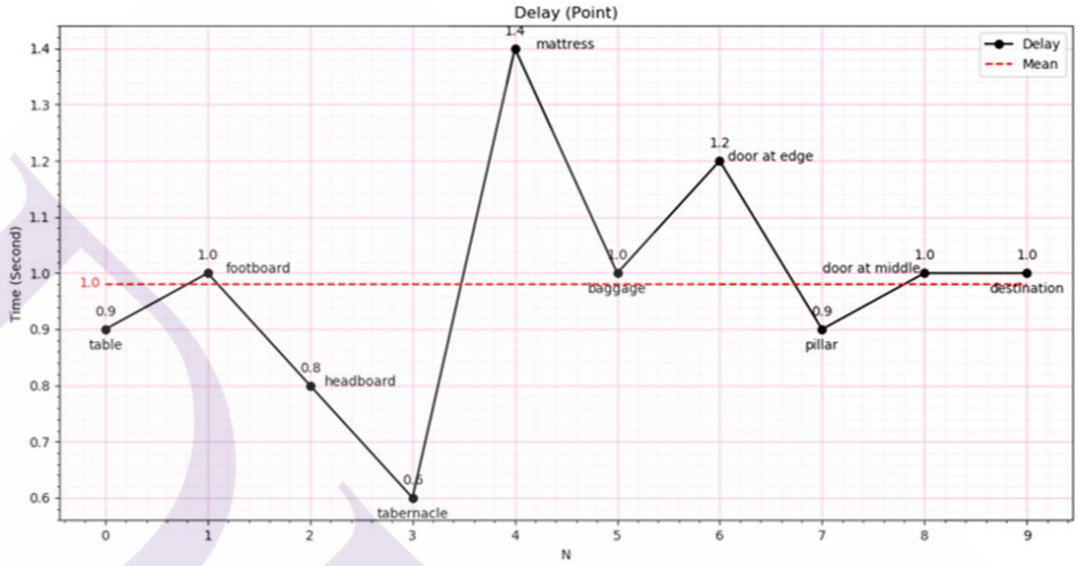


ภาพที่ 4.17 กราฟแสดงผลความถูกต้องของการระบุตำแหน่ง อักษรสีดำคือพิกัด x, y, ค่าความคลาดเคลื่อนสีแดงคือจุดสังเกตทั้ง 10 จุด

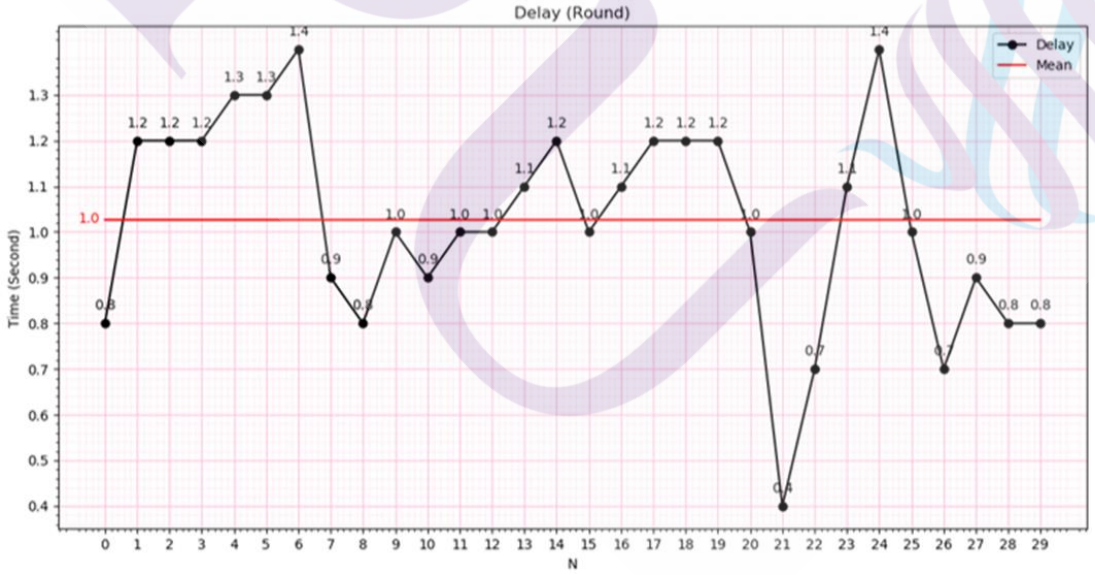
4.3.2 ตัวอย่างการทดสอบความหน่วงของการระบุตำแหน่ง

ผลการทดสอบในการวัดความหน่วงของการระบุตำแหน่ง ผู้ทดสอบพบว่าในการเคลื่อนรถผ่านจุด mark ทั้ง 10 ตำแหน่ง ดังนี้ 1.โต๊ะ (Table) 2.ปลายเตียง (Footboard) 3.หัวเตียง/จุดเอาม้วนกระดาษ (Headboard) 4.ห้องพระ (Tabernacle) 5.ฟูกที่นอน (Mattress) 6.กระเป๋าเสื้อผ้า (Baggage) 7.ขวาประตู (Door At Edge) 8.ที่เก็บจาน (Pillar) 9.กลางประตู (Door At Middle) และ 10.จุดปลายทางสำหรับส่งม้วนกระดาษ (Destination) พบว่าการติดตามตำแหน่งมีความหน่วงของ

เวลาจากการทดสอบทั้ง 30 ครั้ง เกิดขึ้นเฉลี่ยเพียง 1 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 4.18 และ 4.19 ตามลำดับ



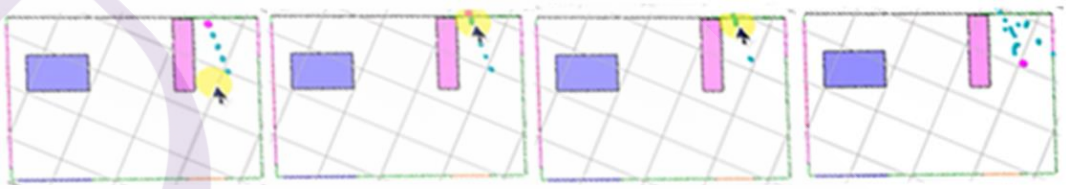
ภาพที่ 4.18 กราฟแสดงความหน่วงเวลาของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษผ่านจุด mark ทั้ง 10 ตำแหน่ง (วินาที)



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความหน่วงเวลาของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษจากการทดสอบ 30 ครั้ง (วินาที)

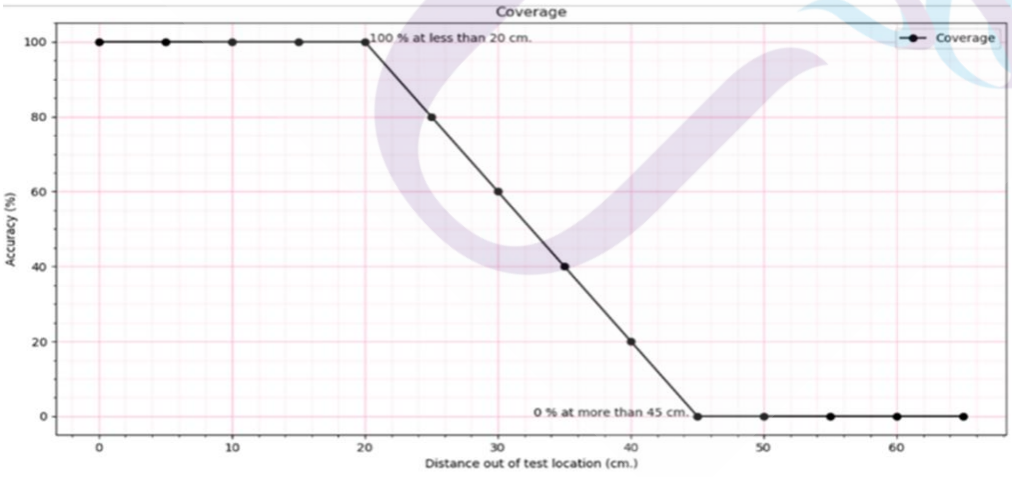
4.3.3 ตัวอย่างการทดสอบความครอบคลุมของการระบุตำแหน่งภายในสถานที่ทดสอบ

