

การพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ
PROTOTYPE DEVELOPMENT OF
AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)



นายกิตติกุล เบ็ญจะมาศ
MR. KITTKUL BENJAMAS

นางสาวชนิตา ธนาภีวัฒนกูร
MS. CHANITA TANAPIVATTANAKOOR

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)



MR. KITTIKUL BENJAMAS

MS. CHANITA TANAPIVATTANAKOOR

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN
PRODUCTION DESIGN AND MATERIALS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ
PROTOTYPE DEVELOPMENT OF
AUTOMATED GUIDED VEHICLE (AGV)

นักศึกษา นายกิตติกุล เบ็ญจะมาศ รหัสประจำตัว 59010108
นางสาวชนิตา ธนาภิวัฒน์กูร รหัสประจำตัว 59010282

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์


(ผศ.ดร.อุดม จันทรจักร์สุข)

หัวข้อปริญญานิพนธ์

การพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ

นักศึกษา

นายกิตติกุล เบ็ญจะมาศ

นางสาวชนิตา ธนาภิวัฒน์นุร

หลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมออกแบบการผลิตและวัสดุ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา

2562

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ผศ.ดร.อุดม จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาระบบของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (AGV) ที่มีข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ไม่สามารถทำงานได้อย่างอิสระ รถขนถ่ายวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ถูกจำกัดไว้ และไม่เหมาะสมสำหรับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ต้องใช้เวลาและต้นทุนจำนวนมากสำหรับการกำหนดเส้นทางใหม่ให้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางตามระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม เน้นการออกแบบและพัฒนาในระบบภายในของรถขนถ่ายวัสดุ เริ่มจากการออกแบบระบบการทำงานให้รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติสามารถขับเคลื่อนได้ทุกทิศทางในพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่จำกัด มีระบบการสื่อสารผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณแบบไร้สาย สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวาง หลีกเลี่ยงการชนกับวัตถุที่ขวางเส้นทางเคลื่อนที่ หาเส้นทางในการเคลื่อนที่ไปยังสถานีงานตามคำสั่งที่ได้รับ และระบุตำแหน่งของรถขนถ่ายวัสดุได้ในขณะที่กำลังปฏิบัติงาน ผลจากการนำระบบที่ออกแบบไว้มาใช้กับต้นแบบของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ทำให้สามารถแก้ปัญหาเส้นทางที่ถูกจำกัดไว้ของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ หลีกเลี่ยงการชนกับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทางที่ต้องการแม้เป็นพื้นที่ที่มีสภาพแวดล้อมที่จำกัด

Thesis Title	Prototype Development of Automated Guided Vehicle (AGV)
Student	Mr. Kittikul Benjamas Ms. Chanita Tanapivattanakoor
Degree	Bachelor of Engineering in Production Design and Materials Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof. Dr. Udom Janjarassuk

ABSTRACT

This research aims to solve problem of automated guided vehicle (AGV) that has limitations in movement and cannot work independently. Automated guided vehicles in general industrial plants are move along fixed path and not suitable for flexible manufacturing system. It takes a lot of time and cost for routing new path for automated guided vehicle. The objective of this research is to create a prototype of automated guided vehicle that can change route according to flexible manufacturing system in industrial plants. This study focus on design and development of automated guided vehicle. Starting by design of mechanical systems for the automated guided vehicle to move in all directions in limited environment. There is a communication system through wireless signal transmission device. It can detect obstacles and avoid collisions with objects in the path during movement. It can find the path between workstations as instructed or specified by the coordinates of the automated guided vehicle while in operation. The designed system used in the prototype of the automated guided vehicle makes it possible to find route that is restricted for automated guided vehicle. It can avoid collisions with objects or obstructions and can move in all directions in limited environment.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ” สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุดม จันจรัสสุข อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์และคณะกรรมการการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดีมาโดยตลอด หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้วิชาการต่าง ๆ เพื่อให้ผู้วิจัยถึงพร้อมทั้งความรู้และสามารถนำความรู้ที่ได้รับมาจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง

ท้ายที่สุดเหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนช่วยเหลือในทุกด้าน จนกระทั่งประสบความสำเร็จได้ในวันนี้ ขอขอบพระคุณที่ท่านให้การอบรม สั่งสอน และสนับสนุนในทุกกิจกรรมตลอดมา

นายกิตติกุล เบ็ญจะมาศ

นายชนิตา ธนาภีวัฒนกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 นิยามคำศัพท์	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบขับเคลื่อน	5
2.1.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์.....	7
2.2 ระบบนำร่อง.....	10
2.2.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์.....	10
2.3 ระบบการสื่อสาร.....	15
2.3.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์.....	15
2.4 ระบบความปลอดภัย.....	17
2.4.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์.....	17
2.5 ระบบการจัดการพลังงาน.....	17
2.5.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์.....	18

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การกำหนดพื้นที่ทำการทดสอบและออกแบบสถานงานจำลองสำหรับ การทดสอบรถ AGV	22
3.1.1 การกำหนดสถานที่ทำการทดสอบ.....	22
3.1.2 การวัดพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ	23
3.1.3 การออกแบบผังโรงงานจำลองสำหรับทดสอบในพื้นที่ที่กำหนด.....	23
3.2 การออกแบบและกำหนดลักษณะจำเพาะให้กับรถ AGV	24
3.2.1 การออกแบบระบบและกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในรถ AGV	25
3.3 การทดสอบระบบขับเคลื่อน.....	32
3.4 การทดสอบระบบนำร่อง	38
3.4.1 การติดตั้งตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi.....	40
3.4.2 การตรวจรับค่าสัญญาณ Wi-Fi.....	41
3.4.3 การคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างตัวกระจายและตัวรับสัญญาณ จากค่าความแรงของสัญญาณ.....	41
3.4.4 การคำนวณหาค่าพิกัดจากระยะทางระหว่างตัวกระจายสัญญาณ และตัวสัญญาณ Wi-Fi	46
3.4.5 การเขียนโปรแกรมเพื่อออกคำสั่งให้กับรถ AGV	48
3.4.6 การใช้ LIDAR VL53L1X เพื่อหาเส้นทางให้กับรถ AGV	49
3.5 การทดสอบระบบการสื่อสาร.....	50
3.6 การทดสอบระบบความปลอดภัย	52
3.7 การทดสอบระบบการจัดการพลังงาน	53

บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ระบบขับเคลื่อน.....	55
4.2 ระบบนำร่อง.....	57
4.3 ระบบการสื่อสาร	58

สารบัญ

	หน้า
4.4 ระบบความปลอดภัย.....	61
4.5 ระบบการจัดการพลังงาน.....	62
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลงานดำเนินงานวิจัย.....	63
5.1.1 ระบบขับเคลื่อน.....	63
5.1.2 ระบบนำร่อง.....	64
5.1.3 ระบบการสื่อสาร.....	64
5.1.4 ระบบความปลอดภัย.....	64
5.1.5 ระบบการจัดการพลังงาน.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
เอกสารอ้างอิง.....	67

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่แต่ละชนิด	19
ตารางที่ 3.1 ค่า K เฉลี่ยเทียบกับระยะทางจริง.....	44
ตารางที่ 4.1 การทดสอบความเร็วของรถต่อน้ำหนักที่บรรทุก.....	55
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดจริงและค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณ.....	57



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา	6
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับวัตถุ	6
รูปที่ 2.3 หลักการ Time Of Flight (TOF)	10
รูปที่ 2.4 ชนิดของ LIDAR ที่เลือกใช้และระยะในการยิงเลเซอร์	11
รูปที่ 2.5 UART Serial Communication.....	16
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นพลังงานของขนาดและน้ำหนักแบตเตอรี่แต่ละชนิด ...	20
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ 3S 10A 12V 18650 Lithium Battery Charger Board Protection Modul	21
รูปที่ 3.1 แผนผังโรงงานจำลองของรถ AGV	24
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของรถ AGV.....	25
รูปที่ 3.3 ภาพ Step motor 42SHDC3025-24B	26
รูปที่ 3.4 รายละเอียดการออกแบบ Mecanum wheel สำหรับต้นแบบรถ AGV	26
รูปที่ 3.5 รายละเอียดการออกแบบ Roller	27
รูปที่ 3.6 การประกอบล้อ Mecanum wheel สำหรับต้นแบบรถ AGV	27
รูปที่ 3.7 รายละเอียดการออกแบบลูกรอก (Pulley) 25 ฟัน สวมที่แกนของมอเตอร์ สำหรับทดแรง	28
รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ LIDAR VL53L1X.....	29
รูปที่ 3.9 อุปกรณ์เพื่อใส่ LIDAR : VL53L1X และ สวมเข้ากับแกนของ Servo Motor : SG90	29
รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อระหว่าง NodeMCU ESP8266 กับ LIDAR: VL53L1X และ Servomotor: SG90	30
รูปที่ 3.11 Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor (HMC5883L).....	30
รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อ HMC5883L กับ Arduino Nano.....	31
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ NodeMCU ESP8266.....	31
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module.....	31
รูปที่ 3.15 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650	32

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการซอฟต์แวร์และเวลา.....	33
รูปที่ 3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการซอฟต์แวร์และเวลา	34
รูปที่ 3.18 การเขียนสมการการ Soft Start ในโปรแกรม Arduino IDE.....	35
รูปที่ 3.19 การเขียนคำสั่งการทำงานของมอเตอร์แบบ Soft Start	35
รูปที่ 3.20 การเขียนสมการการ Soft Stop ในโปรแกรม Arduino IDE.....	36
รูปที่ 3.21 การเขียนคำสั่งการทำงานของมอเตอร์แบบ Soft Stop	36
รูปที่ 3.22 ตำแหน่งของล้อ X, Y, Z, A	37
รูปที่ 3.23 ตำแหน่งและการกระจายของตัวสัญญาณ Wi-Fi.....	39
รูปที่ 3.24 การแบ่งสัดส่วนช่องพิกัดในบริเวณพื้นที่ทดลอง.....	40
รูปที่ 3.25 ตำแหน่งตัวกระจายสัญญาณสัญญาณ Wi-Fi.....	40
รูปที่ 3.26 ตำแหน่งของตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi และ ตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลสัญญาณ	41
รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงจากตัวกระจายสัญญาณถึงตัวรับสัญญาณ กับค่า K เฉลี่ยทั้ง 10 ตำแหน่ง.....	45
รูปที่ 3.28 ระยะห่างระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวกระจายสัญญาณ	46
รูปที่ 3.29 แผนผังลำดับการทำงานของโปรแกรมเพื่อหาพิกัดให้รถ AGV	48
รูปที่ 3.30 การเขียนคำสั่งแสดงค่าระยะทาง แสดงผ่านทาง Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE.....	49
รูปที่ 3.31 การเชื่อมต่ออนุกรม UART หรือ UARST ของ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO R3 เชื่อมติดกับ CNC shield ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน	50
รูปที่ 3.32 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบการสื่อสาร (Communication system)	51
รูปที่ 3.33 การเชื่อมต่อระหว่าง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module และ NodeMCU ESP8266	52
รูปที่ 3.34 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 จำนวน 6 ก้อน ต่อเข้ากับ 3S 10A 12V 18650 Lithium Battery Charger Board Protection Module	54

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 4.1 ผลการเคลื่อนของรถ AGV ตามทิศทางการหมุนของล้อที่ทำการทดสอบ.....	56
รูปที่ 4.2 การส่งข้อมูลจาก NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino UNO R3.....	58
รูปที่ 4.3 การเขียนโปรแกรมเพื่อใส่ชื่อและรหัสผ่านของ Wi-Fi ที่ต้องการใช้ในการเปิด Web Server.....	58
รูปที่ 4.4 การส่งงานแสดงผลผ่านทาง Serial Monitor.....	59
รูปที่ 4.5 Web Server ที่ใช้ในการควบคุมรถ AGV.....	59
รูปที่ 4.6 กดปุ่มสั่งงานรถ AGV ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward).....	60
รูปที่ 4.7 โปรแกรมการส่งข้อมูลที่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ตรวจจับวัตถุ เป็นค่า 0 กับ 1 ผ่านทาง Serial Port และแสดงค่าผ่านทาง Serial monitor.....	61
รูปที่ 4.8 หลอดไฟ LED ของ ที่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module เมื่อไม่มี และมีวัตถุอยู่ทางด้านหน้าตัวรถ AGV.....	62

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียด ขอบเขต และคำจำกัดความของงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

- 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา
- 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา
- 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์
- 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- 1.5 นิยามคำศัพท์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคของอุตสาหกรรม 4.0 หรือยุคแห่งการผลิตสมัยใหม่ เกิดการผลิตสินค้าต่างๆ มากขึ้นอย่างหลากหลาย ผลิตภัณฑ์ได้มีการกระจาย ส่งออกและจัดจำหน่ายไปตามที่ต่างๆ ทั่วโลก ทำให้อุตสาหกรรมโลจิสติกส์ได้เข้ามามีบทบาทในระบบการผลิตโดยเฉพาะในคลังสินค้าของโรงงาน เนื่องจากมีการขนย้ายสินค้าอยู่ตลอดเวลา ในบริเวณพื้นที่ของการขนย้ายสินค้าที่หลากหลายและซับซ้อนทั้งสินค้าขาเข้าและขาออก ย่อมมีโอกาสเกิดปัญหาและความผิดพลาดในการขนย้ายสินค้า และเพื่อลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดนี้ลง โรงงานอุตสาหกรรมแต่ละแห่งจึงได้นำระบบการจัดการการเคลื่อนย้ายสินค้าแบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยเหลือและสนับสนุนการทำงานเพื่อลดเวลา ลดต้นทุนและลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดในการขนย้ายสินค้า รวมทั้งเพื่อป้องกันความผิดพลาดที่เกิดจากการขนย้ายสินค้าโดยมนุษย์ หนึ่งในระบบการจัดการการเคลื่อนย้ายสินค้าแบบอัตโนมัติ นั่นก็คือ Automated Guided Vehicle (AGV) หรือ รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ [1]