การทดสอบความครอบคลุมของการระบุตำแหน่ง พบว่าระบบสามารถบอกการเคลื่อนที่ของรถได้ถูกต้องถ้ารถนั้นเคลื่อนที่อยู่ภายในสถานที่ทดสอบที่มี Stationary Beacons สื่อสารกันได้อย่างทั่วถึง ยกเว้นถ้านำรถออกมาภายนอกสถานที่ทดสอบ การบอกตำแหน่งก็จะแกว่งไปมาอย่างรวดเร็วภายในกรอบสีแดง เพราะเกิดจากการที่ตัว Mobile Beacon ที่ติดอยู่บนรถไม่ได้รับสัญญาณจากตัว Stationary Beacons ที่อยู่ภายในห้องอย่างเพียงพอ ดังจะเห็นได้จากการเคลื่อนที่ภายในห้องทดสอบจากภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.20 แสดงความครอบคลุมของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ

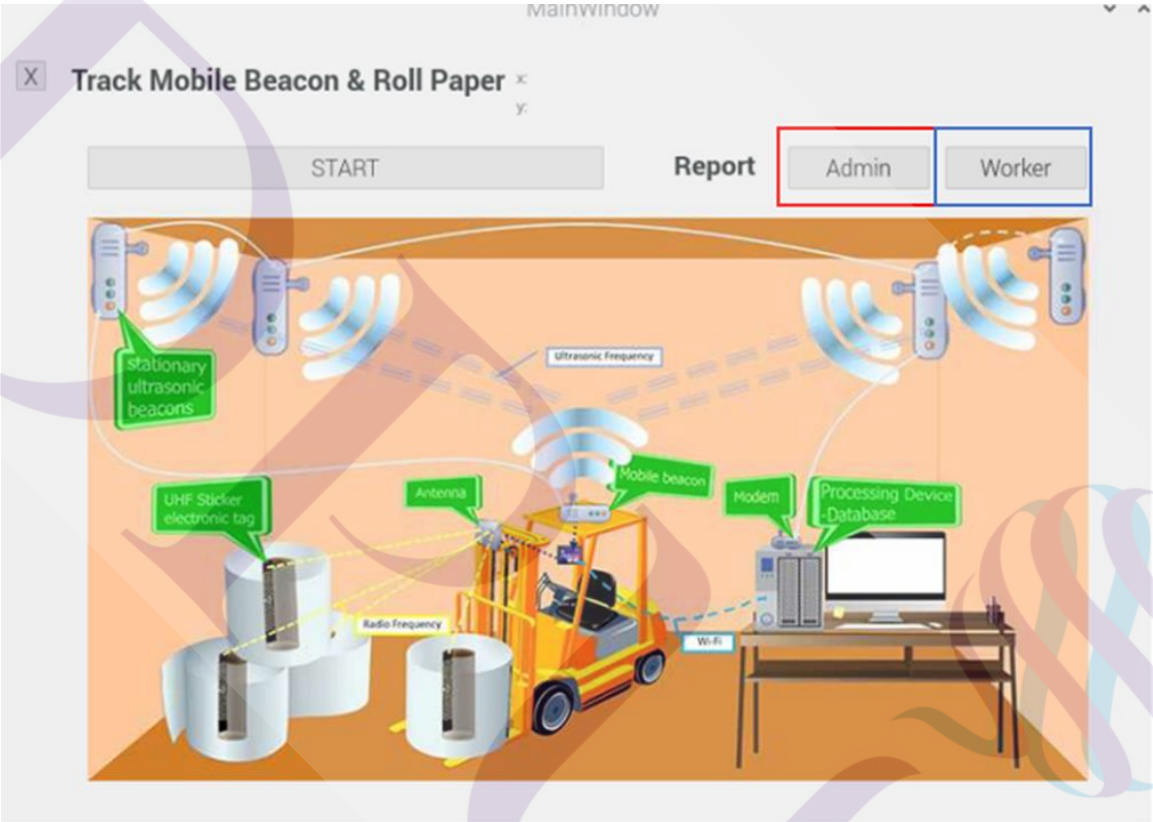
จากภาพที่ 4.21 เป็นกราฟแสดงความสามารถของระบบในการบอกตำแหน่งได้อย่างครอบคลุมพื้นที่ทดสอบ จนกระทั่งรถเคลื่อนที่ออกจากสถานที่ทดสอบที่ระยะทางน้อยกว่า 20 เซนติเมตร จากนั้นระบบจะไม่สามารถติดตามตำแหน่งของรถในระยะทางที่มากกว่า 45 เซนติเมตรขึ้นไป



ภาพที่ 4.21 กราฟแสดงความครอบคลุมของการระบุตำแหน่งจาก Ultrasonic Beacon

4.3.4 การเก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆ

รายงานการเก็บข้อมูลการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบจะอยู่ในไฟล์ที่ชื่อ adminreport.csv และการดำเนินการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษของผู้ปฏิบัติการขับรถจะถูกเก็บในไฟล์ชื่อ workerreport.csv ซึ่งผู้ดูแลระบบจะสามารถดูข้อมูลจาก 2 ไฟล์ดังกล่าวนี้ได้ผ่านปุ่ม Admin และ Worker ที่อยู่ในกรอบสีแดงและน้ำเงิน ตามลำดับ ซึ่งปุ่มดังกล่าวจะอยู่ในหน้าแรกของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 ปุ่ม Admin และWorker ในกรอบสีแดงและน้ำเงิน สำหรับแสดงรายงานการดำเนินงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถตามลำดับ

รายละเอียดของไฟล์ adminreport.csv จะเก็บรายละเอียดของม้วนกระดาษแต่ละชิ้นไว้ และจะถูกแสดงออกทางหน้าจอระบบ ดังแสดงในภาพที่ 4.23 ซึ่งรายละเอียดของม้วนกระดาษดังกล่าวประกอบด้วย รหัสประจำตัว ประเภท วันเวลาที่จัดเก็บ ตำแหน่งที่จัดเก็บม้วนกระดาษ

Admin Report

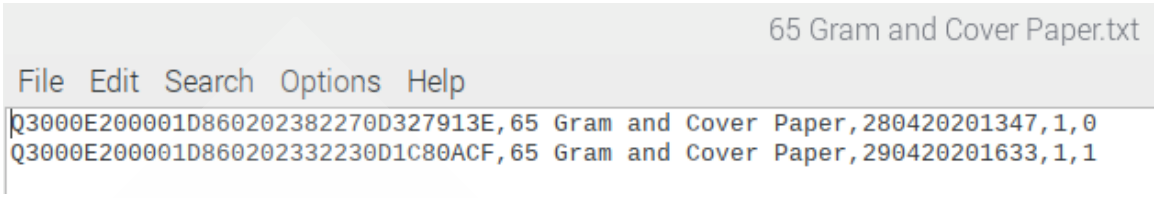
	Item ID	Item Type	Date	Row	Col
1	Q3000E200001B660100691040B3A2990D	65 Gram and Draw Paper	280420201438	2	0
2	Q3000E200001B3008027317790F00489D0	65 Gram and Draw Paper	290420201631	2	1
3	Q3000E200001D8602013322606CEAF690	90 Gram and Draw Paper	180220201341	4	0
4	Q3000E200001D860201692270900OECA7	90 Gram and Draw Paper	220220202314	4	1
5	Q3000E200001D860201792270A151948D	65 Gram and Box board	070120201220	0	0
6	Q3000E200001D8602013922607585A2CF	65 Gram and Box board	170120202310	0	1
7	Q3000E200001D860202382270D327913E	65 Gram and Cover Paper	280420201347	1	0
8	Q3000E200001D860202332230D1C80ACF	65 Gram and Cover Paper	290420201633	1	1
9	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	140420201610	3	0
10	Q3000E200001D8602014822607 7C63D8E	80 Gram and Hard board	070520201539	3	1

ภาพที่ 4.23 รายงานข้อมูลม้วนกระดาษแต่ละชิ้นสำหรับผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 4.24 แสดงรายงานการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ จากไฟล์ workerreport.csv ซึ่งรายงานของผู้ปฏิบัติการขับรถจะประกอบด้วยข้อมูลดังนี้ รหัสประจำตัวผู้ปฏิบัติการขับรถ (ID) วันที่และเวลาของการดำเนินงาน (Date, Time) ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน (Worker Process(HH:MM:SS)) รหัสประจำตัว (Item ID), ประเภท (Item Type) จุดปลายทาง (To Dest.) แสดงเวลาที่รถเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งจุดเก็บม้วนกระดาษ (Arrived Src.) เคลื่อนที่ถึงตำแหน่งจุดวางม้วนกระดาษ (Arrived Dest.) รวมถึงจำนวนคงเหลือของม้วนกระดาษ (Qty Remain')

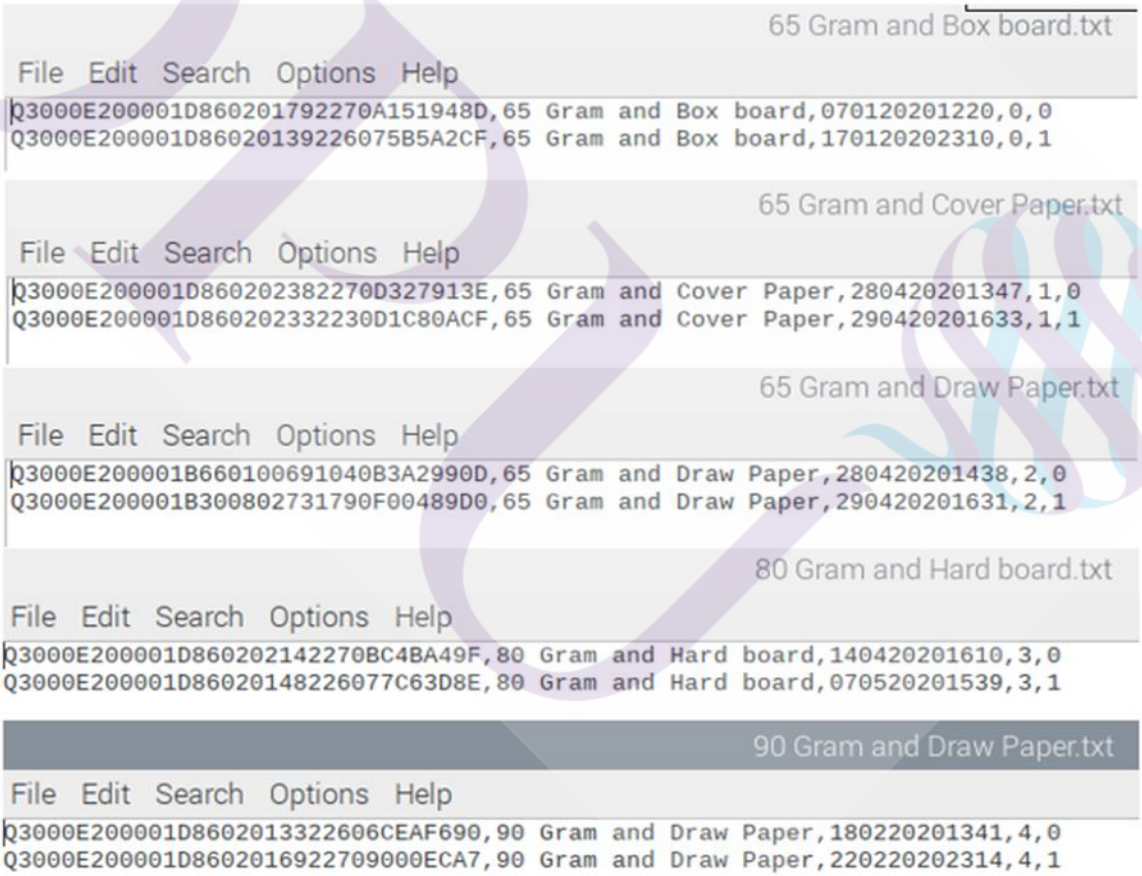
Worker Report

	ID	Date	Time	Worker Process(HH:MM:SS)	Item ID	Item Type	To Dest.	Arrived Src.	Arrived Dest.	Qty Remain
1	1	28/04/2020	13:02	0:02:55	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	12:59:19	13:02:00	1
2	4	28/04/2020	13:09	0:02:21	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:06:44	13:09:00	1
3	5	28/04/2020	13:16	0:02:01	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:14:02	13:16:00	1
4	6	28/04/2020	13:23	0:02:12	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:20:55	13:23:00	1
5	7	28/04/2020	13:30	0:01:59	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:28:09	13:30:00	1
6	8	28/04/2020	13:38	0:01:57	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:36:11	13:38:00	1
7	9	28/04/2020	13:44	0:02:02	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:42:02	13:44:00	1
8	12	28/04/2020	13:51	0:01:53	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:49:12	13:51:00	1
9	13	28/04/2020	13:58	0:01:59	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:56:06	13:58:00	1
10	16	28/04/2020	14:05	0:02:14	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:02:58	14:05:00	1
11	17	28/04/2020	14:12	0:02:09	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:09:58	14:12:00	1
12	18	28/04/2020	14:19	0:02:17	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:16:54	14:19:00	1
13	20	28/04/2020	14:26	0:02:26	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:23:46	14:26:00	1
14	24	28/04/2020	14:33	0:02:20	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:30:47	14:33:00	1
15	26	28/04/2020	14:40	0:02:37	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:37:31	14:40:00	1
16	28	28/04/2020	14:47	0:02:27	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:44:46	14:47:00	1
17	28	28/04/2020	14:54	0:02:46	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:51:19	14:54:00	1
18	29	28/04/2020	15:01	0:03:13	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:58:41	15:01:00	1
19	2	29/04/2020	9:36	0:02:00	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	9:34:04	9:36:00	1
20	3	29/04/2020	9:49	0:02:01	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	9:47:04	9:49:00	1



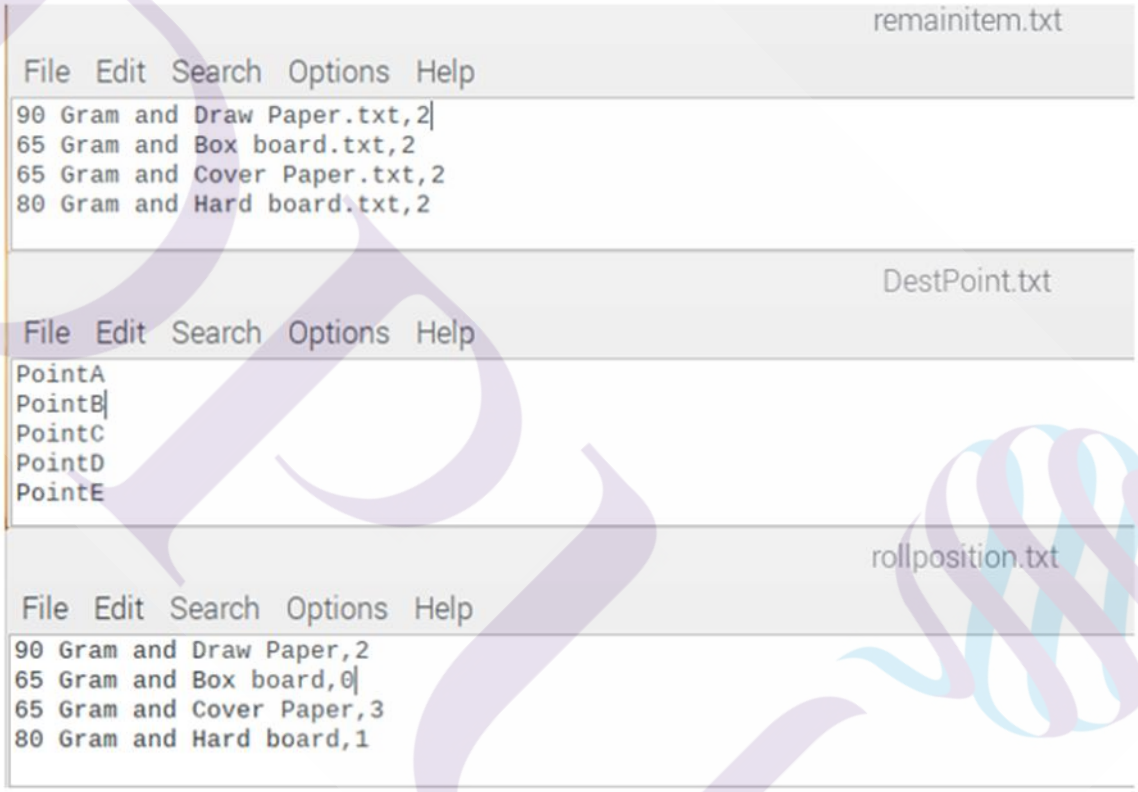
ภาพที่ 4.24 รายงานข้อมูลการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ

จากภาพที่ 4.23 แสดงรายละเอียดของม้วนกระดาษแต่ละชิ้นซึ่งนำข้อมูลมาจากไฟล์ที่เก็บม้วนกระดาษทุกชิ้นในระบบ ซึ่งการทดสอบครั้งนี้มีกระดาษ 5 ประเภท ได้แก่ 65 Gram and Box board, 65 Gram and Cover Paper, 65 Gram and Draw board, 80 Gram and Hard board และ 90 Gram and Draw Paper ดังแสดงในภาพที่ 4.25



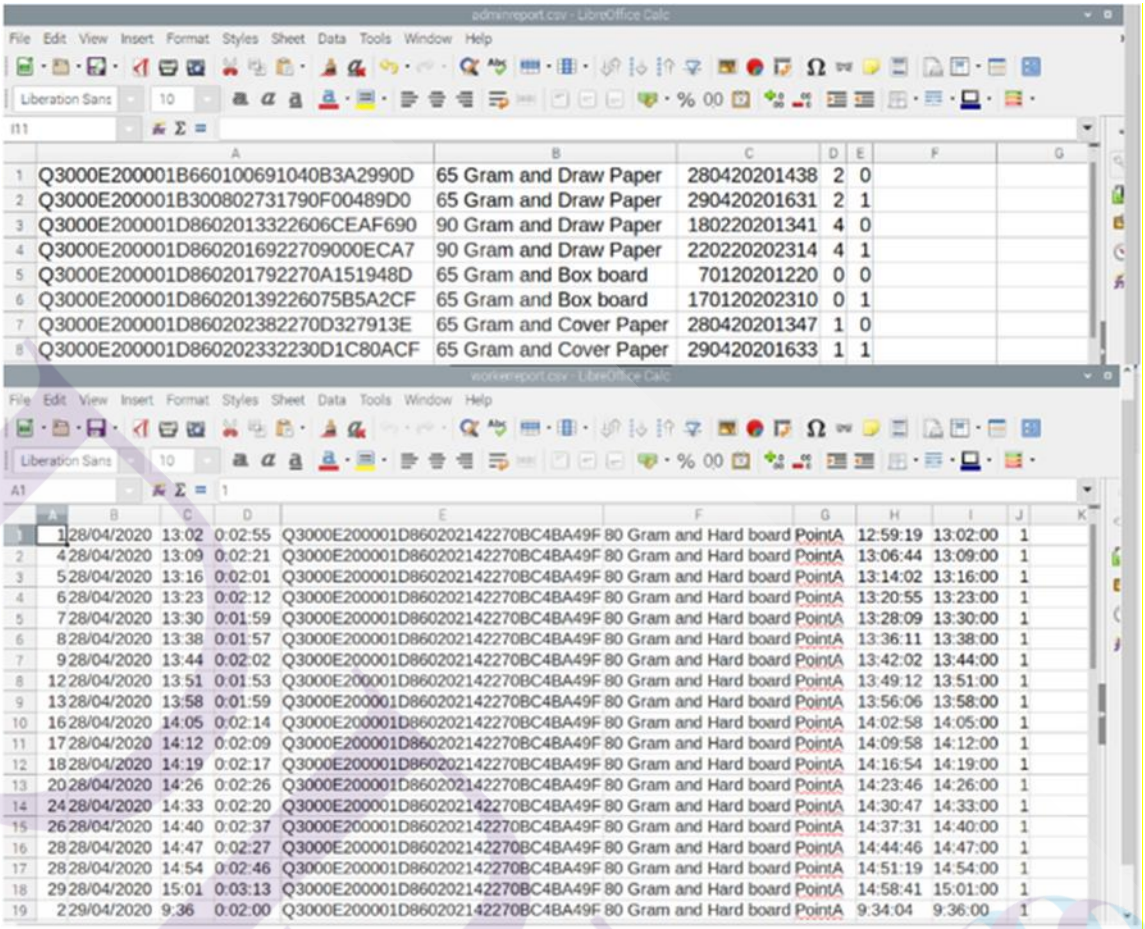
ภาพที่ 4.25 ไฟล์แสดงรายละเอียดของแต่ละรหัสม้วนประกระดาษที่เก็บอยู่ในไฟล์ประเภทต่างๆ

การทำงานของผู้ดูแลระบบในการจัดการกับม้วนกระดาษแต่ละชิ้นนั้น นอกจากไฟล์ของรหัสม้วนกระดาษแต่ละประเภทแล้ว ยังมีไฟล์ที่ใช้ในระบบอีก 3 ไฟล์ ได้แก่ ไฟล์ remainitem.txt ใช้สำหรับแสดงม้วนกระดาษที่ยังมีเก็บอยู่ในคลัง ไฟล์ Destpoint.txt ใช้สำหรับแสดงตำแหน่งปลายทางของจุดขนส่งม้วนกระดาษ ซึ่งระบบจะใช้ไฟล์นี้เมื่อผู้ดูแลระบบต้องใช้ข้อมูลนี้สำหรับแจ้งจุดขนส่งม้วนกระดาษปลายทาง ไฟล์ rollposition.txt ใช้สำหรับแสดงผลเมื่อผู้ดูแลระบบต้องการทราบแถวที่จัดเก็บของม้วนกระดาษแต่ละชิ้น ซึ่งไฟล์ที่จำเป็นสำหรับระบบการระบุตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษแสดงในภาพที่ 4.26



ภาพที่ 4.26 แสดงรายละเอียดของแต่ละไฟล์ที่จำเป็นสำหรับระบบระบุตำแหน่งม้วนกระดาษ

นอกจากนี้ยังมีไฟล์ csv ที่ใช้สำหรับแสดงข้อมูลของแต่ละม้วนกระดาษที่อยู่ในไฟล์ adminreport.csv และรายงานการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ ที่อยู่ในไฟล์ workerreport.csv ดังแสดงในภาพที่ 4.27 บนและล่าง ตามลำดับ