AGV เป็นพาหนะที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายวัสดุหรือสินค้าแบบอัตโนมัติที่ใช้งานสะดวก มีความปลอดภัยสูง สามารถทำงานได้อย่างแม่นยำและสม่ำเสมอ ลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดได้มากเมื่อเทียบกับมนุษย์ เพราะ AGV ไม่มีความผิดพลาดที่เกิดจากความเหนื่อยล้าเหมือนกับมนุษย์ โดยทั่วไป AGV มีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการสร้างขึ้นเป็นตัวรถ โดยมีส่วนประกอบหลักของชุดต้นกำลัง คือ มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อน แบตเตอรี่ ซึ่ง AGV มีแบตเตอรี่อยู่หลายชนิดใช้เพื่อเป็นพลังงานและชุดควบคุม

มักจะใช้คอมพิวเตอร์หรือ On-Board Controller เพื่อเป็นหน่วยประมวลผลและจัดการระบบของ AGV [2]

นอกจากนี้ AGV ยังมีระบบสำคัญอื่นๆที่ใช้ในการทำงาน คือ 1.) ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system) เป็นระบบที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถ AGV ให้ไปตามทิศทางและตำแหน่งที่เรากำหนด 2.) ระบบการนำร่อง (Navigation System) [2] เป็นระบบที่ใช้เพื่อการระบุตำแหน่งของ AGV ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการใช้งานของ AGV 3.) ระบบการสื่อสาร (Communication System) [2] เป็นระบบพื้นฐานของ AGV เพื่อใช้ในการสื่อสารหรือป้อนคำสั่งเพื่อให้ AGV เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการผ่านเครือข่ายทางกายภาพ (Physical Network) [2] ซึ่งมีตัวควบคุมหลักเชื่อมต่อและทำการสื่อสารกับระบบเครือข่ายงานบริเวณเฉพาะที่ (Ethernet) [2] หรืออาจเชื่อมต่อและสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆที่เป็น Protocol รูปแบบต่าง ๆ เช่น Modbus, Controller Area Network (CAN) และ OLE For Process Control (OPC) [2] เป็นต้น อุปกรณ์บางชนิดจะทำการสื่อสารผ่านระบบ Digital I/O แต่ส่วนใหญ่จะนิยมใช้ Wi-Fi ในการสื่อสารและควบคุมการทำงานของ AGV 4.) ระบบความปลอดภัย (Safety System) ซึ่งเป็นระบบที่ช่วยป้องกันหรือหลีกเลี่ยงการเกิดอันตราย เช่น การชนกับสิ่งของหรือคนงานที่อยู่ในบริเวณนั้น 5.) ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) เป็นระบบที่ทำงานเมื่อ AGV ต้องการพลังงานในการขับเคลื่อนเมื่อพลังงานที่มีใกล้หมด ระบบนี้อาจถูกออกแบบมาให้ AGV เคลื่อนที่ไปยังจุดชาร์จตัวเองเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมดโดยอัตโนมัติหรือทำการชาร์จแบตเตอรี่แบบ Manual

จากการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ AGV พบว่าในปัจจุบัน AGV ที่ใช้ตามโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้ระบบการนำร่องแบบ Magnetic Navigation [3] และระบบนำร่องแบบ Wire Guidance [4] เป็นวิธีการที่ใช้แทปแม่เหล็กและลวดตัวนำติดไว้ที่พื้นเพื่อสร้างเส้นทางให้ AGV เคลื่อนที่ไปตามแทปแม่เหล็กหรือลวดตัวนำโดยใช้ Sensor ซึ่งเป็นระบบนำร่องที่ให้ความถูกต้องในการทำงานเพราะวางเส้นทางในการเคลื่อนที่สำหรับ AGV ไว้อย่างชัดเจนและสามารถระบุตำแหน่งของ AGV ได้ค่อนข้างชัดเจน แต่ข้อเสียคือการวางเส้นทางไว้อย่างตายตัวนั้นไม่เหมาะสมกับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ต้องทำการปรับเปลี่ยนสายการผลิตอยู่ตลอด ทำให้การปรับเปลี่ยนเส้นทางของ AGV ที่ใช้แทปแม่เหล็กหรือลวดตัวนำทำได้ยาก มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนค่อนข้างนาน อีกทั้งในกรณีที่มีคนหรือวัตถุมาขวางเส้นทาง เมื่อ AGV เคลื่อนที่มาถึงจุดนั้นอาจทำให้การทำงานขัดข้อง แม้แต่ในกรณีที่แม่เหล็กหรือลวดตัวนำที่เป็นเส้นทางเกิดการชำรุดก็อาจทำให้ AGV หยุดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทางทำให้เกิดความผิดพลาด อาจส่งผลให้ระบบการขนย้ายวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรมเกิดความล่าช้าและส่งผลกระทบต่อระบบการผลิตทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามความต้องการ

การหาวิธีหลีกเลี่ยงปัญหาในการรื้อถอนเส้นทางที่เป็นแม่เหล็กหรือลวดตัวนำรวมทั้งเป็นการแก้ปัญหาในกรณีที่แม่เหล็กหรือลวดตัวนำที่เป็นเส้นทางเกิดการชำรุดเสียหาย ลดเวลาในการผลิตและขนย้ายสินค้า ลดค่าใช้จ่ายจากการปรับเปลี่ยนสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมและเมื่อเกิดปัญหาในกรณีที่คนหรือวัตถุมาขวางเส้นทาง โครงการนี้ จึงมีจุดมุ่งหมายในการสร้างต้นแบบของ AGV ที่สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทำงานได้ตามระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยใช้ระบบการนำร่องแบบเลเซอร์ (Laser Navigation) ด้วยอุปกรณ์ Sensor ที่วัดระยะการเดินทางของแสงไปยังวัตถุเป้าหมาย ที่เรียกว่า Light Detection and Ranging (LIDAR) [5] ซึ่งสามารถนำมาใช้สร้างข้อมูลแผนที่บนพื้นที่การทำงาน อีกทั้งยังสามารถช่วยระบุตำแหน่งให้กับ AGV สร้างระบบความปลอดภัยโดยการติดตั้ง Infrared Sensor ไว้รอบตัวรถเพื่อป้องกันการชนกับวัตถุหรือสถานีงาน ในกรณีที่มีวัตถุขวางเส้นทางอยู่นานเกินกว่าเวลาที่กำหนด AGV จะสามารถหาเส้นทางใหม่ในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้ ใช้ระบบการสื่อสารกับ AGV ผ่านสัญญาณ Wi-Fi รวมทั้งใช้สัญญาณ Wi-Fi เพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของ AGV นอกจากนี้ต้นแบบของ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทางโดยใช้ล้อแบบ Mecanum Wheel ที่เหมาะสำหรับการเคลื่อนที่ในพื้นที่ที่มีบริเวณจำกัด สามารถเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งเพื่อขนย้ายสินค้าระหว่างสถานีงานได้เหมือนกับ AGV ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1. เพื่อสร้างต้นแบบของ AGV ที่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางตามระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อออกแบบระบบนำร่อง (Navigation) ระบบการสื่อสาร (Communication) และสามารถระบุตำแหน่งของ AGV ได้
3. เพื่อออกแบบต้นแบบของ AGV ที่สามารถขับเคลื่อนได้ทุกทิศทางให้เหมาะกับการเคลื่อนที่ในที่คับแคบ หรือมีพื้นที่ของการทำงานที่จำกัด
4. เพื่อออกแบบต้นแบบของรถ AGV ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ทำการทดลองระบบของต้นแบบรถ AGV และสร้างข้อมูลแผนที่บนระนาบ 2 มิติ ที่มีพื้นที่เท่ากับชั้น 1 ของตึกภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. สามารถค้นหาเส้นทางใหม่ได้ 1 เส้นทางเมื่อมีสิ่งกีดขวาง ขวางเส้นทางที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

3. ต้นแบบของรถ AGV มีขนาด 30x40x25 เซนติเมตร สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นต้นแบบ AGV ที่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางตามระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการช่วยลดเวลาและลดค่าใช้จ่าย
2. เป็นต้นแบบ AGV อัจฉริยะที่สามารถแก้ไขปัญหาในกรณีที่คนหรือวัตถุมาขวางเส้นทางการเคลื่อนที่ของ AGV โดยการหาเส้นทางใหม่ได้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้จริงและช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความปลอดภัยในระบบการขนย้ายวัสดุที่หลากหลายและซับซ้อนในระบบการผลิต
4. เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตและขนส่งสินค้า

1.5 นิยามคำศัพท์

1. รถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle : AGV) หมายถึง รถลำเลียงสินค้าอัตโนมัติไร้คนขับโดยใช้แถบแม่เหล็ก วิชั่น หรือเลเซอร์ เป็นตัวบอกทิศทางให้กับรถเวลาเคลื่อนที่
2. เทคโนโลยี LIDAR (Light Detection and Ranging : LIDAR) หมายถึง อุปกรณ์ Sensor ที่วัดระยะการเดินทางของแสงไปยังวัตถุเป้าหมาย
3. ล้อขับเคลื่อนทุกทิศทาง (Mecanum Wheel) หมายถึง ล้อที่เกิดจากการนำเอาลูกกลิ้งมาจัดเรียงรอบแกนเพลลาทำมุม 45 องศา กับการหมุนของแกนเพลลา โดยเป็นการทำงานร่วมกันของทั้งลูกกลิ้งที่วางรอบแกนเพลลา และการหมุนของเพลลาหลักไปพร้อมๆ กัน ทำให้สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง

บทที่ 2

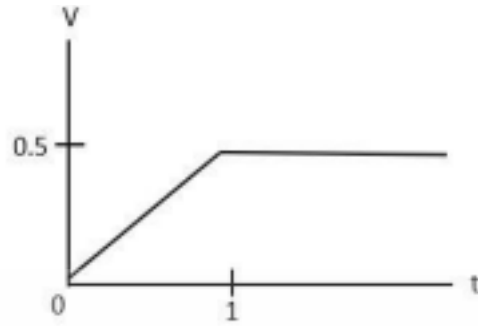
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบของรถ AGV ได้มีการออกแบบมาเพื่อรองรับน้ำหนักของสินค้าหรือวัตถุดิบที่มีน้ำหนักไม่เกิน 5 กิโลกรัมต่อการขนส่งหรือเคลื่อนย้ายในแต่ละรอบ เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 0.5 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเป็นต้นแบบที่ใช้ในการทดลองในพื้นที่ทดลองขนาดจำกัด ขนาดของรถ AGV จึงมีขนาด 30x40x25 เซนติเมตร เพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่จะใช้ในการทดลอง ลักษณะของล้อรถเป็นแบบ Mecanum wheel โดยมีล้อหลักทั้งหมด 4 ล้อ ขนาดของล้อมีรัศมี 4 เซนติเมตรเชื่อมติดกับลูกรอก (Pulley) หนึ่งด้าน และมี roller 8 roller ต่อหนึ่งล้อในลักษณะเรียงรอบแกนเพลาทำมุม 45 องศา ขนาดของ roller รัศมี 0.85 เซนติเมตร วัสดุที่ใช้ในการทำล้อคือ Polylactic acid (PLA) สร้างขึ้นโดย 3D Print ในลักษณะการสร้างแบบ Gyroid ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงสามารถรับแรงได้มาก และมีการใส่ยางให้กับ roller ทุกชิ้นเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานและประสิทธิภาพในการยึดเกาะพื้นหรือถนน แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรถ AGV สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับระบบต่างๆภายในรถ AGV ดังนี้

- 2.1 ระบบขับเคลื่อน
- 2.2 ระบบการนำร่อง
- 2.3 ระบบการสื่อสาร
- 2.4 ระบบความปลอดภัย
- 2.5 ระบบการจัดการพลังงาน

2.1 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system) ของรถ AGV ใช้ Stepping motor ในการขับเคลื่อนควบคุมการทำงานจาก CNC SHIELD DIVER A4988 โดยใช้การป้อนคำสั่งจากโปรแกรม Arduino Uno R3 ระบบขับเคลื่อนตัวรถ สามารถขับเคลื่อนได้ 8 ทิศทาง ในการคำนวณหาทอร์ก (Torque) จากความเร็วที่กำหนดเพื่อใช้ในการหาค่าทอร์กของการหมุนมอเตอร์ สามารถหาได้จากสมการ $\text{torque} = Fr$ (เมื่อ F คือ แรง ; Newton และ r คือ รัศมีสมการความเร็ว $V = U + at$ (เมื่อ U = ความเร็วต้น ; m/s $V =$ ความเร็วปลาย ;m/s)



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและเวลา

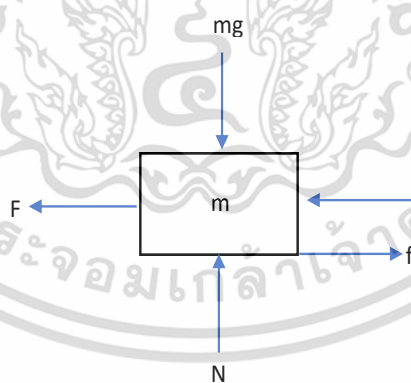
กำหนดค่าความเร็วที่ต้องการเท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที ($V=0.5 \text{ m/s}$) แทนลงใน สมการ $V = U + at$ จะได้ว่า $a = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$

$$V = U + at \quad (2.1)$$

$$0.5 = 0 + (a \times 1)$$

$$a = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$$

จากค่าความเร่งที่ได้นำไปแทนค่าในสมการ $\Sigma F = ma$ เพื่อหาค่าแรงทั้งหมดที่ต้องใช้ในการขับเคลื่อนรถ



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของแรงที่กระทำกับวัตถุ

จากรูปความสัมพันธ์สามารถนำมาเขียนสมการความสัมพันธ์จากกฎข้อที่สองของนิวตันได้ ดังนี้

$$F = ma \quad (2.2)$$

$$F = F + f \quad (2.3)$$

$$F = ma + \mu N \quad (2.4)$$

$$F = (10 \times 0.5) + (0.2 \times 100)$$

$$F = 25 \text{ Newton}$$

**เมื่อ $N = mg$ ($m =$ มวลของวัตถุ; $g =$ ค่าแรงโน้มถ่วงโลก $\approx 10 \text{ m/s}^2$)

เมื่อได้ค่าแรงทั้งหมดที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถ สามารถนำไปแทนค่าในสมการเพื่อหาแรงทั้งหมดที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ สมการในการหาค่าแรงหมุนมอเตอร์หาได้จากสมการของทอร์ก (Torque) เมื่อรัศมีของล้อมีขนาด 4 เซนติเมตร

$$\text{Torque} = Fr \quad (2.5)$$

$$\text{Torque} = 25 \times 4$$

$$\text{Torque} = 100 \text{ N} \cdot \text{Cm}$$

จากการทดสอบมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเป็นแบบ Bipolar (2 ขั้ว) ได้ค่า Torque จากการทดสอบเท่ากับ $24 \text{ N} \cdot \text{Cm}$ ต่อหนึ่งขั้ว เพราะฉะนั้น มอเตอร์หนึ่งตัวมีค่า Torque = $48 \text{ N} \cdot \text{Cm}$ (2 ขั้ว) เมื่อเทียบกับค่า Torque ที่ได้จากการคำนวณ ค่า Torque ที่ได้จากการทดสอบมีค่าเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของค่า Torque ที่คำนวณได้ในระบบขับเคลื่อนจึงจำเป็นต้องทำการทดแรงเพื่อให้ค่า Torque ตามค่าที่คำนวณได้

การทดแรงที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน ใช้วิธีการเสริมลูกรอก (Pulley) ขนาด 25 ต่อ 50 ฟัน ในการทดแรงเพื่อให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ตามความเร็วที่ต้องการ

ในระบบขับเคลื่อน พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนถือเป็นสิ่งสำคัญมากและควรเลือกใช้ให้เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่ดี การหาขนาดของแบตเตอรี่ที่สามารถจ่ายพลังงาน จ่ายแรงดัน และทำให้รถ AGV สามารถขับเคลื่อนได้ในเวลา 1 ชั่วโมง ต้องใช้การเลือกจากข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์

2.1.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์

2.1.1.1 มอเตอร์

มอเตอร์ (Motor) หลักแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Servo-motor และ Stepping-motor

1. Servo Motor

มอเตอร์แบบ Servomotor ใช้หลักการ Synchronous ควบคุมแบบ Close-loop และใช้ Encoder เป็นตัวบ่งตำแหน่งของโรเตอร์กลับมายัง servo drive หรือ servo amplifier โครงสร้าง Servo Motor จะมีขดลวดพันที่สเตเตอร์ คล้ายกับ 3 phase synchronous motor เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน ส่วนโรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet) จะวิ่งตามสนามแม่เหล็กหมุน

2. Step-motor

มอเตอร์แบบ Stepping-motor ใช้หลักการ Synchronous ควบคุมแบบ Open-loop มีการจ่ายไฟเป็น step ทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กแล้วให้โรเตอร์ซึ่งเป็นแม่เหล็กวิ่งตาม การทำงานจะเป็น step ความละเอียดขึ้นอยู่กับจำนวน step (full-step, Haft-step, Micro-step) [6]

เหตุผลที่เลือกใช้ Stepping-motor ในการควบคุมรถ AGV เนื่องจากการทำงานของ Stepping-motor เป็นการทำงานแบบ Open-loop [6] ที่ได้ผลลัพธ์ทันทีโดยไม่มี Feedback ส่งกลับมา อุปกรณ์ที่ใช้ทำงานร่วมกับมอเตอร์จึงมีน้อยและไม่ซับซ้อนเท่า Servo-motor อีกทั้งยังง่ายต่อการควบคุมทิศทางและการขับเคลื่อนมอเตอร์ การเลือกมอเตอร์ในการทำงานนั้นต้องพิจารณาถึงความต้องการ Torque ความเร็ว ความคล่องตัวในการใช้งาน น้ำหนักที่ต้องแบกรับ ต้นทุน และข้อจำกัดเรื่องขนาดของมอเตอร์

มอเตอร์ที่เลือกใช้ในการขับเคลื่อนรถ AGV ในโครงงานนี้ คือ Step motor 42SHDC3025-24B ใช้แรงดันไฟฟ้า (Voltage) 3.96 V กระแสไฟ (Current) 0.9 A ทอร์กที่ได้จากการทดสอบ 48 N • Cm ทอร์กที่ใช้ในการหมุนมอเตอร์ (Holding Torque) 40 N• Cm และมอเตอร์หนัก 280 กรัม [7]

2.1.1.2 CNC SHIELD

CNC SHIELD เป็นตัวโปรแกรมที่ใช้ควบคุม Step-motor หลายๆตัว ทำงานควบคู่ไปกับตัว Driver ซึ่ง CNC SHIELD ที่นิยมใช้ในการโปรแกรม Step-motor ได้แก่ CNC SHIELD V4 และ CNC SHIELD V3

1. CNC SHIELD V4

CNC SHIELD V4 ทำงานควบคู่กับ Arduino Nano สามารถควบคุม Step-motor ได้ 3 ตัว

2. CNC SHIELD V3

CNC SHIELD V3 ทำงานควบคู่กับ Arduino UNO R3 สามารถควบคุม Step-motor ได้ 4 ตัว

เหตุผลที่เลือกใช้ CNC SHIELD V3 และ Arduino UNO R3 เนื่องจากรถ AGV ใช้ Step-motor 4 ตัว ในการควบคุมการขับเคลื่อนของ Mecanum Wheel จำนวน 4 ล้อ CNC SHIELD V3 และ Arduino UNO R3 สามารถควบคุม Step-motor จำนวน 4 ตัวได้ในขณะที่ CNC SHIELD V4 และ Arduino Nano สามารถควบคุม Step-motor ได้เพียงแค่ 3 ตัว [8]

2.1.1.3 ซอฟสตาร์ท

ซอฟสตาร์ท (Soft start) คือ เทคนิคที่นำมาใช้กับการสตาร์ทของมอเตอร์ เพื่อลดการกระชากของกระแสไฟฟ้าในช่วงของการสตาร์ทของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์และกลไกขับเคลื่อนต่างๆมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น ในการหาค่าสำหรับการซอฟสตาร์ทของมอเตอร์ สามารถหาได้จากสมการการหาระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง step [9]

$$\text{delay time}_i = 1 - \left(\frac{2}{C * S_{st}}\right) * \text{delay time}_{i-1} \quad (2.6)$$

เมื่อ delay time_i = ระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง Step

delay time_{i-1} = ระยะเวลาที่ใช้ในการจ่ายไฟระหว่าง Step ก่อนหน้า

C = ค่าความชันของการ Soft Start

S_{st} = ค่าของลำดับของ Step กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมื่อจ่ายไฟถึงให้ Step ถัดไป ค่าของ S ในลำดับถัดไปจะเพิ่มขึ้นทีละ 1

2.1.1.4 ซอฟสต็อป

ซอฟสต็อป (Soft Stop) คือ เทคนิคป้องกันการหยุดอย่างกะทันหันของมอเตอร์ เพื่อลดการกระชากของกระแสไฟฟ้า และอาจทำให้ตำแหน่งที่หยุดไม่ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ ในการหาค่าสำหรับการซอฟสต็อปของมอเตอร์ สามารถหาได้จากสมการการหาระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง step [9]

$$\text{delay time}_i = \frac{\text{delay time}_{i-1}}{1 - \left(\frac{2}{C * S_{sp}}\right)} \quad (2.7)$$

เมื่อ delay time_i = ระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง Step

delay time_{i-1} = ระยะเวลาที่ใช้ในการจ่ายไฟระหว่าง Step ก่อนหน้า

C = ค่าความชันของการ Soft Stop

S_{sp} = ค่าของลำดับของ Step กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมื่อจ่ายไฟถึงให้ Step ถัดไป ค่าของ S ในลำดับถัดไปจะลดลงทีละ 1 จนกระทั่ง มีค่าเป็น 1 จะให้ delay time จะเท่ากับ 0.1 วินาที ไปจนกว่าความเร็วของรถ AGV จะเท่ากับ 0 หรือหยุดนิ่ง [9]

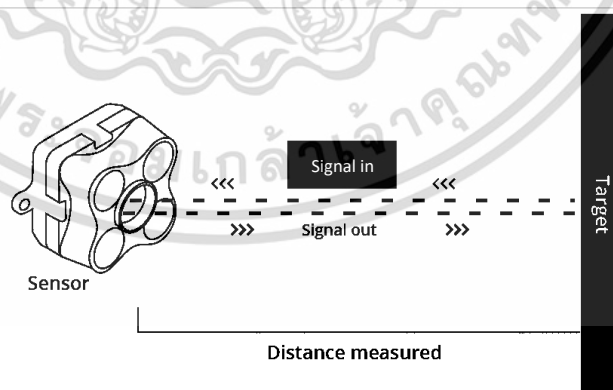
2.2 ระบบการนำร่อง

การนำร่อง (Navigation System) เปรียบเสมือนดวงตาของรถ AGV เป็นระบบที่ทำควบคู่ไปกับการระบุตำแหน่ง เพื่อหาทางไปจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง อุปกรณ์ที่ใช้ในการนำร่องของรถ AGV ที่นิยมใช้กันมากคือระบบการนำร่องแบบ Magnetic Navigation และระบบนำร่องแบบ Wire Guidance เป็นวิธีการที่ใช้เทปแม่เหล็กและลวดตัวนำติดไว้ที่พื้นเพื่อสร้างเส้นทางให้ AGV เคลื่อนที่ไปตามเทปแม่เหล็กหรือลวดตัวนำโดยใช้ Sensor ซึ่งเป็นระบบนำร่องที่ให้ความถูกต้องในการทำงานเพราะวางเส้นทางในการเคลื่อนที่สำหรับ AGV ไว้อย่างชัดเจนและสามารถระบุตำแหน่งของ AGV ได้ค่อนข้างชัดเจนแต่ข้อเสียที่พบบ่อยของการนำร่องแบบนี้ คือ การวางเส้นทางไว้อย่างตายตัว ทำให้การปรับเปลี่ยนเส้นทางของ AGV ที่ใช้เทปแม่เหล็กหรือลวดตัวนำทำได้ยาก มีค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลาในการปรับเปลี่ยนค่อนข้างนาน โครงการนี้จึงนำอุปกรณ์ 2 ชนิด มาใช้ในการนำร่องให้กับรถ AGV ได้แก่ LIDAR, Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor และ Wi-Fi

2.2.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์

2.2.1.1 Light Detection and Ranging

อุปกรณ์ Sensor ที่วัดระยะการเดินทางของแสงไปยังวัตถุเป้าหมาย ที่เรียกว่า Light Detection and Ranging (LIDAR) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการนำร่องของรถ AGV โดยใช้เทคโนโลยี Time Of Flight (TOF) [10] คือวิธีการวัดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์และวัตถุ โดยอ้างอิงจากระยะเวลาระหว่างการปล่อยสัญญาณและสะท้อนกลับจากวัตถุมายังตัวรับสัญญาณ เพื่อใช้ในการหาเส้นทางเคลื่อนที่ให้กับรถ AGV และใช้ Node MCU (ESP8266) ในการควบคุมการทำงาน เนื่องจาก Node MCU (ESP8266) ประมวลผลได้เร็วกว่าการใช้ Arduino Uno R3 การควบคุม Sensor [11]



รูปที่ 2.3 หลักการ Time Of Flight (TOF)

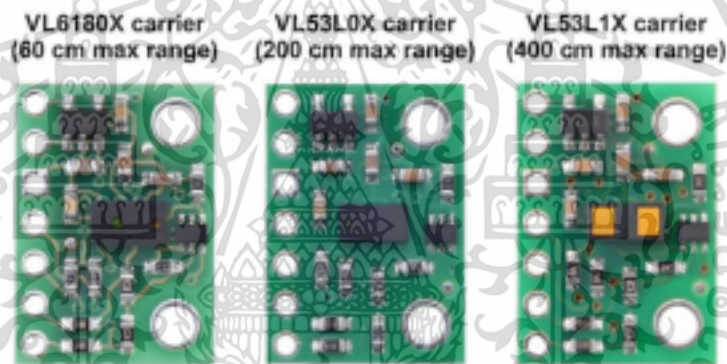
อุปกรณ์ Sensor ที่วัดระยะการเดินทางของแสงไปยังวัตถุเป้าหมายที่นิยมใช้ในการนำร่องมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ RPLIDAR และ LIDAR

1. RPLIDAR

RPLIDAR เป็น Laser scanner ที่ใช้ในการหาพื้นที่ภายในอาคารและสิ่งก่อสร้างแบบ 3 มิติเรียกว่า Laser Mapping ซึ่งมีราคาที่สูง [12]

2. LIDAR

LIDAR เป็น Laser scanner ที่ใช้วัดระยะทางในระนาบ 2 มิติ ซึ่ง LIDAR ที่ใช้ในการทำต้นแบบรถ AGV หาได้ง่าย และเลเซอร์ที่ปล่อยออกมา มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร เป็นมาตรฐานเลเซอร์คลาส 1 มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าและถนอมตา ได้แก่ VL6180X, VL53L0X และ VL53L1X ซึ่งมีความแตกต่างกันที่ระยะทางในการยิงเลเซอร์เพื่อวัดระยะห่าง [13]



รูปที่ 2.4 ชนิดของ LIDAR ที่เลือกใช้และระยะในการยิงเลเซอร์

เหตุผลที่เลือกใช้ LIDAR VL53L1X เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถ AGV เป็นการเดินทางที่บนระนาบ 2 มิติ การใช้ RPLIDAR จึงเกินความต้องการในการใช้งานของต้นแบบรถ AGV และมีราคาที่สูง จึงทำให้ LIDAR VL53L1X เป็นอุปกรณ์ที่ถูกเลือกนำมาใช้ในระบบนำร่องของต้นแบบรถ AGV เพราะมีระยะทางในการยิงเลเซอร์ที่ไกลถึง 400 เซนติเมตร [13]

2.2.1.2 Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor

Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor คือ เซ็นเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบุทิศทาง สามารถใช้ควบคู่กับ LIDAR และการระบุตำแหน่ง เพื่อช่วยในการนำร่องของรถ AGV และระบุตำแหน่งได้อย่างชัดเจนและแม่นยำยิ่งขึ้น Electronic Compass Module Magnetic Field -Sensor ใช้ Arduino Nano ในการควบคุม วัดค่าองศาเทียบกับสนามแม่เหล็กโลกเพื่อบอกทิศทาง

ให้รถ AGV เซ็นเซอร์ที่เลือกในต้นแบบรถ AGV คือ GY-271 HMC5883L Module Compass Module 3-axis Magnetic Field Sensor [14] เนื่องจากเป็นที่เซ็นเซอร์ที่ใช้งานง่ายและโปรแกรมในการควบคุมไม่ซับซ้อนแต่ประสิทธิภาพการทำงานดีและสามารถบอกทิศทางเคลื่อนที่ของรถ AGV ได้