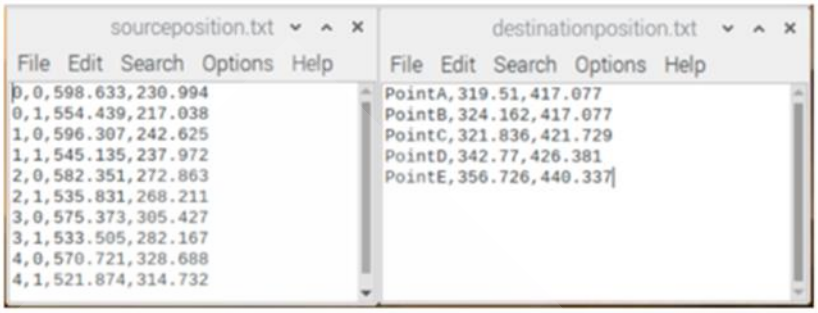


	A	B	C	D	E
1	Q3000E200001B6601006910 40B3A2990D	65 Gram and Draw Paper	280420201438	2	0
2	Q3000E200001B300802731790F00489D0	65 Gram and Draw Paper	290420201631	2	1
3	Q3000E200001D86020133226 06CEAF690	90 Gram and Draw Paper	180220201341	4	0
4	Q3000E200001D8602016922709000ECA7	90 Gram and Draw Paper	220220202314	4	1
5	Q3000E200001D860201792270A151948D	65 Gram and Box board	70120201220	0	0
6	Q3000E200001D86020139226075B5A2CF	65 Gram and Box board	170120202310	0	1
7	Q3000E200001D8602023822 70D327913E	65 Gram and Cover Paper	280420201347	1	0
8	Q3000E200001D8602023322 30D1C80ACF	65 Gram and Cover Paper	290420201633	1	1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	28/04/2020 13:02	0:02:55	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	12:59:19	13:02:00	1	
2	4	28/04/2020 13:09	0:02:21	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:06:44	13:09:00	1	
3	5	28/04/2020 13:16	0:02:01	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:14:02	13:16:00	1	
4	6	28/04/2020 13:23	0:02:12	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:20:55	13:23:00	1	
5	7	28/04/2020 13:30	0:01:59	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:28:09	13:30:00	1	
6	8	28/04/2020 13:38	0:01:57	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:36:11	13:38:00	1	
7	9	28/04/2020 13:44	0:02:02	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:42:02	13:44:00	1	
8	12	28/04/2020 13:51	0:01:53	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:49:12	13:51:00	1	
9	13	28/04/2020 13:58	0:01:59	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	13:56:06	13:58:00	1	
10	16	28/04/2020 14:05	0:02:14	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:02:58	14:05:00	1	
11	17	28/04/2020 14:12	0:02:09	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:09:58	14:12:00	1	
12	18	28/04/2020 14:19	0:02:17	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:16:54	14:19:00	1	
13	20	28/04/2020 14:26	0:02:26	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:23:46	14:26:00	1	
14	24	28/04/2020 14:33	0:02:20	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:30:47	14:33:00	1	
15	26	28/04/2020 14:40	0:02:37	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:37:31	14:40:00	1	
16	28	28/04/2020 14:47	0:02:27	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:44:46	14:47:00	1	
17	28	28/04/2020 14:54	0:02:46	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:51:19	14:54:00	1	
18	29	28/04/2020 15:01	0:03:13	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	14:58:41	15:01:00	1	
19	2	29/04/2020 9:36	0:02:00	Q3000E200001D860202142270BC4BA49F	80 Gram and Hard board	PointA	9:34:04	9:36:00	1	

ภาพที่ 4.27 แสดงรายละเอียดของไฟล์ CSV สำหรับให้ผู้ดูแลระบบติดตามรายละเอียดของแต่ละม้วนกระดาษ (บน) และ ติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ (ล่าง)

สำหรับระบบระบุตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษนั้น จะมีไฟล์สำหรับเก็บตำแหน่งที่ต้นและปลายทาง ดังภาพที่ 4.28 ที่ ซึ่งระบบจะนำเลขตำแหน่งหลักและแถวที่ใช้สำหรับแจ้งตำแหน่งสิ่งของให้ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ในการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ ในภาพที่ 4.25 มาเปรียบเทียบกับ 2 ไฟล์ที่เก็บพิกัดต้นทางและปลายทาง ซึ่งมีชื่อไฟล์ว่า sourceposition.txt และ destinationposition.txt ตามลำดับ



ภาพที่ 4.28 แสดงไฟล์ที่จัดเก็บตำแหน่งของม้วนกระดาษและตำแหน่งขนส่งปลายทาง

จากตารางที่ 4.1 แสดงรายชื่อไฟล์ทั้งหมดที่ใช้เป็นฐานข้อมูล, รายชื่อไฟล์ทั้งหมดที่ใช้เป็นรูปภาพในระบบ และรายชื่อไฟล์ Python Scripts ทั้งหมดที่ใช้ในวิจัยนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงรายชื่อไฟล์ทั้งหมดที่ใช้เป็นฐานข้อมูล, รูปภาพ และ Python Scripts

โฟลเดอร์	**ชื่อไฟล์**	**หมายเหตุ**
PyQt/ helloQt/ textfile	adminreport.csv	สำหรับระบบนำเข้าข้อมูลม้วนกระดาษทั้งหมด
	workerreport.csv	สำหรับระบบนำเข้าข้อมูลการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถทั้งหมด
	sourceposition.txt	สำหรับเก็บตำแหน่งของจุดหยิบม้วนกระดาษ
	destinationposition.txt	สำหรับเก็บตำแหน่งของจุดวางม้วนกระดาษ
	rollposition.txt	สำหรับเก็บชื่อตำแหน่งของจุดหยิบม้วนกระดาษ
	DestPoint.txt	สำหรับเก็บชื่อตำแหน่งของจุดวางม้วนกระดาษ
	remainitem.txt	สำหรับเก็บจำนวนคงเหลือของแต่ละประเภทม้วนกระดาษ
PyQt/ helloQt/ textfile/ itemfile	65 Gram and Box board.txt	เป็นข้อมูลม้วนกระดาษประเภท Box ที่มีความหนา 65 แกรม
	65 Gram and Cover Paper.txt	เป็นข้อมูลม้วนกระดาษประเภท Cover Paper ที่มีความหนา 65 แกรม
	65 Gram and Draw Paper.txt	เป็นข้อมูลม้วนกระดาษประเภท Draw Paper ที่มีความหนา 65 แกรม

	80 Gram and Hard board.txt	เป็นข้อมูลม้วนกระดาษประเภท Hard board ที่มีความหนา 80 แกรม
	90 Gram and Draw Paper.txt	เป็นข้อมูลม้วนกระดาษประเภท Draw Paper ที่มีความหนา 90 แกรม
PyQt/ helloQt/ textfile/ graph	accuracy.txt	เป็นข้อมูลความถูกต้องของตำแหน่งจากระบบทั้ง 30 ครั้ง
	realaccuracy.txt	เป็นข้อมูลความถูกต้องจริงของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	coverage.txt	เป็นข้อมูลความครอบคลุมของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	workprocesstime.txt	เป็นข้อมูลระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ทั้ง 30 ครั้ง
	delay_point.txt	เป็นข้อมูลความหน่วงของทั้ง 10 ตำแหน่ง
	delay_round.txt	เป็นข้อมูลความหน่วงของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	paperthickness.txt	เป็นข้อมูลความหนาของกระดาษ
PyQt/ helloQt/ graph	plotgraph_accuracy.py	สร้างกราฟความถูกต้องของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	plotgraph_cover.py	สร้างกราฟความครอบคลุมของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	plotgraph_workerprocesstime.py	สร้างกราฟระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติการขับรถใช้ทั้ง 30 ครั้ง
	plotgraph_delay.py	สร้างกราฟความหน่วงของทั้ง 10 ตำแหน่ง
	plotgraph_delay2.py	สร้างกราฟความหน่วงของตำแหน่งทั้ง 30 ครั้ง
	plotgraph_thickness.py	สร้างกราฟความหนาของกระดาษ
PyQt/ helloQt/ img	cover_pic.png	รูปภาพหน้าแรกของระบบ
	frame1.png	รูปภาพแทนเส้นคั่นแบบบาง
	frame2.png	รูปภาพแทนเส้นคั่นแบบหนา
	reload_btt.png	รูปภาพปุ่มสำหรับรีเฟรชรายการม้วนกระดาษ
	status_yellow.png	รูปภาพสถานะม้วนกระดาษก่อนผู้ขับรถทำงาน
	testRoom_2-1.png	รูปภาพแผนที่ของสถานที่ทดสอบต่างจังหวัด
	myhome5.png	รูปภาพแผนที่ของสถานที่ทดสอบในบ้าน
	robottrainroom.png	รูปภาพแผนที่ของสถานที่ทดสอบห้องแลปหุ่นยนต์
PyQt/ helloQt	mainwindow_org.ui	หน้าแรกของส่วนติดต่อกับผู้ใช้
	mainwindow.ui	หน้าของส่วนติดต่อกับผู้ใช้ กับระบบ

	runexe.py	Script รันไฟล์ exe ของระบบ
	mainwindow.py	Script ของระบบ
	marvelmind.py	Script ของ Library การระบุตำแหน่ง
	csvtablewidget.py	Script ของ Library แสดงรายงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ
	csvtablewidget2.py	Script ของ Library แสดงข้อมูลแต่ละม้วนกระดาษ
	i2c_lib.py	Script ของ Library หน้าจอของผู้ปฏิบัติการขับรถ
	lcddriver.py	Script ของ Library หน้าจอของผู้ปฏิบัติการขับรถ
	I2C_LCD_driver.py	Script ของ Library หน้าจอของผู้ปฏิบัติการขับรถ

4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Hardware ในการควบคุมการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ Hardware ในการควบคุมการทำงานของผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบระบุตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษ

วัตถุประสงค์	**ชื่อระบบย่อย**	**กรณีทดสอบ**	**ทำได้**	**ทำไม่ได้**
ระบุตำแหน่ง	ระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์รถโดยใช้เทคโนโลยีบีคอน	ระบุตำแหน่งรถ	✔	
ระบุตัวตน	ระบุตัวตนม้วนกระดาษโดยใช้ UHF RFID	ระบุตำแหน่งม้วนกระดาษ ขณะที่ม้วนกระดาษอยู่บนรถ	✔	
ระบุสถานะการทำงาน	ระบุสถานะการหยิบของม้วนกระดาษ	ระบุสถานะของม้วนกระดาษว่ามีการหยิบหรือไม่	✔	
การเก็บข้อมูล	ระบบจัดเก็บข้อมูล	การเก็บข้อมูลลงไฟล์ Text	✔	

การแสดงผล	การแสดงผลตำแหน่งของรถ	การติดตามตำแหน่งของรถ Forklift ทั้งเรื่องความถูกต้อง ความหน่วง และความครอบคลุมในพื้นที่ทดสอบ	✔	
	การแสดงผลม้วนกระดาษต่างๆ	ความถูกต้องของม้วนกระดาษที่ระบุด้วยเครื่องอ่าน UHF RFID	✔	
	การแสดงผลทางจอบนรถ	การส่งข้อมูลระหว่างผู้ปฏิบัติการขับรถและผู้ดูแลระบบ	✔	

4.5 สรุปเนื้อหา

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบติดตามตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษ โดยใช้โปรแกรมระบบ Car Robot Track Trace & Manage ที่พัฒนาขึ้นร่วมกับเทคโนโลยี Ultrasonic Beacon และ UHF RFID มาติดตั้งบนรถ Forklift เพื่อทดสอบความถูกต้อง ความหน่วง และความครอบคลุมของสัญญาณระบุตำแหน่งของรถและตัวตนของม้วนกระดาษที่ถูกหยิบขึ้นด้วยเครื่องอ่าน UHF RFID ขณะทำการทดลอง รวมถึงบอกสถานะการหยิบและเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ การแสดงผลในการส่งข้อมูลระหว่างผู้ปฏิบัติการขับรถและผู้ดูแลระบบผ่านทางหน้าจอ LCD ที่ติดตั้งอยู่บนรถ ก่อนจัดเก็บข้อมูลลง Text file ซึ่งผู้ทดสอบได้มีการทดลองซ้ำ 30 ครั้ง เพื่อให้ได้ประสิทธิผลของระบบที่เชื่อถือได้ ผลการทดลองสรุปว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบมีความหน่วงของการติดตามตำแหน่งเพียง 1 วินาที และมีความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งเท่ากับ 0-2 เซนติเมตร ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ภายในหน่วยงานที่มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกัน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยชิ้นนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์สำหรับระบบระบุตำแหน่งรถ Forklift พร้อมระบุตัวตนม้วนกระดาษ โดยการนำเทคโนโลยี Ultrasonic Beacon และ UHF RFID มาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของรถ Forklift ที่ถูกใช้งานอยู่ภายในคลังสินค้า ระบบระบุตำแหน่งของรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษนี้ ช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้ติดตามรถ Forklift ที่อยู่ภายในคลังสินค้าผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์ อีกทั้งสามารถมั่นใจได้ว่าม้วนกระดาษที่ต้องถึงมือลูกค้า จะมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยผลของการดำเนินงานระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพบรรลุวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ผู้วิจัยต้องการ

5.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ระบบติดตามรถ Forklift และม้วนกระดาษสามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่เกิดปัญหาทางเทคนิค เพียงแต่ถ้าสัญญาณ Wi-Fi หลุดขณะที่ผู้ทดสอบกำลังติดตามการเคลื่อนที่ของรถอยู่นั้น ทำให้หน้าจอที่กำลังรีโมทนั้นค้างไปจนกว่าคอมพิวเตอร์จะเชื่อมต่อสัญญาณ Wi-Fi จึงจะสามารถติดตามตำแหน่งของรถได้อีกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม ปัญหาที่เกิดขึ้นพบได้น้อยครั้ง จึงทำให้ระบบการติดตามตำแหน่งของรถขณะปฏิบัติการสามารถแสดงตำแหน่งของรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ถูกทดสอบทั้งเรื่องความถูกต้อง ความหน่วง และความครอบคลุมของสัญญาณของการระบุตำแหน่ง ทดสอบสถานะการหยิบจับม้วนกระดาษ อีกทั้งทดสอบการเก็บข้อมูลและรายงานผลการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถและการแจ้งเตือนกับการจัดการม้วนกระดาษของผู้ดูแลระบบ

5.1.1 การวิเคราะห์ด้านวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้

ปัจจุบันพนักงานจะเป็นผู้ขับรถ Forklift เพื่อเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์อย่างม้วนกระดาษจากที่เก็บไปยังจุดที่รถบรรทุกรอรับผลิตภัณฑ์อยู่ภายในโรงงาน ซึ่งพนักงานจะมีโอกาสในการเลือกหยิบม้วนกระดาษผิดประเภทแล้วนำไปขนส่งได้ อีกทั้งยังไม่มีระบบในการติดตามตำแหน่งรถ Forklift และม้วนกระดาษ พร้อมการระบุตัวตนของผลิตภัณฑ์ ที่กำลังถูกเคลื่อนย้ายอยู่ภายในโรงงาน จึงเกิดแนวคิดของการนำเทคโนโลยีระบุตำแหน่งจาก Ultrasonic Beacons และระบุตัวตน

จาก UHF RFID มาใช้ วิจัยนี้เลือกใช้อุปกรณ์ระบุตัวตนม้วนกระดาษที่มีเสาอากาศอยู่ภายในตัวจึงมีขนาดเล็กและราคาถูกสำหรับการนำมาใช้ในการวิจัย อีกทั้งผู้วิจัยยังเลือกใช้อุปกรณ์ระบุตำแหน่งที่สามารถเชื่อถือได้ แต่อุปกรณ์ ระบุตำแหน่ง Beacons จากคลื่นเสียง Ultrasonic นั้นยังมีอุปสรรคในเรื่องของการถูกรบกวนจากวัสดุที่ทำจากเหล็กภายในโรงงาน จึงอาจต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์ Beacon ให้มีความสามารถในการระบุตำแหน่งได้มากยิ่งขึ้นไป

5.1.2 การวิเคราะห์ด้านการออกแบบ

ระบบได้ถูกออกแบบมาให้สามารถรองรับการทำงานในการติดตามการเคลื่อนย้ายวัสดุหรือสินค้าต่างๆภายในอาคารได้ รองรับกับการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆได้ เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็กจึงสามารถนำไปติดตั้งโดยไม่กินพื้นที่บนรถที่ใช้เคลื่อนย้ายวัสดุสิ่งของ หากเกิดปัญหาที่อุปกรณ์ใด ผู้ใช้สามารถซื้อเปลี่ยนเฉพาะอันได้เพราะมีราคาถูก ผู้ใช้ในส่วนของผู้ดูแลระบบสามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชันรีโมทบนมือถือหรือโปรแกรมรีโมทบนคอมพิวเตอร์ เช่น VNC Viewer ได้ อีกทั้งผู้ใช้ในส่วนของผู้ปฏิบัติการขับรถสามารถทำงานได้ผ่านสัญญาณ Wifi จึงทำให้รับข้อมูลและดำเนินการย้ายของจากผู้ดูแลระบบได้อย่างรวดเร็ว แต่เนื่องจากระบบต้องทำงานผ่านสัญญาณ Wifi จึงอาจมีปัญหากับผู้ดูแลระบบเนื่องจากสัญญาณการติดตามที่ไม่ต่อเนื่อง แต่ในส่วนของผู้ปฏิบัติการขับรถจะยังสามารถทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นเมื่อสัญญาณ Wifi ของผู้ดูแลระบบกลับมาใช้ได้อีกครั้ง ผู้ดูแลระบบก็จะสามารถเห็นการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถได้อย่างทันเวลา (Real Time)