2.2.1.3 Wireless Fidelity

Wireless Fidelity (Wi-Fi) คือ ชุดหรืออุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายที่มีมาตรฐานการเชื่อมต่อ (WLAN) ที่เรียกว่า IEEE 802.11 แต่ในปัจจุบันก็ได้มีการพัฒนา Wi-Fi รูปแบบการเชื่อมต่อมาตรฐานให้เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11e และ IEEE 802.11i Wi-Fi ถูกออกแบบมาเพื่อใช้เชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย รูปแบบการเชื่อมต่อเป็นแบบอัตโนมัติและใช้รหัสผ่านที่ตรงกันเพื่อตอบรับระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ถูกติดตั้งไว้ในอุปกรณ์ต่างๆ [15]

การระบุตำแหน่งเส้นทางการเดินของรถ AGV ใช้การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองเพื่อระบุสถานีนางาน ตำแหน่งจอดของรถ AGV และเส้นทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองใช้โปรแกรม Visio ในการสร้างผังจำลอง สถานที่ที่ใช้ในการจำลองผังโรงงานคือชั้นที่ 1 ของตึกวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีพื้นที่ทั้งหมด 99.255 ตารางเมตร ในแผนผังแบบจำลอง ได้จำลองสถานีนางานทั้งหมด 5 สถานีนางาน มีจุดจอดรถในการรับและส่งสินค้าในแต่ละสถานี จุดสำหรับจอดรถ AGV และจุดชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถ AGV

การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองเพื่อระบุตำแหน่งของรถ AGV เป็นการระบุตำแหน่งและเส้นทางการเดินรถเพียงคร่าวๆ เท่านั้น การระบุตำแหน่งที่ชัดเจนต้องใช้ระบบสัญญาณ Wi-Fi ในการเก็บข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่งที่อยู่ของรถ AGV ได้ชัดเจนมากขึ้น

ในระบบการนำร่องของรถ AGV ต้องทำการเก็บข้อมูลในส่วนของการติดตั้งสัญญาณ Wi-Fi โดยการนำตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi ไปติดตั้งตามจุดต่างๆ ในพื้นที่ทดลอง นำตัวอ่านค่าสัญญาณ Wi-Fi เก็บข้อมูลตามจุดนั้นๆ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งและสามารถระบุตำแหน่งของรถ AGV ที่กำลังเคลื่อนที่หรือหยุดนิ่งอยู่ได้ ใช้ในการบ่อนข้อมูลสำหรับการเลือกเส้นทางการเดินของรถ AGV และสามารถเคลื่อนที่บนเส้นทางที่กำหนดไว้ ในการคำนวณหาระยะทางโดยใช้สัญญาณ Wi-Fi ใช้หลักในการลดทอนของสัญญาณ เพื่อระบุว่ารถ AGV อยู่ตำแหน่งไหน ใกล้กับตัวกระจายสัญญาณตัวไหนมากที่สุดและเพื่อระบุตำแหน่งที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้นจำเป็นต้องใช้ตัวกระจายสัญญาณหรือภาคส่ง ทั้งหมด 6 ตัว

1. การประมาณการลดทอนของสัญญาณ

ความแรงสัญญาณสามารถรับได้ที่ระยะทางจากภาครับสัญญาณมีความสัมพันธ์กัน ดังนี้

$$P_r = \frac{p^0}{d^\alpha} \quad (2.8)$$

โดย P_r คือความแรงสัญญาณที่รับได้จากภาครับ หน่วยเป็นวัตต์ (Watt), d คือระยะทางในหน่วยเมตร (Meter) ระหว่างภาครับและภาคส่ง, p^0 คือความแรงของสัญญาณที่รับได้ที่ระยะหนึ่งเมตร มีหน่วยเป็นวัตต์, α คือ อัตราการลดทอนสัญญาณ (Attenuation Factor) หรือ เกรเดียนท์ของระยะทางและกำลัง (Distance Power Gradient) ซึ่งสำหรับบริเวณภายในอาคารแล้วค่าของ α จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับลักษณะภายในอาคารเช่น การวางของสิ่งของหรือวัสดุที่ก่อให้เกิดการสะท้อนการเลี้ยวเบน การกระเจิงของคลื่นที่ต่างกันทำให้มีผลกระทบต่อความแรงสัญญาณที่ส่งไปถึงภาครับต่างกัน สมการที่ (2.8) สามารถเขียนในรูปเดซิเบล (dB) ได้เป็น

$$10\log(P_r) = 10\log(p^0) - 10\alpha\log(d) \quad (2.9)$$

ถ้ากำหนดให้เป็นความแรงสัญญาณส่งที่ภาคส่งในหน่วยวัตต์ และการลดทอนของสัญญาณหรือ Path Loss (L) คือความแตกต่างระหว่างความแรงของสัญญาณจากภาคส่ง (Transmitter) และความแรงของสัญญาณจากภาครับ (Receiver) ในหน่วยเดซิเบล จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง P_t , P_r และ L ในหน่วยเดซิเบลดังนี้

$$L = 10\log(P_t) - 10\log(P_r) \quad (2.10)$$

$$L_0 = 10\log(P_t) - 10\log(P_0) \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.9), (2.10) และ (2.11) จะได้ค่าลดทอนทั้งหมดที่ระยะทางจากภาคส่งจะเท่ากับ

$$L = L_0 + 10\alpha\log(d) \quad (2.12)$$

ซึ่งการทดลองนี้จะหาค่า α โดยใช้ค่า จากการวัดตั้งนั้นในการหาพารามิเตอร์ α จำเป็นต้องมีค่าความแรงสัญญาณของตัวอย่างในบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งจะได้จาก

$$\alpha = \frac{p_t(dB) - p_r(dB) - L_0}{10 \log(d)} \quad (2.13)$$

เมื่อ $p_t(dB)$ และ $p_r(dB)$ คือค่าความแรงสัญญาณที่ส่งและรับได้ในหน่วยเดซิเบล จากนั้นจะหาค่าเฉลี่ยของ α แล้วนำกลับไปคำนวณค่าการลดทอนในแต่ละระยะที่ต้องการด้วยสมการที่ (2.12) เมื่อได้ค่าการลดทอนสัญญาณสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ในสมการ (2.9) ซึ่งถูกจัดรูปใหม่แล้วแปลงให้อยู่ในหน่วยของเดซิเบลดังนี้

$$p_r(dB) = p_t(dB) - L \quad (2.14)$$

2. การประมาณค่าความแรงสัญญาณ

วิธีนี้ใช้เปรียบเทียบกับวิธีการลดทอนสัญญาณ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดความแรงของสัญญาณซึ่งประกอบด้วยตัวแปร 2 ตัวที่มีความสัมพันธ์กันคือ ระยะทางกับความแรงของสัญญาณ โดยความแรงของสัญญาณจะแปรผกผันกับระยะทางจากภาคส่งดังนั้น ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในการทดลองนี้คือระยะห่างจากภาคส่ง และตัวแปรตาม (Dependent Variable) คือ ความแรงสัญญาณ เมื่อเราได้ข้อมูลจากการวัดก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นมาพล็อตกราฟเพื่อให้เห็นการกระจายของข้อมูล และเห็นแนวโน้ม ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสอง ใช้วิธีทางสถิติหาสมการที่เป็นตัวแทนของข้อมูลชุดนี้ สมการที่หามาได้นี้สามารถนำไปพยากรณ์ค่าความแรงของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ จากภาคส่งจากสมการที่ (2.9) ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงสัญญาณและระยะทางในสมการที่ (2.8) นั้นไม่เป็นเชิงเส้นแต่อยู่ในรูปของการยกกำลัง จึงใช้วิธีการแปลงข้อมูลให้อยู่ในหน่วยของลอการิทึม เพื่อให้สามารถใช้วิธีการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลแบบเชิงเส้น (Linear Curve Fitting) ได้

2.1 การเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลด้วยสมการยกกำลัง

$$p_r(dB) = \alpha (d)^b \quad (2.15)$$

สมการที่ (2.8) เป็นสมการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลด้วยสมการยกกำลังในการคำนวณจะแปลงสมการที่ (2.8) ให้อยู่ในลักษณะสมการเชิงเส้นโดยการใช้ลอการิทึมได้เป็นสมการที่ (2.16) ดังนี้

$$\log(P_r) = \log(\alpha) + (b) \log(d) \quad (2.16)$$

โดย $\log(\alpha)$ คือจุดตัดแกนตั้ง $\text{Log}(P_r)$ และ b เป็นค่าความชันของสมการเชิงเส้น แล้วนำสมการที่ (2.16) ไปหาพารามิเตอร์ของการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลด้วยวิธีการแบบเชิงเส้นตามปกติ

2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2)

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (p_{ri} - \hat{p}_{ri})^2}{\sum_{i=1}^n (p_{ri} - \overline{p_r})^2} \quad (2.17)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจคือค่าที่อธิบายว่าเส้นกราฟที่ได้จากการใช้วิธีการเลือกเส้นกราฟที่เหมาะสมกับข้อมูลนั้นมีความสามารถอธิบายตัวแปรตาม (ในการทดลองนี้คือค่าความแรงของสัญญาณที่ประมาณได้) ครอบคลุมมากน้อยเพียงใด โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงถึงประสิทธิภาพของการประมาณมีมากขึ้นนั่นเอง ในสมการที่ (2.17) p_{ri} คือความแรงสัญญาณที่วัดได้ที่จุด i โดยที่ i เป็นระยะตั้งแต่ 0.5 จนถึง 10 เมตร $\overline{p_r}$ คือค่าเฉลี่ยของความแรงสัญญาณที่ภาครับ และ \hat{p}_{ri} คือความแรงของสัญญาณภาครับจากการประมาณที่จุด i [16]

2.3 ระบบการสื่อสาร

ระบบการสื่อสาร (Communication System) ระบบพื้นฐานที่สำคัญอย่างมากของรถ AGV เป็นระบบที่ใช้ในการสื่อสารหรือป้อนคำสั่งให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติโดยไร้ซึ่งคนขับ จึงจำเป็นต้องใช้ระบบนี้ในการป้อนคำสั่งจากสถานที่หนึ่งส่งไปยังตัวรับข้อมูลที่ติดตั้งภายในรถ AGV อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในรถ AGV เพื่อการสื่อสารได้แก่ ESP 8266

2.3.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์

2.3.1.1 ESP8266

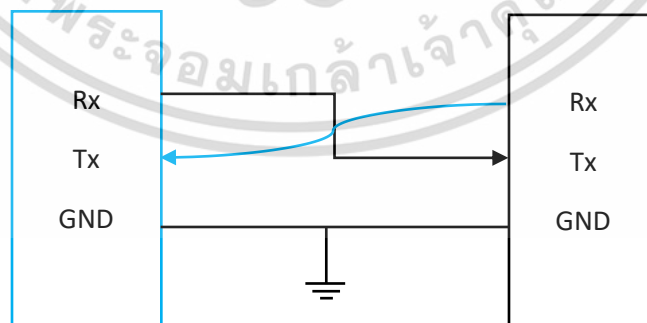
ESP8266 คือโมดูล Wi-Fi ที่สามารถเขียนโปรแกรมของตัวเองลงไปได้และมีพื้นที่โปรแกรมมากถึง 4MB ทำให้มีพื้นที่มากพอสำหรับการเขียนโปรแกรม ESP8266 เป็นชื่อของชิปไอซีบนบอร์ดของโมดูลซึ่งไอซี ESP8266 ไม่มีพื้นที่โปรแกรม (flash memory) ในตัว ทำให้ต้องใช้ไอซีภายนอก (external flash memory) ในการเก็บโปรแกรม ที่ใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล SPI ซึ่งสาเหตุนี้เองทำให้โมดูล ESP8266 มีพื้นที่โปรแกรมมากกว่าไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดอื่นๆ [17]

2.3.1.2 UART Serial Communication

ข้อกำหนดในการสื่อสาร (Protocol) ขั้นพื้นฐานอย่างหนึ่งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่เรียกว่า Universal Asynchronous Receive Transmit (UART) เป็นรูปแบบการสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สองเครื่อง โดยใช้สองเส้นทางเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่กำลังสื่อสารระหว่างกัน สำหรับแต่ละทิศทางของการสื่อสาร เมื่ออุปกรณ์ที่เป็นเครื่องส่งสัญญาณส่งข้อมูลเป็นชุดในรูปแบบของคลื่นสัญญาณ pulse โดยแต่ละ pulse จะแทนข้อมูลทั้งหมดเป็นจำนวนหนึ่งบิต ดังนั้นข้อมูลหนึ่งไบต์จะถูกส่งเป็น 8 pulse บนสายที่เชื่อมระหว่างอุปกรณ์ทั้งสอง pulse เหล่านี้จะถูกส่งผ่านสายเชื่อมอุปกรณ์ด้วยช่วงเวลาเฉพาะที่กำหนดไว้ล่วงหน้าซึ่งเรียกว่า อัตรารับส่งข้อมูล

อัตราที่ส่งข้อมูลแต่ละบิตเรียกว่าอัตรารับส่งข้อมูล หนึ่งในอัตราบอดที่พบบ่อยที่สุดสำหรับ UART (สิ่งที่ใกล้เคียงที่สุดกับค่าเริ่มต้น) คือ 9600 บิตต่อวินาที (bps) อัตราบอดทั่วไปอื่น ๆ คือ 300, 600, 1200, 2400, 4800, 19200, 38400, 57600, 74880 และ 115200 bps ในขณะที่สิ่งเหล่านี้เป็นเรื่องปกติมันอาจเป็นอัตราใด ๆ ที่คุณเลือกที่จะใช้ตราบิตที่ฮาร์ดแวร์สามารถจัดการได้และอุปกรณ์ทั้งสองโปรแกรมได้รับการตั้งโปรแกรมให้ใช้อัตราการรับส่งข้อมูลเดียวกัน [18]

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งสองเครื่องที่สื่อสารกันโดยใช้ UART จำเป็นต้องใช้สายสามเส้นในการเชื่อมต่อ สองสายที่สำคัญคือสายสื่อสาร transmit (Tx) และ receive (Rx) โดยการส่งสัญญาณ Tx ของอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งสัญญาณจะต้องเชื่อมต่อกับ Rx ของอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับสัญญาณและ Tx ของอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับสัญญาณจะเชื่อมต่อกับ Rx ของอุปกรณ์ที่เป็นตัวส่งสัญญาณ สายที่สามคือกราวด์ (GND) อุปกรณ์ต้องมีการต่อสายกราวด์ร่วมกัน และในบอร์ด Arduino UNO R3 มี transmit และ receive ได้แก่ D1 (Tx) และ D0 (Rx) ส่วนในบอร์ด NodeMCU ESP8266 มี transmit และ receive ได้แก่ GPIO2 (Tx) และ GPIO3 (Rx) [18]



รูปที่ 2.5 UART Serial Communication

2.4 ระบบความปลอดภัย

ระบบความปลอดภัย (Safety System) เป็นระบบที่สำคัญมากในรถ AGV เป็นระบบที่ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและความเสียหาย ในระบบความปลอดภัยของรถ AGV การป้องกันการชนกันระหว่างตัวรถและสิ่งกีดขวางเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรก เนื่องจากก่อให้เกิดความเสียหายทั้งตัวรถ AGV และวัตถุที่มากีดขวางอุปกรณ์ที่ช่วยในการป้องกันการชนกันระหว่างตัวรถ AGV และสิ่งกีดขวาง ได้แก่ Ultrasonic sensor และ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module

2.4.1 ทฤษฎีและเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์

2.4.1.1 Ultrasonic sensor

Ultrasonic sensor คือ เซ็นเซอร์ที่ส่งสัญญาณพัลส์ของพลังงานซึ่งเป็นการเดินทางของความถี่เสียง การลดทอนของพลังงานที่ถูกสะท้อนกลับมาจากวัตถุเสียงนี้เป็นการสะท้อนกลับมาจากวัตถุแล้วเดินทางกลับไปยังเซ็นเซอร์ โดยการตรวจจับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปกลับของเสียงเมื่อมีการตกกระทบจากวัตถุแล้วนำมาคำนวณเป็นระยะทาง [19]

2.4.1.2 Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module

Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module คือ เซ็นเซอร์วัดระยะที่ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นอินฟราเรด สำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางระยะตรวจจับโดยประมาณอยู่ที่ 2 - 30 cm มุม 45 องศา สามารถปรับระยะการตรวจจับได้ที่ตัวต้านทานปรับค่าได้บนบอร์ด ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3 - 5V เอาต์พุตให้ค่าปกติเป็น 1 เมื่อตรวจพบเส้นหรือวัตถุกีดขวางและให้ค่าเอาต์พุตเป็นศูนย์ [20]

เหตุผลที่เลือกใช้ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module เนื่องจาก Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module สามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายกว่าไม่ซับซ้อนเท่า Ultrasonic sensor และสามารถอ่านค่าและประมวลผลได้เร็วกว่า Ultrasonic sensor

2.5 ระบบการจัดการพลังงาน

ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) เป็นระบบที่มีความสำคัญมากสำหรับรถ AGV เพราะพลังงานเป็นกุญแจที่นำไปสู่การทำงานของแต่ละระบบ การทำงานของระบบแต่ละระบบจะมีประสิทธิภาพมากหรือน้อย พลังงานเป็นหนึ่งในปัจจัยที่สามารถกำหนดประสิทธิภาพนั้นได้ การเลือกแหล่งพลังงานที่ใช้ในแต่ละระบบต้องอ้างอิงจากหลายปัจจัย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์และประสิทธิภาพตรงตามความต้องการ แหล่งพลังงานที่นิยมใช้อย่างมากในรถ AGV คือ แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัล

วานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าได้ ในปัจจุบันนี้แบตเตอรี่มีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งขนาด กำลังให้ การจ่ายไฟและน้ำหนักของตัวแบตเตอรี่ มีทั้งแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (Rechargeable Battery) และแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (Non-Rechargeable Battery) แบตเตอรี่ที่นิยมใช้ในรถ AGV คือ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ [21]

2.5.1 ทฤษฎีและข้อเปรียบเทียบเกี่ยวกับเหตุผลในการเลือกใช้อุปกรณ์

2.5.1.1 แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้

แบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าใหม่ได้ (Rechargeable Battery) คือ เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าที่สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ได้หลายครั้งตามอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆ ประสิทธิภาพการทำงานของแบตเตอรี่อยู่ที่ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปแบบของ ความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและจ่ายประจุ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ที่นิยมใช้อย่างมาก ในรถ AGV มีอยู่ 4 ชนิด ได้แก่ แบตเตอรี่ชนิด Lead Acid , Ni-Cd , NiMH และ Li-ion

1. แบตเตอรี่รถยนต์

แบตเตอรี่รถยนต์ หรือ Lead Acid Battery คือการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวิธีการทางเคมีโดยการนำ แผ่นตะกั่ว 2 ชุด มาแช่ในสารละลายไฟฟ้า ดึงเอาพลังงานไฟฟ้าจากสารละลายไฟฟ้า ออกไปใช้งานใน วงจรไฟฟ้าภายนอก ข้อจำกัดของไฟฟ้าประเภทนี้ คือมีโวลต์ (Volt) ต่ำ สามารถผลิตได้เพียง 2 โวลต์ต่อ Cell สามารถชดเชยได้ด้วยการเพิ่มกระแส หรือแรงเคลื่อน (Ampere) ให้สูงขึ้น ด้วยการนำ Cell แต่ละ เซลล์มาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรม จะทำให้ Volt เพิ่มขึ้น ถ้าต่อเชื่อมกัน 3 เซลล์ จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้า ประมาณ 6 โวลต์และต่อเชื่อมกัน 6 เซลล์ จะได้กำลังไฟฟ้าประมาณ 12 โวลต์ อย่างที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [22]

2. แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม

แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium, Ni-Cd หรือ NiCad) คือ แบตเตอรี่ที่ใช้นิเกิล (Ni) และ แคดเมียม (Cd) เป็นอิเล็กโทรด โดยส่วนใหญ่เซลล์หลักที่ใช้ในแบตเตอรี่อื่น ๆ มีศักย์ภาพที่ 1.5V ซึ่งสูงกว่า แบตเตอรี่ Ni-Cd ที่มีศักย์ภาพ 1.2V แต่เนื่องเซลล์หลักส่วนใหญ่จะมีแรงดันไฟฟ้าผันแปรซึ่งทำให้ ศักย์ภาพลดลงถึง 0.9V เมื่อแบตเตอรี่ชาร์จบประจุ ในขณะที่แบตเตอรี่ Ni-Cd สูญเสียศักย์ภาพของเซลล์ เพียงเล็กน้อย มีอัตราการปลดปล่อยพลังงานสูง แต่ส่งผลกระทบต่อ Memory Effect สามารถให้พลังงาน อย่างต่อเนื่องในขณะที่พลังงานในแบตเตอรี่เหลือน้อยได้ [23]

3. แบตเตอรี่นิเกิลเมทัล-ไฮไดรด์

แบตเตอรี่นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ (NiMH) เป็นแบตเตอรี่โลหะนิเกิลผสมมีลักษณะเป็นก้อนแบตเตอรี่ก้อน เล็กที่เรียงแถวรวมกัน มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่นิเกิลแคดเมียม 40 เปอร์เซ็นต์ แบตเตอรี่ นิเกิลเมทัลไฮไดรด์ไม่ส่งผลกระทบต่อ Memory Effect แต่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดถึงสามารถ

ชาร์จประจุไฟฟ้าใหม่ได้ และหากปล่อยทิ้งไว้โดยไม่ใช้งาน แบตเตอรี่Ni-MH จะสูญเสียพลังงาน 20 เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือน แบตเตอรี่Ni-MH มีประสิทธิภาพการทำงานในพื้นที่อากาศเย็นค่อนข้างต่ำและมีคุณสมบัติการคายประจุค่อนข้างมากเกิดความเสียหายได้รวดเร็ว [23]

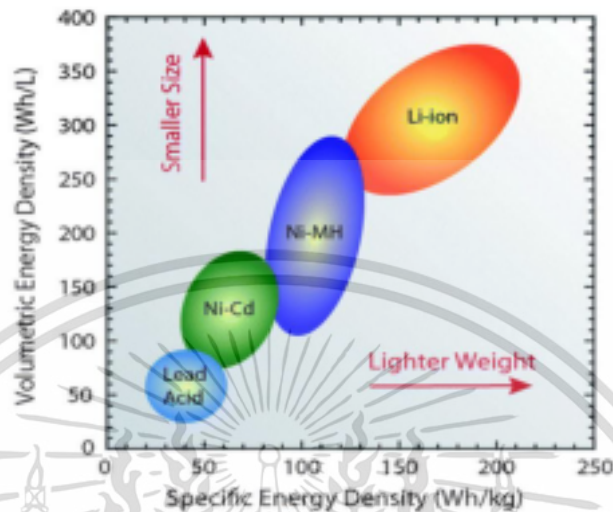
4. แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Li-ion) จะประกอบด้วยเซลล์แบตเตอรี่เพียงเซลล์เดียวต่อแบตเตอรี่ 1 ก้อน ซึ่งแตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิด Ni-MH ที่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ ซึ่งแบตเตอรี่ชนิด Li-ion จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าแบตเตอรี่ชนิด Ni-MH และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า หากปล่อยแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนไว้โดยไม่ใช้งานแบตเตอรี่จะสูญเสียพลังงานเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือนซึ่งน้อยกว่าแบตเตอรี่แบบ Ni-MH ที่สูญเสียพลังงาน 20 เปอร์เซ็นต์ ต่อเดือน แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน ไม่ส่งผลกระทบต่อ Memory Effect ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดแล้วจึงชาร์จประจุใหม่แต่สามารถชาร์จเมื่อใดก็ได้ที่ต้องการและสามารถชาร์จได้หลายรอบรอบ แต่แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออนไม่ทนต่อความร้อน หากใช้แบตเตอรี่ภายใต้ความร้อนที่สูง แบตเตอรี่จะเสื่อมประสิทธิภาพเร็วและไม่ควรใช้งานแบตเตอรี่จนหมดแล้วชาร์จ เพราะการใช้งานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่จนหมดส่งผลเสียต่อแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน แบ่งออกเป็นแบบ Cobalt, Manganese และ Phosphate ซึ่งแตกต่างกัน [23]

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบลักษณะจำเพาะของแบตเตอรี่แต่ละชนิด

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific Energy Density (Wh/kg)	30-50	45-80	80-120	150-190	100-135	90-120
Internal Resistance (mΩ)	<100 12V pack	100-250 6V pack	200-300 6V pack	450-300 7.2V	25-75 per cell	25-50 per cell
Life Cycle (80% discharge)	200-300	1000	300-500	500-1,000	500-1,000	1,000-2,000
Fast-Charge Time	8-16h	1h typical	2-4h	2-4h	1h or less	1h or less
Overcharge Tolerance	High	Moderate	Low	Low. Cannot tolerate trickle charge		
Self-Discharge/month (room temp)	5%	20%	30%	<10%		
Cell Voltage (nominal)	2V	1.2V	1.2V	3.6V	3.6V	3.3V

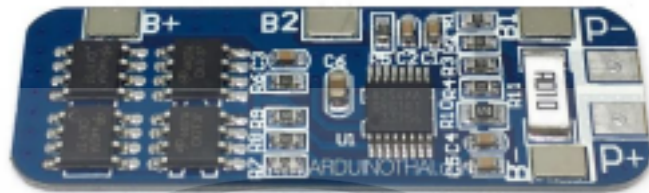
เหตุผลที่เลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 [24]



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบระหว่างความหนาแน่นพลังงานของขนาด และน้ำหนักแบตเตอรี่แต่ละชนิด

จากการคำนวณหาความต้องการพลังงานของระบบขับเคลื่อน แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในการให้พลังงานในการขับเคลื่อนต้นแบบรถ AGV ต้องสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ 12 V, Capacity 5.4 AH สามารถจ่ายให้มอเตอร์ 4 ตัว จ่ายกระแสไฟแต่ละ 0.9 A และจ่ายแรงดันมอเตอร์แต่ละ 3.96 V เพื่อให้มีพลังงานมากพอที่สามารถขับเคลื่อนมอเตอร์และไม่มากจนทำให้มอเตอร์ทำงานหนักและเกิดความร้อนได้ แบตเตอรี่ต้องมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบาเพื่อให้ไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วของรถ AGV ที่กำหนดไว้ สามารถชาร์จประจุได้หลายครั้งโดยไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจนหมดเพื่อเตรียมพร้อมในการทำงานในแต่ละวันและเพื่อประสิทธิภาพการทำงานของรถ AGV แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ต้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนานเพื่อลดต้นทุนในการเปลี่ยนใหม่และใช้เวลาในการชาร์จประจุที่เร็วเพื่อลดเวลาในส่วนของระบบจัดการพลังงาน ดังนั้น แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน จึงตอบโจทย์การทำงานได้อย่างดี ความต้องการในส่วน of พลังงานเพื่อจ่ายให้กับระบบขับเคลื่อนแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน 1 ก้อน ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่จำนวน 6 ก้อน เชื่อมต่อกันแบบขนาน 2 ก้อน จำนวน 3 คู่และนำ 3 คู่ขึ้นมาต่อกันแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 11.1 V และกระแสไฟประมาณ A แต่พลังงานที่ให้นั้นยังไม่มากพอที่จะสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวได้ ทำให้ต้องอาศัยตัวช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้ได้ตรงตามความต้องการ 3S 10A 12V 18650

Lithium Battery Charger Board Protection Module [25] เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 12 V และแปลงกระแสไฟฟ้าให้ไม่เกิน 10 A เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินในวงจร



รูปที่ 2.7 อุปกรณ์ 3S 10A 12V 18650 Lithium Battery Charger Board Protection Modul



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยสามารถนำมาประยุกต์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตการทำงาน โดยแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 7 ขั้นตอนหลักดังแสดงในหัวข้อต่อไปนี้

3.1 การกำหนดพื้นที่ที่ทำการทดสอบและการออกแบบสถานีงานจำลองสำหรับการทดสอบรถ AGV

3.2 การออกแบบและกำหนดลักษณะจำเพาะให้กับรถ AGV

3.3 การทดสอบระบบขับเคลื่อน

3.4 การทดสอบระบบนำร่อง

3.5 การทดสอบระบบสื่อสาร

3.6 การทดสอบระบบความปลอดภัย

3.7 การทดสอบระบบการจัดการคลัง

3.1 การกำหนดพื้นที่ที่ทำการทดสอบและการออกแบบสถานีงานจำลองสำหรับการทดสอบรถ AGV

การกำหนดพื้นที่และออกแบบสถานีงานจำลองเป็นตัวกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ ทิศทางการเคลื่อนที่ และระบุตำแหน่งให้กับรถ AGV