5.1.3 การวิเคราะห์ด้านความสามารถในการทำงานโดยรวมของระบบ

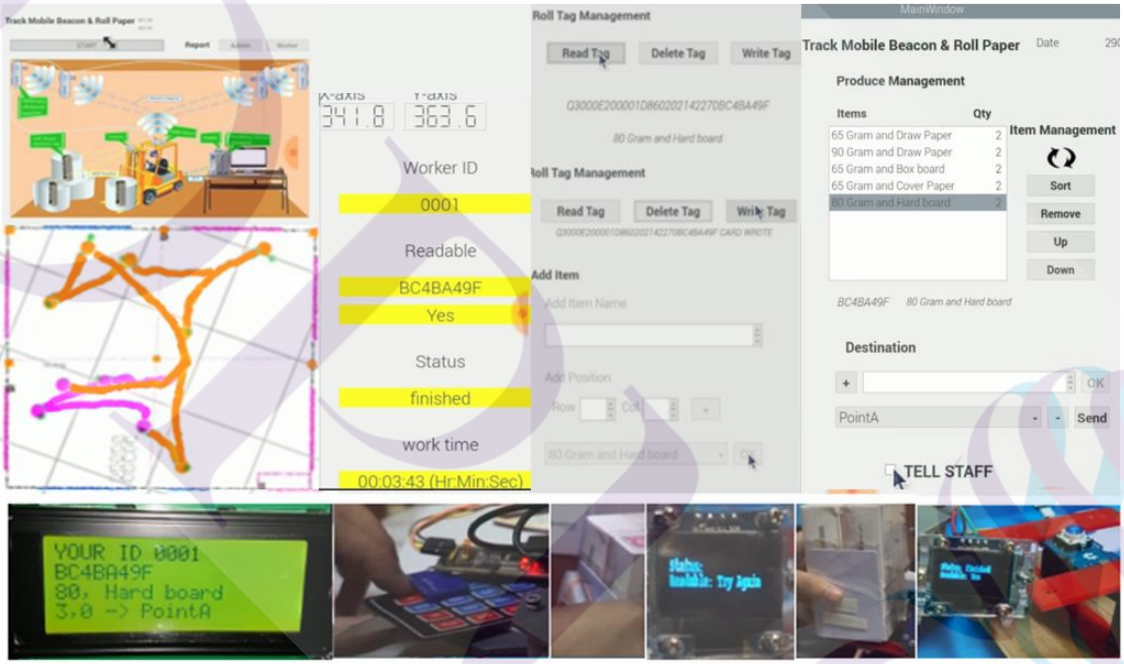
โดยรวมแล้วระบบตำแหน่งและระบุตัวตนม้วนกระดาษสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีลักษณะพิเศษอยู่ที่สามารถระบุตำแหน่งภายในอาคารได้มีระบบแจ้งคำสั่งจากผู้ดูแลมายังผู้ปฏิบัติการขับรถผ่านระบบ Wifi และผู้ดูแลระบบสามารถใช้คอมพิวเตอร์ โน้ตบุ๊ค หรือแม้กระทั่งโทรศัพท์มือถือในการจัดการม้วนกระดาษ การสั่งงานและติดตามการดำเนินงานของผู้ปฏิบัติการขับรถผ่านการรีโมทของอุปกรณ์ดังกล่าวได้ โดยสามารถดูสมรรถนะของระบบได้จากตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ความสามารถในการทำงานของระบบ

ความสามารถของอุปกรณ์	ระบบ Car Robot Track Trace & Manage	**หมายเหตุ**
สถานที่ใช้งาน	Indoor	ภายในคลังสินค้า, โรงงาน, ห้างสรรพสินค้า
ชุดควบคุม	Raspberry Pi 3 Model B	เป็นทั้งชุดควบคุมอุปกรณ์ และคอมพิวเตอร์ขนาดจิ๋วสำหรับให้ผู้ดูแลระบบรีโมทเข้ามาควบคุมระบบได้
เครือข่าย	Wi Fi, Ultrasonic, Radio Frequency	Wi Fi สำหรับผู้ดูแลระบบติดตามการทำงานของผู้ปฏิบัติการขับรถ
ระบบติดตามตำแหน่ง	Marvelmind Beacon	เป็นชุดบอกตำแหน่งภายในอาคาร ในชุดประกอบด้วย Mobile/Stationary Beacons และ Modem ทำงานผ่านคลื่นเสียง Ultrasonic
ระบบระบุตัวตนม้วนกระดาษ	FONKAN UHF RFID	ระบุตำแหน่งม้วนกระดาษจากระยะได้ไกลถึง 185-250 เซนติเมตร
ระบบป้อนข้อมูลเข้า	Graphic User Interface ของ PYQT5	ปุ่มบนหน้าจอสำหรับผู้ดูแลระบบ
	Groove Blue LED Button	ปุ่มสถานะการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษสำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถ
	Keypad Matrix 4x4	ปุ่มกดรหัสประจำตัวพนักงาน ปุ่มตกลง และปุ่มสแกนอ่านม้วนกระดาษ
ระบบแสดงผล	Graphic User Interface ของ PYQT5	หน้าจอสำหรับผู้ดูแลระบบในการติดตามตำแหน่งรถและม้วนกระดาษผ่านแผนที่และโปรแกรมระบบ
	LCD 20x4, OLED	หน้าจอสำหรับผู้ปฏิบัติการขับรถทั้งดูรหัส,ประเภท และตำแหน่งต้นทางของม้วนกระดาษ และตำแหน่งปลายทางที่ต้องนำม้วนกระดาษไปส่ง
ระบบจัดเก็บข้อมูล	Text File, CSV	ลง Micro SD card ใน Raspberry Pi
ระบบสั่งการ	Graphic User Interface ของ PYQT5 ผ่าน Raspberry Pi	ผู้ดูแลระบบสั่งการไปยังหน้าจอ LCD ที่อยู่บนรถ Forklift
ระบบจัดการม้วนกระดาษ	FONKAN UHF RFID and Roll with tag	ผู้ดูแลระบบจัดการสแกนเพื่อ อ่าน เพิ่ม ลบ ม้วนกระดาษที่เก็บอยู่ภายในระบบ

5.1.4 การวิเคราะห์ด้านความสามารถในการติดตามของระบบ Car Robot Track Trace & Manage

จากการทดสอบการติดตามตำแหน่งรถที่เคลื่อนที่อยู่ในภาพแผนที่ของสถานที่ทดสอบ จากภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าผู้ดูแลระบบสามารถมองเห็นตำแหน่งของรถผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์, โน้ตบุ๊ค หรือมือถือได้จากตำแหน่งที่ปรากฏบนแผนที่ดังกล่าว โดยมีความคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งไม่เกิน 2 เซนติเมตร ความหน่วงเวลาของตำแหน่งรถในแผนที่ที่กำลังติดตาม กับรถที่เคลื่อนที่อยู่จริงเพียง 1 วินาที สัญญาณคลื่นเสียง Ultrasonic ของบีคอนที่ติดรอบสถานที่ทดสอบสามารถส่งสัญญาณได้อย่างทั่วถึงหรือครอบคลุมสถานที่ทดสอบ



ภาพที่ 5.1 ระบบของ Car Robot Track Trace & Manage

นอกจากนั้น ระบบยังสามารถบอกสถานะการถือม้วนกระดาษของรถขณะกำลังเคลื่อนที่ อีกทั้งผู้ใช้ยังสามารถจัดการ, ติดตาม และดูรายงานสรุปการจัดการของม้วนกระดาษแต่ละประเภท และรายงานสรุปการทำงานของการเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษของผู้ใช้ร่วมที่ทำหน้าที่ขับรถเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษอีกคน

5.2 การบรรลุวัตถุประสงค์

1. สามารถระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์รถและระบุตัวตนม้วนกระดาษโดยใช้เทคโนโลยีบีคอนและ UHF อาร์เอฟไอดี ตามลำดับ