3.1.1 การกำหนดสถานที่ทำการทดสอบ

การเลือกสถานที่ที่ทำการทดสอบ ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการเคลื่อนที่ของรถ AGV ขอบเขตที่กำหนดและความสะดวกในการทดสอบ หากเลือกสถานที่ที่มีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไปอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของรถ AGV และส่งผลถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ หรือการเลือกสถานที่ที่เหมาะสม แต่อยู่ไกลจากตำแหน่งที่ทำการสร้างรถ AGV ทำให้เกิดการสูญเสียเวลาในการเดินทาง

สถานที่ที่เลือกใช้ในการทดสอบรถ AGV คือ ชั้นที่ 1 ของตึกวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีลักษณะของพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านเท่าตัดมุมหนึ่งด้าน ลักษณะคล้ายรูปตัวแอล (L) ในแนวนอน มีเสาหลักตรงช่วงกลางโถง 1 ต้นและตรงหน้าประตูบานเลื่อน 2 ต้น พื้นทางเดินเป็นระนาบเรียบไม่ขรุขระหรือลาดเท ทำให้ง่ายต่อและไม่เป็นอุปสรรคต่อการทดสอบรถ AGV

3.1.2 การวัดพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ

จากการสำรวจและวัดพื้นที่ที่ใช้ในการจำลองการทดสอบของรถ AGV ชั้นที่ 1 ของตึกวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีพื้นที่ ทั้งหมด 99.255 ตารางเมตร

3.1.3 การออกแบบผังโรงงานจำลองสำหรับทดสอบในพื้นที่ที่กำหนด

เมื่อทำการกำหนดพื้นที่ที่ต้องการทำการทดสอบ การออกแบบผังโรงงานจำลองต้องสอดคล้องกับพื้นที่ที่กำหนดไว้ กำหนดเส้นทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถ AGV และสถานีงานที่ใช้ในการทดสอบรถ AGV ต้องมีจำนวนที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้ในการทำลอง ในแผนผังแบบจำลองที่สร้างขึ้น โดยกำหนดให้มีสถานีงานทั้งหมด 6 สถานีงาน ได้แก่

1. AGV Maintenance Station

AGV Maintenance เป็นจุดตรวจสอบซ่อมบำรุง ป้อนข้อมูล เก็บรถ AGV และเป็นจุดชาร์จแบตเตอรี่หลักของรถ AGV เพื่อเตรียมความพร้อมในการทำงานในแต่ละวัน โดยการทำงานทุกครั้งจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานีงาน AGV Maintenance

2. Raw Material Station

Raw Material station เป็นสถานีงานสำหรับเก็บวัตถุดิบที่ใช้ภายในโรงงานจำลองเพื่อนำไปเข้ากระบวนการแปรรูปในสถานีงาน Machining

3. Machining Station

Machining Station เป็นสถานีงานสำหรับแปรรูปวัตถุดิบ ภายในสถานีงานประกอบเครื่องจักรต่างๆที่ใช้สำหรับการแปรรูป เช่น เครื่องกลึง เครื่องตัด เครื่องเจาะ เป็นต้น

4. Assembly Station

Assembly Station เป็นสถานีงานสำหรับการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ

5. Quality Control Station

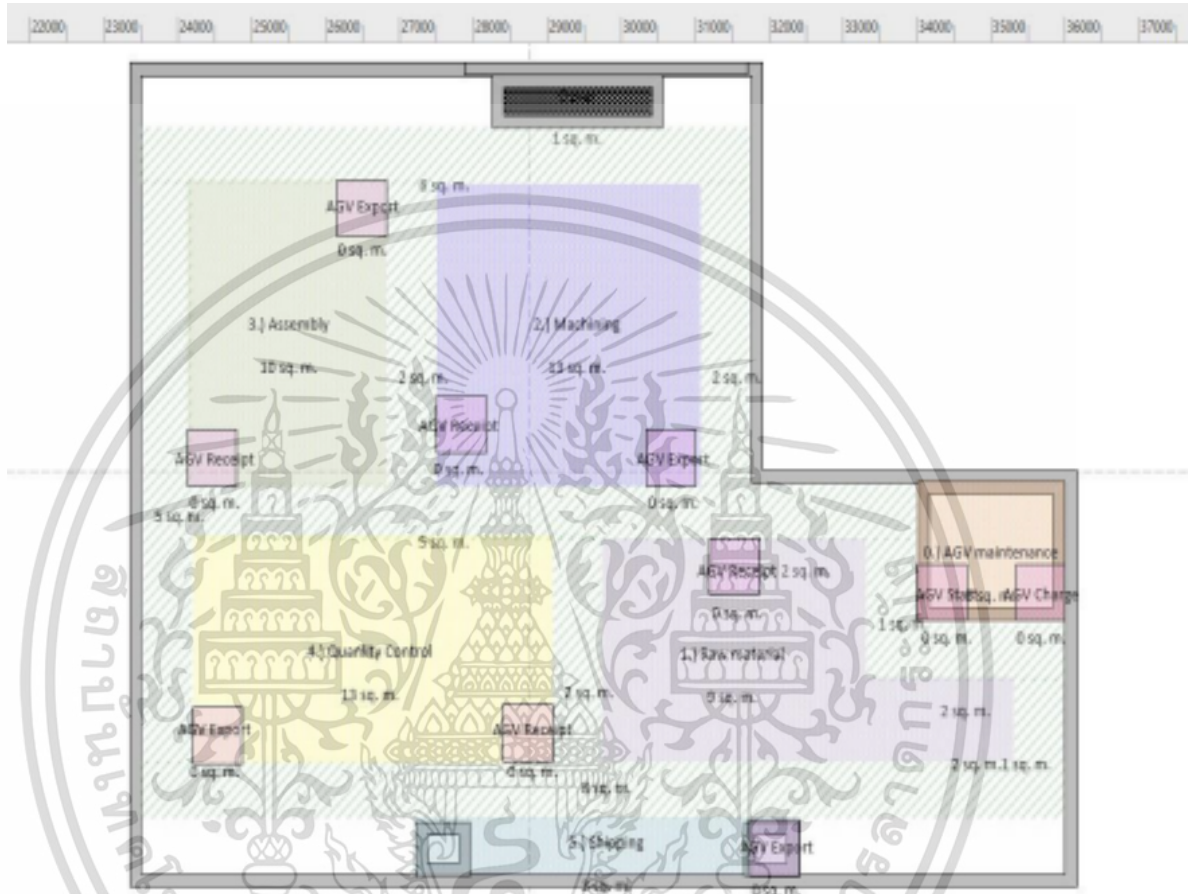
Quality Control Station เป็นสถานีงานที่ใช้ในการตรวจสอบสินค้าและเช็คคุณภาพสินค้าที่ต้องทำการส่งออก

6. Shipping Station

Shipping Station เป็นสถานีงานที่ทำการส่งออกสินค้าให้แก่ผู้บริโภค

นอกจากการกำหนดสถานีงานทั้ง 6 สถานี การกำหนดจุดจอดรถในการรับและส่งสินค้าในแต่ละสถานีรวมไปถึงจุดสำหรับจอดรถ AGV และจุดชาร์จแบตเตอรี่สำรองสำหรับรถ AGV เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เพื่อความสะดวกในการทำงาน ลดความซับซ้อนภายในกระบวนการ ง่ายต่อการควบคุม

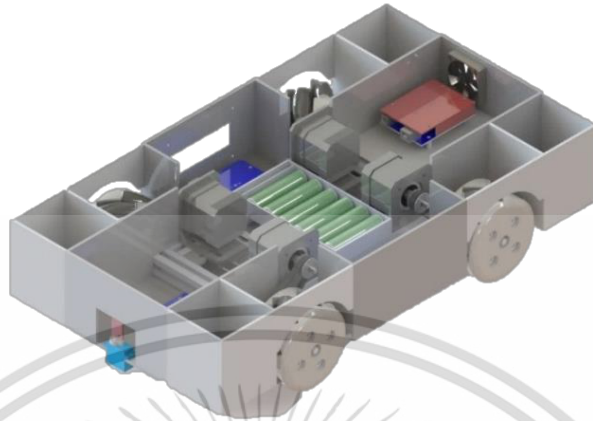
และกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ AGV การสร้างแผนผังโรงงานจำลอง ใช้โปรแกรม Visio ในการสร้างแผนผังโรงงานจำลอง ได้แผนผังโรงงาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังโรงงานจำลองของรถ AGV

3.2 การออกแบบและกำหนดลักษณะจำเพาะให้กับรถ AGV

การออกแบบและกำหนดลักษณะให้กับรถ AGV ต้องคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน สถานที่ที่ใช้งาน และพื้นที่ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของรถ AGV จากแผนผังการจำลองและขอบเขตที่กำหนด ต้นแบบของรถ AGV มีขนาด 270x480x110 มิลลิเมตร สามารถบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เกิน 5 กิโลกรัม ลักษณะของล้อที่ใช้เป็นแบบ Mecanum Wheel ที่สามารถขับเคลื่อนได้ทุกทิศทาง การออกแบบรถ AGV ใช้โปรแกรม Solid Work ในการสร้างต้นแบบรถ AGV ได้ลักษณะของรถ AGV ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของรถ AGV

3.2.1 การออกแบบระบบและกำหนดอุปกรณ์ที่ใช้ในรถ AGV

การออกแบบระบบเป็นหัวใจหลักของการทำโครงการนี้ ระบบเป็นสิ่งที่สำคัญมากในรถ AGV เป็นสิ่งที่ทำให้รถ AGV สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ การเลือกระบบที่ใช้ในรถ AGV ต้องคำนึงถึงความต้องการในการใช้รถ AGV เพื่อให้รถ AGV สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตรงตามความต้องการมากที่สุด

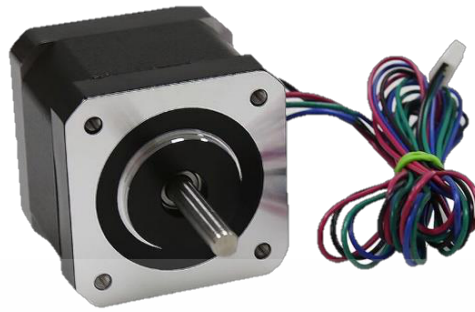
ระบบที่ใช้ในรถ AGV ได้แก่

1. ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system)
2. ระบบการนำร่อง (Navigation System)
3. ระบบการสื่อสาร (Communication System)
4. ระบบความปลอดภัย (Safety System)
5. ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System)

ระบบแต่ละระบบมีความจำเป็นและอุปกรณ์เฉพาะของแต่ละระบบ การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพราะการทำงานให้มีประสิทธิภาพที่ดีต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมและใช้งานถูกประเภท

1. ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system)

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน ได้แก่ Step motor 42SHDC3025-24B [26] และ ล้อ Mecanum wheel ที่ช่วยให้สามารถเคลื่อนที่ได้ 8 ทิศทาง



รูปที่ 3.3 ภาพ Step motor 42SHDC3025-24B



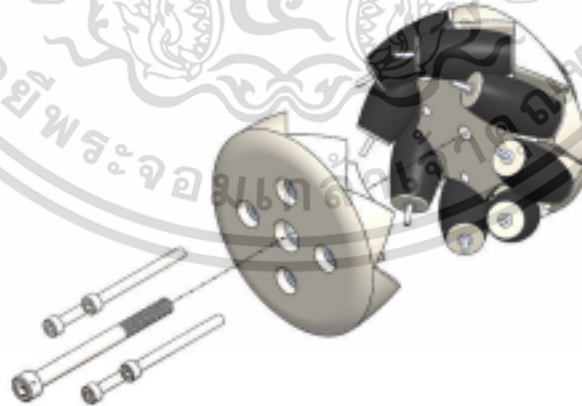
รูปที่ 3.4 รายละเอียดการออกแบบ Mecanum wheel สำหรับต้นแบบรถ AGV

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำล้อ Mecanum wheel มาใช้เป็นล้อของต้นแบบรถ AGV เพื่อให้ระบบขับเคลื่อนของรถ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้ทั้ง 8 ทิศทาง และอำนวยความสะดวกในการทำงานในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด ล้อ Mecanum wheel ที่ใช้ในต้นแบบรถ AGV ทำขึ้นจากวัสดุ PLA (Polylactic-acid) โดยใช้กระบวนการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) ล้อมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร หนา 50 มิลลิเมตร ติดลูกกรอก (Pulley) ขนาด 50 ฟันสำหรับทดแรงกับล้อที่ยื่นออกมาสูง 15 มิลลิเมตร รายละเอียดการออกแบบล้อ Mecanum wheel สำหรับต้นแบบรถ AGV แสดงในรูปที่ 3.4 ในระหว่างล้อ Mecanum wheel แต่ละล้อจะถูกเสริมด้วย Roller จำนวน 8 Roller ต่อ 1 ล้อ ซึ่งทำขึ้นจากวัสดุ PLA (Polylactic-acid) โดยใช้กระบวนการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) เช่นเดียวกับตัวล้อ Mecanum wheel โดย Roller ทั้ง 8 ลูก ถูกวางเรียงต่อกันรอบๆล้อ Mecanum wheel ในลักษณะเอียงทำมุมกับพื้นระดับ 45 องศา รายละเอียดการออกแบบ Roller นั้นแสดงดังรูปที่ 3.5