2. สามารถระบุสถานะของม้วนกระดาษว่ามีการหยิบบนรถหรือไม่

3. สามารถเก็บข้อมูลและแสดงผลตำแหน่งของรถและม้วนกระดาษต่างๆ

5.3 องค์ความรู้สำคัญ

นำเสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ทั้งเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีในการระบุเลขประจำตัวของม้วนกระดาษ พร้อมทั้งติดตามตำแหน่งโดยเทคโนโลยีบีคอนที่ประจำอยู่บนหุ่นยนต์รถ และเป็นต้นแบบของโรงงานกระดาษในการขนส่งเคลื่อนย้ายสินค้าด้วยรถ Forklift เพื่อรองรับเทคโนโลยีอุตสาหกรรมไทยแลนด์ 4.0 เรียนรู้และเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ในวิจัย

5.4 ข้อเสนอแนะแนวทางการพัฒนาต่อ

1. วิจัยนี้ไม่ได้มีการทดสอบตำแหน่งว่าการระบุตำแหน่งจากระบบนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เราติดตั้ง Stationary Beacons ทั้ง 3 ตัวที่กำแพงรอบห้องหรือไม่

2. คุณภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ที่ติดตั้งในเครื่องมือ Tracking อาจส่งผลต่อคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูล

3. วัสดุเหล็กที่อยู่ใกล้และความสูงของวัสดุสิ่งของที่อยู่ในโรงงาน อาจมีผลต่อการระบุตำแหน่ง

4. สามารถเพิ่มจำนวนตัว Mobile Beacon ตามจำนวนรถที่ต้องการติดตาม พร้อมปรับปรุงระบบให้สามารถติดตามรถมากกว่า 1 คัน ได้

5. สามารถพัฒนาในส่วนของความแม่นยำของการระบุตำแหน่ง ให้สามารถทนต่อการถูกรบกวนจากโลหะ และการบดบังจากผู้คน หรือ สิ่งของที่มีความสูงกว่า Mobile Beacon ที่ติดบนรถ Forklift

6. สามารถพัฒนาในส่วนของระบบการการจัดการม้วนกระดาษให้สามารถเก็บข้อมูลอื่นๆที่ต้องการได้มากขึ้น

7. สามารถพัฒนาการจัดเก็บข้อมูลม้วนกระดาษให้จัดเก็บผ่าน Cloud Database แทนการเก็บข้อมูลลง Text File ได้

8. สามารถพัฒนาในส่วนของการรับส่งข้อมูลม้วนกระดาษผ่าน Cloud ได้

9. สามารถนำความรู้เกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆไปประยุกต์ใช้ในการติดตามตำแหน่งและสถานะของรถ คน ด้านอื่น ๆ ได้

5.5 สรุปเนื้อหา

ระบบระบุตำแหน่งรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่เกิดปัญหาใดๆระหว่างการดำเนินงานของทั้งผู้ดูแลระบบและผู้ปฏิบัติการขับรถเคลื่อนย้ายม้วนกระดาษ จึงสามารถปฏิบัติงานได้อย่างต่อเนื่อง เพียงแต่อาจมีปัญหาถ้าสัญญาณเชื่อมต่อของ Wi-Fi หลุดชะงัก ทำให้ผู้ดูแลระบบขาดช่วงของการติดตามไปช่วงหนึ่งก่อนที่เครือข่ายจะสามารถเชื่อมต่อ Internet Wi-Fi ได้อีกครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม ระบบการติดตามตำแหน่งของรถขณะปฏิบัติการสามารถแสดงตำแหน่งของรถและระบุตัวตนม้วนกระดาษได้อย่างถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของผู้วิจัย อีกทั้งระบบก็ยังต้องได้รับการพัฒนาความสามารถให้มีมากยิ่งขึ้นต่อไป

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

บริษัท SC จำหน่าย รถเข็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. (2018). สืบค้นจาก https://www.shelf-truck.com/content/4802/.

(2019). *อุตสาหกรรมขนย้ายวัสดุ*. สืบค้นจาก https://www.daifuku.com/th/.

ภาษาต่างประเทศ

A. Al-Shaebi, N. Khader, H. Daoud, J. Weiss, and S. W. Yoon. (2017). The Effect of Forklift Driver Behavior on Energy Consumption and Productivity," Procedia Manuf.

A. Motroni et al. (2018). SAR-Based Indoor Localization of UHF-RFID Tags via Mobile Robot. in IPIN 2018 - 9th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation.

A. Pal and K. Kant. (2017). Magnetic Induction Based Sensing and Localization for Fresh Food Logistics. in Proceedings - Conference on Local Computer Networks LCN.

Dfrobot. (2020). *I2C 20x4 Arduino LCD Display Module*. สืบค้นจาก https://www.dfrobot.com/product-590.html.

DIYmall. (2019). *DIYmall 0.96" Inch I2c IIC Serial 128x64 OLED LCD LED Display Module*. สืบค้นจาก https://www.amazon.com/DIYmall-Serial-128x64-Display-Arduino/dp/B00O2KDQBE.

D. Schwesinger and J. Spletzer. (2016). A 3D approach to infrastructure-free localization in large scale warehouse environments. in IEEE International Conference on Automation Science and Engineering.

E. Digiampaolo and F. Martinelli. (2018). A Robotic System for Localization of Passive UHF-RFID Tagged Objects on Shelves. IEEE Sens. J.

E. J. Jung, J. Y. Choi, S. H. Hong, and G. Chung. (2016). Localization for an unmanned forklift in a refrigerated warehouse. in 2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, URAI .

H. Cho, D. Kim, J. Park, K. Roh, and W. Hwang. (2018). 2D Barcode Detection using Images for Drone-assisted Inventory Management. in 2018 15th International Conference on Ubiquitous Robots, UR.

J. He, W. Xu, and P. K. Chen. (2018). Using the Beacon Eechnology on Improvement of Inventory and Logistics Curriculum Training," in 1st IEEE International Conference on Knowledge Innovation and Invention, ICKII.

Kevin Shao. (2019). FM-505 uhf rfid integrated module.

L. Zitzman. (2018). 10 Common Forklift Types, Classifications and Uses.

Marvelmind Indoor Navigation System Operating manual (2018). สืบค้นจาก marvelmind.com.

NT Work Safe. (2018). Forklift safety – reducing the risks - NT WorkSafe. Australia.

P. R. Teja and A. A. N. Kumaar. (2018). QR Code based Path Planning for Warehouse Management Robot," in 2018 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI.

Reliableplant. (2018). 5 Warehouse Safety Hazards and How to Prevent Them," Noria.

Seeedstudio. (2020). *Grove - LED Button*. สืบค้นจาก https://wiki.seeedstudio.com/Grove-LED_Button.

Sunroom. (2020). *Matrix Keypad 4x4, Membrane type, Self Adhesive*. สืบค้นจาก https://www.sunrom.com/p/matrix-keypad-4x4-membrane-type-self-adhesive.

T. Babik, H. Milosiu, and F. Oehler. (2017). Ultra-Low-Power Quantized-RSSI-based Localization Using Wake-Up Receivers. in Smart SysTech 2017, June 20 – 21, 2017 in Munich, Germany.

The Latest DARR News. (2018). THE LATEST TRENDS IN NEW FORKLIFT TECHNOLOGY.

U. Behrje, M. Himstedt, and E. Maehle. (2018). An Autonomous Forklift with 3D Time-of-Flight Camera-Based Localization and Navigation. in 2018 15th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision, ICARCV.

W. Ye, X. Fan, and J. Tang. (2018). Real time UGV positioning based on Reference beacons aided LiDAR scan matching," in Proceedings of 5th IEEE Conference on Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services, UPINLBS..

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวกวิสรา บุญจันทร์
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน พ.ศ. 2557
ผลงานทางวิชาการ	บทความวิจัยเรื่อง “การติดตามตำแหน่งของหุ่นยนต์และการระบุตัวตนของสินค้าด้วยบีคอนแบบคลื่นเสียงและอาร์เอฟไอดี” การประชุมวิชาการระดับชาติด้านเทคโนโลยี : 2019 21st Digital Technology for Sustainable Wellbeing and Smart Society