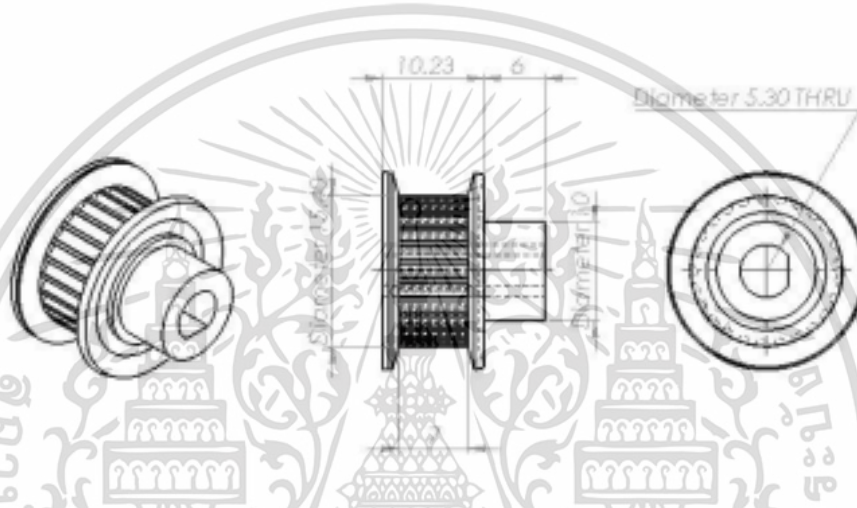
รูปที่ 3.5 รายละเอียดการออกแบบ Roller

Roller แต่ละตัวจะทำการออกแบบให้มีรูทะลุผ่านตรงกลางเพื่อใช้สำหรับสวมเพลลา เพลลาจะช่วย
ให้ Roller สามารถหมุนได้ในขณะที่อยู่ระหว่างล้อ Mecanum wheel ในแต่ละ Roller จะถูกหุ้มด้วย
ยางเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานระหว่างล้อกับพื้น ทำให้ยึดติดกับพื้นถนนได้ดีขึ้น เนื่องจากผิวของ Roller เป็น
ส่วนที่สัมผัสกับพื้นถนน ในขณะที่ล้อ Mecanum wheel กำลังหมุนไปยังทิศทางที่กำหนด การประกอบ
ล้อ Mecanum wheel ต้องนำ Roller ที่เสียบเพลลามาสวมกับตัวล้อที่ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนและนำทั้ง
สองส่วนนั้นมาประกอบเข้าด้วยกันให้ Roller อยู่ตรงกลางยึดด้วยสกรูจำนวน 4 ตัว และตรงกลางใช้สกรู
เป็นเพลลาเพื่อใช้ในการหมุนของล้อโดยมีลูกปืน (Bearing) สวมอยู่ทั้งสองฝั่งของล้อ Mecanum wheel
แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การประกอบล้อ Mecanum wheel สำหรับต้นแบบรถ AGV

การทดแรงด้วยลูกรอก (Pulley) ขนาด 25 ต่อ 50 ฟัน อัตราทด 2:1 ในการทดแรงเพื่อให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ตามความเร็วที่ต้องการ จากการออกแบบล้อ Mecanum wheel ที่ติด ลูกรอก (Pulley) ขนาด 50 ฟันไว้ จึงจำเป็นต้องทำลูกรอก (Pulley) ขนาด 25 ฟันเพื่อสวมที่แกนของมอเตอร์ สำหรับใส่สายพานเพื่อขับเคลื่อนลูกรอก (Pulley) ให้มอเตอร์และล้อ Mecanum wheel หมุนไปพร้อมกัน รายละเอียดการออกแบบลูกรอก (Pulley) 25 ฟัน แสดงดังรูปที่ 3.7 โดยรูสำหรับสวมกับมอเตอร์ได้ ทำการออกแบบให้เป็นรูปตัว D ตามลักษณะของแกนมอเตอร์เพื่อให้ลูกรอก (Pulley) 25 ฟันหมุนไปตามแกนมอเตอร์



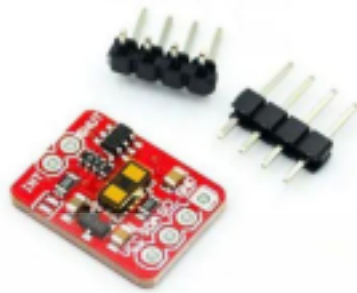
รูปที่ 3.7 รายละเอียดการออกแบบลูกรอก (Pulley) 25 ฟัน สวมที่แกนของมอเตอร์ สำหรับทดแรง

2. ระบบการนำร่อง (Navigation System)

อุปกรณ์ที่เลือกใช้ในระบบนำร่อง ได้แก่ LIDAR VL53L1X, Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor (HMC5883L) และ Arduino Nano

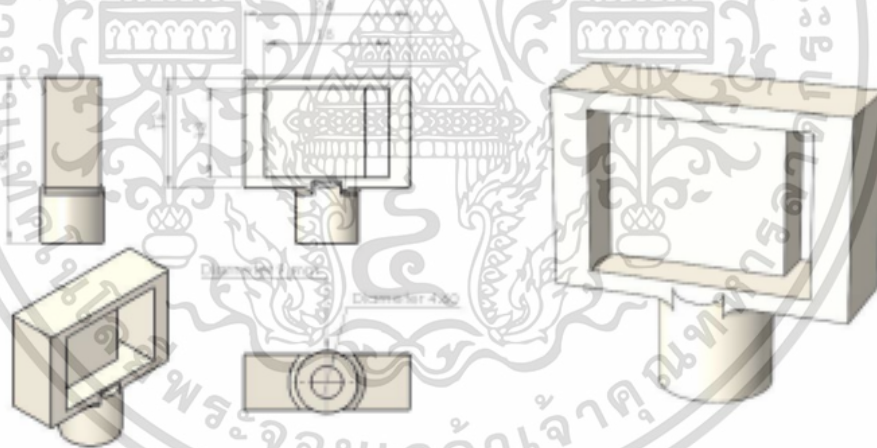
2.1 LIDAR: VL53L1X

ในการจัดวางตำแหน่ง LIDAR : VL53L1X [27] เพื่อใช้ในการหาเส้นทางที่ไม่มีวัตถุและสิ่งกีดขวางในการเคลื่อนที่ของรถ AGV ได้ทำการจัดวาง LIDAR: VL53L1X ไว้บริเวณหน้ารถ AGV เพื่อส่งคลื่นสัญญาณอินฟราเรดเป็นเส้นตรงและสามารถกวาดสัญญาณได้ทั่วทั้งบริเวณหน้ารถ AGV ในการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางเส้นทางที่อาจเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนที่ของรถ AGV ได้ติดตั้ง LIDAR: VL53L1X ไว้กับ Servo Motor : SG90 ที่สามารถหมุนได้ 180 องศา เพื่อให้ LIDAR : VL53L1X สามารถกวาดสัญญาณได้ตั้งแต่ทางขวาของหน้ารถ AGV ไปจนถึงทางด้านซ้ายของหน้ารถ AGV ได้



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ LIDAR VL53L1X

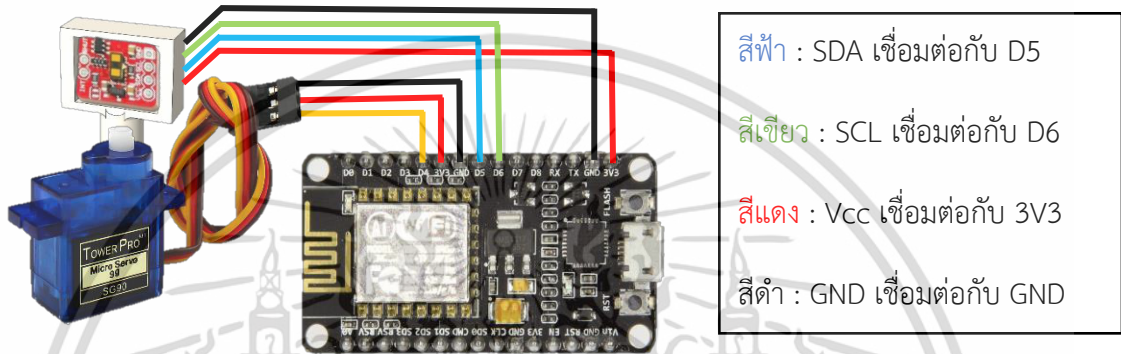
ในการประกอบ LIDAR : VL53L1X และ Servo Motor : SG90 เพื่อให้ใช้งานได้ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ใส่ LIDAR : VL53L1X เข้ากับแกนของ Servo Motor : SG90 เพื่อให้หมุนตามทิศทางการหมุนของ Servo Motor : SG90 อุปกรณ์ที่ทำการออกแบบทำขึ้นจาก 3D print แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์เพื่อใส่ LIDAR : VL53L1X และ สวมเข้ากับแกนของ Servo Motor : SG90

ในการควบคุมการทำงานของ LIDAR : VL53L1X ใช้ NodeMCU ESP8266 ควบคุมการสั่งงานให้กับ LIDAR : VL53L1X รวมทั้งใช้ในการควบคุมการหมุนของ Servo Motor : SG90 โดยที่ LIDAR: VL53L1X มีพินสำหรับต่อสายทั้งหมดสี่พิน ได้แก่ Vcc GND SCL และ SDA เชื่อมต่อสายกับ NodeMCU ESP8266 โดยสายเส้นสีแดงเชื่อมต่อ Vcc กับ 3.3V ของ NodeMCU ESP8266 สายสีเขียวเชื่อมต่อ SCL

กับ D6 สายสีฟ้าเชื่อมต่อ SDA กับ D5 และสายสีดำเชื่อมต่อ GND ของ LIDAR : VL53L1X กับ GND ของ NodeMCU ESP8266 ในส่วนของ Servo Motor : SG90 มีสายสำหรับเชื่อมต่อทั้งหมดสามสาย ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยสายสีเหลืองเชื่อมต่อกับ D4 ของ NodeMCU ESP8266 สายสีแดงเชื่อมต่อกับ 3.3V และสายสีดำเชื่อมต่อกับ GND



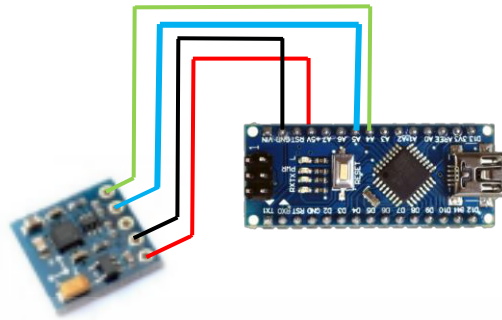
รูปที่ 3.10 การเชื่อมต่อระหว่าง NodeMCU ESP8266 กับ LIDAR: VL53L1X และ Servomotor: SG90

2.2 Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor (HMC5883L) [14]

ในการระบุตำแหน่งของรถ AGV เพื่อให้ทราบว่ในขณะการทำงาน รถ AGV กำลังหันหน้าไปทางทิศใด เนื่องจากต้นแบบรถ AGV ถูกออกแบบมาให้สามารถขับเคลื่อนได้ทั้งแปดทิศทาง ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องบอกทิศทางที่รถ AGV หันหน้าไปได้ โดยใช้ HMC5883L หรือเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ ควบคุมการทำงานด้วย Arduino Nano เชื่อมต่อกับ HMC5883L แสดงดังรูปที่ 3.12 โดยการเชื่อมต่อของสายสีฟ้าเชื่อมต่อระหว่าง SDA กับ A5 สีเขียวเชื่อมต่อระหว่าง DRDY กับ A4 สีแดงเชื่อมต่อระหว่าง Vcc กับ 5V และสีดำเชื่อมต่อระหว่าง GND กับ GND



รูปที่ 3.11 Electronic Compass Module Magnetic Field Sensor (HMC5883L)

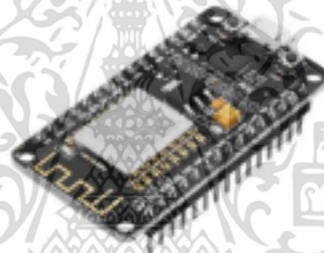


สีฟ้า : SDA เชื่อมต่อกับ A5
 สีเขียว : DRDY เชื่อมต่อกับ A4
 สีแดง : Vcc เชื่อมต่อกับ 5V
 สีดำ : GND เชื่อมต่อกับ GND

รูปที่ 3.12 การเชื่อมต่อ HMC5883L กับ Arduino Nano

3. ระบบการสื่อสาร (Communication System)

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบสื่อสาร ได้แก่ NodeMCU ESP8266 [28]



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์ NodeMCU ESP8266

4. ระบบความปลอดภัย (Safety System)

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบความปลอดภัย ได้แก่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module [29] โดยออกแบบให้มีการติดตั้ง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ที่ได้ตัวรถ AGV บริเวณหน้ารถ สูงจากพื้น 2 เซนติเมตร และกำหนดให้ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module สามารถตรวจจับวัตถุในระยะใกล้ที่สุด 6 เซนติเมตรและระยะที่ไกลที่สุดอยู่ที่ 10 เซนติเมตร



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module

ออกแบบให้มีการติดตั้ง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ที่บริเวณใต้รถ AGV สูงจากพื้น 2 เซนติเมตร

5. ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System)

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจัดการพลังงาน ได้แก่ แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 [30]



รูปที่ 3.15 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650

การทดสอบ (Testing) คือการนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและการออกแบบที่กำหนดให้ในระบบต่างๆ รวมไปถึงอุปกรณ์ในแต่ละระบบที่ทำการเชื่อมกับตัวควบคุมการทำงาน ตัวแปลงค่าและตัวส่งสัญญาณ เรียบร้อยแล้ว นำมาคำนวณหาค่าที่จำเป็นต้องใช้ในแต่ละระบบและนำมาทดสอบในสถานที่ที่กำหนด เพื่อตรวจสอบการทำงานของรถ AGV

3.3 การทดสอบระบบขับเคลื่อน

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน คือ Step motor 42SHDC3025-24B การทำงานของมอเตอร์ ต้องใช้การป้อนคำสั่งผ่าน Arduino Uno R3 โดยใช้ Driver A4988 เป็นตัวควบคุม Step และ Direction ของมอเตอร์ โดยใช้การจ่ายไฟแบบ Haft Step เมื่อต้องการให้รถ AGV เคลื่อนที่ด้วยความเร็วตามที่ ต้องการ ในการเริ่มต้นการเคลื่อนที่ของรถ AGV จะใช้การหมุนล้อเพื่อออกตัวก่อนที่จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ คล้ายกับการเหยียบคันเร่งของรถยนต์ที่ต้องค่อยๆเหยียบคันเร่งลงไปทีละนิดก่อนจะเร่งความเร็วรถให้คงที่ เรียกว่า Soft Start เพื่อให้ Step motor สามารถทำความเร็วได้ตามต้องการโดยการค่อยๆไต่ระดับความเร่งขึ้น กำหนดให้มอเตอร์หมุนเพื่อทำการ soft Start เป็นจำนวน 75 Step โดยจ่ายไฟเข้าแต่ละ step ให้มีช่วงเวลาห่างกัน เป็นไปตามสมการที่ (3.1)

$$\text{delay time}_i = 1 - \left(\frac{2}{C * S_{st}} \right) * \text{delay time}_{i-1} \quad (3.1)$$

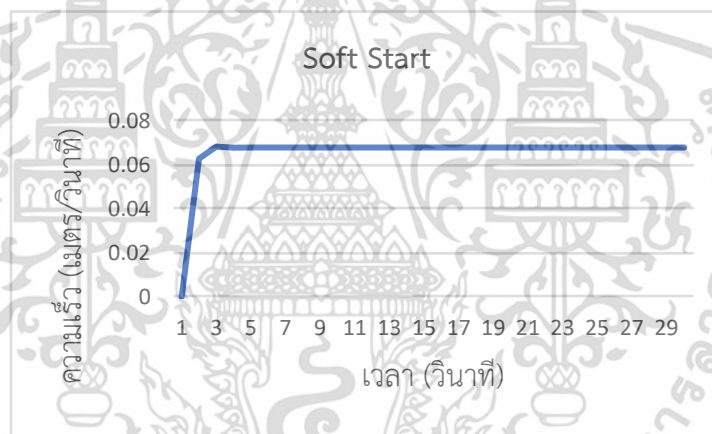
เมื่อ delay time_i = ระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง Step

delay time_{i-1} = ระยะเวลาที่ใช้ในการจ่ายไฟระหว่าง Step ก่อนหน้า

C = ค่าความชันของการ Soft Start

S_{st} = ค่าของลำดับของ Step กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมื่อจ่ายไฟถึงให้ Step ถัดไป
ค่าของ S ในลำดับถัดไปจะเพิ่มขึ้นทีละ 1

เมื่อกำหนดให้ C > 2 กราฟของความเร็วเทียบกับเวลาโดยใช้ค่า Delay Time จะได้กราฟในช่วง Soft Start มีลักษณะแบบโค้งขึ้น เพื่อให้การออกตัวของรถ AGV ค่อยๆไต่ระดับความเร็วไปจนถึงค่าความเร็วที่ต้องการได้พอดีภายใน 75 Step จึงต้องใช้ค่าความชันที่มากกว่า 2 เพื่อให้กราฟของการ Soft Start มีลักษณะโค้งขึ้น โดยกำหนดให้ C มีค่าเท่ากับ 2.5 และกำหนดให้ Delay Time เริ่มต้นมีค่า 0.1 วินาที เมื่อพล็อตกราฟของการ Soft Start ไปจนได้ความเร็วตามที่ต้องการจะได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการซอฟต์แวร์และเวลา

หลังจาก Soft Start รถ AGV จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ โดยจ่ายไฟให้แต่ละ Step ด้วยระยะเวลาที่เท่ากัน เมื่อรถ AGV เคลื่อนที่จนถึงที่หมายจะทำการควบคุมมอเตอร์ให้หยุดหมุนล้อของรถ AGV โดยจ่ายไฟให้ Step Motor ค่อยๆหมุนช้าลง ลักษณะเดียวกับการเหยียบเบรคของรถยนต์ ที่เรียกว่า Soft Stop เพื่อป้องกันการหยุดอย่างกะทันหันและอาจทำให้ไม่ตรงตามตำแหน่งที่ต้องการ จึงต้องควบคุมให้มอเตอร์ทำการ Soft Stop โดยกำหนดให้มอเตอร์หมุนช้าลงเป็นจำนวน 75 Step ก่อนที่รถ AGV จะหยุด โดยจ่ายไฟเข้าแต่ละ Step ให้มีช่วงเวลาห่างกัน เป็นไปตามสมการที่ (3.2)

$$\text{delay time}_i = \frac{\text{delay time}_{i-1}}{1 - \left(\frac{2}{C * S_{sp}}\right)} \quad (3.2)$$

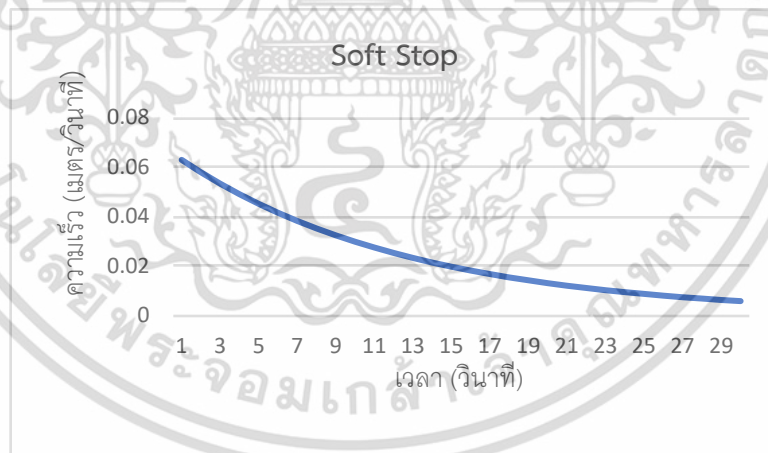
เมื่อ delay time_i = ระยะเวลาในการจ่ายไฟระหว่าง Step

delay time_{i-1} = ระยะเวลาที่ใช้ในการจ่ายไฟระหว่าง Step ก่อนหน้า

C = ค่าความชันของการ Soft Stop

S_{sp} = ค่าของลำดับของ Step กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 เมื่อจ่ายไฟถึงให้ Step ถัดไป

ค่าของ S ในลำดับถัดไปจะลดลงทีละ 1 จนกระทั่ง มีค่าเป็น 1 จะให้ delay time จะเท่ากับ 0.1 วินาที ไปจนกว่าความเร็วของรถ AGV จะเท่ากับ 0 หรือหยุดนิ่ง เมื่อกำหนดให้ $C < 2$ จะได้กราฟค่าของความเร็วเทียบกับเวลาโดยใช้ค่า delay time จะได้กราฟในช่วง Soft Stop เป็นกราฟลักษณะเว้าลง เพื่อให้การออกตัวของรถ AGV ค่อยๆลดระดับความเร็วลงจนรถ AGV หยุดนิ่งภายใน 75 Step จึงต้องใช้ค่าความชันที่น้อยกว่า 2 เพื่อให้กราฟของการ Soft Stop มีลักษณะเว้าลง โดยกำหนดให้ C มีค่าเท่ากับ 1.5 และกำหนดให้ delay time เริ่มต้นมีค่า 0.1 วินาที เมื่อพล็อตกราฟของการ Soft Stop ไปจนรถ AGV หยุดนิ่ง จะได้กราฟลักษณะดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการขอพาสต์อปและเวลา

การเขียนโปรแกรม Soft Start ในระบบขับเคลื่อน จากสมการการหาค่าระยะเวลาในการจ่ายไฟ สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดค่าระยะเวลาให้กับรถ AGV ได้ดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19

```
int delay_us = initDelay;
int stepn = 10;
int nextDelayAcc()
{
  stepn++;
  delay_us = (int) ((1- 2.0/(curvity * stepn)) * delay_us);
}
```

รูปที่ 3.18 การเขียนสมการการ Soft Start ในโปรแกรม Arduino IDE

```
for (int x=0; x<rampSteps; x++)
{
  digitalWrite(stepPinx, HIGH);
  delayMicroseconds(delay_us);
  digitalWrite(stepPinx, LOW);
  delayMicroseconds(delay_us);

  digitalWrite(stepPiny, HIGH);
  delayMicroseconds(delay_us);
  digitalWrite(stepPiny, LOW);
  delayMicroseconds(delay_us);

  digitalWrite(stepPinz, HIGH);
  delayMicroseconds(delay_us);
  digitalWrite(stepPinz, LOW);
  delayMicroseconds(delay_us);

  digitalWrite(stepPina, HIGH);
  delayMicroseconds(delay_us);
  digitalWrite(stepPina, LOW);
  delayMicroseconds(delay_us);

  nextDelayAcc();
}
```

รูปที่ 3.19 การเขียนคำสั่งการทำงานของมอเตอร์แบบ Soft Start

การเขียนโปรแกรม Soft Stop ในระบบขับเคลื่อน จากสมการการหาค่าระยะเวลาในการจ่ายไฟ สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดค่าระยะเวลาให้กับรถ AGV ได้ดังรูปที่ 3.20 และ รูปที่ 3.21

```

int delay_us = initDelay;

int nextDelayDec()
{
  if (stepn == 1)
  {
    delay_us = initDelay;
  }
  else
  {
    stepn--;
    delay_us = (int) (delay_us/(1- 2.0/(curvity * stepn)));
  }
}

```

รูปที่ 3.20 การเขียนสมการการ Soft Stop ในโปรแกรม Arduino IDE

```

for (int x=0; x<rampSteps; x++)
{
  digitalWrite (stepPinx, HIGH);
  delayMicroseconds (delay_us);
  digitalWrite (stepPinx, LOW);
  delayMicroseconds (delay_us);

  digitalWrite (stepPiny, HIGH);
  delayMicroseconds (delay_us);
  digitalWrite (stepPiny, LOW);
  delayMicroseconds (delay_us);

  digitalWrite (stepPinz, HIGH);
  delayMicroseconds (delay_us);
  digitalWrite (stepPinz, LOW);
  delayMicroseconds (delay_us);

  digitalWrite (stepPina, HIGH);
  delayMicroseconds (delay_us);
  digitalWrite (stepPina, LOW);
  delayMicroseconds (delay_us);

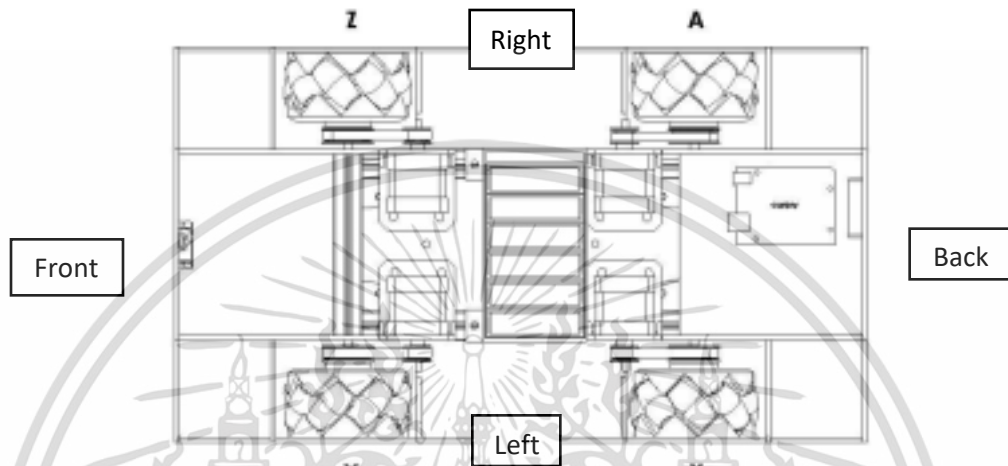
  nextDelayDec ();
}

```

รูปที่ 3.21 การเขียนคำสั่งการทำงานของมอเตอร์แบบ Soft Stop

การควบคุมทิศทางในการเคลื่อนที่ของรถ AGV ให้สามารถขับเคลื่อนได้ทั้งแปดทิศทาง โดยใช้ล้อแบบ Mecanum wheel จะต้องทำการควบคุมทิศทางในการหมุนของแต่ละล้อให้ถูกต้อง เพื่อให้แรงของ

ล้อส่งตัวรถให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ต้องการ เมื่อทำการติดตั้งมอเตอร์กับล้อ Mecanum wheel วางตำแหน่งของล้อหน้าและล้อหลัง โดยให้ล้อหน้าฝั่งซ้าย ล้อหลังฝั่งซ้าย ล้อหน้าฝั่งขวา และล้อหลังฝั่งขวา เป็นล้อ X, Y, Z, A ตามลำดับดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ตำแหน่งของล้อ X, Y, Z, A

สำหรับการติดตั้งมอเตอร์กับล้อ Mecanum wheel ให้หันล้อทั้งสี่ล้อหันให้ Roller ของแต่ละล้อ อยู่ในแนวเส้นทแยงมุมของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากที่มีล้อทั้งสี่ล้ออยู่ที่มุมของรูปสี่เหลี่ยมมุมฉากนั้น เพื่อที่จะทำให้การหมุนล้อในแต่ละทิศทางสามารถส่งแรงให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปตามแต่ละทิศทางได้อย่างถูกต้อง ในการควบคุมทิศทางของรถ AGV ให้เคลื่อนที่ จะต้องควบคุมมอเตอร์ให้หมุนล้อต่างๆในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้รถเคลื่อนที่ไป ในการควบคุมการหมุนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ให้โปรแกรม Output Direction ของมอเตอร์ เป็น LOW และทิศทางทวนเข็มนาฬิกาให้โปรแกรม Output Direction ของมอเตอร์เป็น HIGH การเคลื่อนที่ของรถ AGV มีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 8 ทิศทาง แบ่งออกเป็น 10 ลักษณะการเคลื่อนที่ได้แก่

1. การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

หมุนล้อ X และล้อ Y ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และหมุนล้อ Z และล้อ A ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

2. การเคลื่อนที่ถอยหลัง

หมุนล้อ X และล้อ Y ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หมุนล้อ Z และล้อ A ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

3. การเคลื่อนที่ไปทางซ้าย

หมุนล้อ X และล้อ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หมุนล้อ Y และล้อ A ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

4. การเคลื่อนที่ไปทางขวา

หมุนล้อ X และล้อ Z ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา หมุนล้อ Y และ ล้อ A ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

5. การเคลื่อนที่เฉียงขึ้นไปทางซ้าย

หมุนล้อ Y ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา หมุนล้อ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไม่ต้องหมุนล้อ X และ A

6. การเคลื่อนที่เฉียงขึ้นไปทางขวา

หมุนล้อ X ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา หมุนล้อ A ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไม่ต้องหมุนล้อ Y และ Z

7. การเคลื่อนที่เฉียงลงไปทางซ้าย

หมุนล้อ X ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หมุนล้อ A ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ไม่ต้องหมุนล้อ Y และ Z

8. การเคลื่อนที่เฉียงลงไปทางขวา

หมุนล้อ Y ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา หมุนล้อ Z ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ไม่ต้องหมุนล้อ X และ A

9. การเคลื่อนที่แบบหมุนไปทางซ้าย

หมุนล้อ X, Y, Z และ A ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

10. การเคลื่อนที่แบบหมุนไปทางขวา

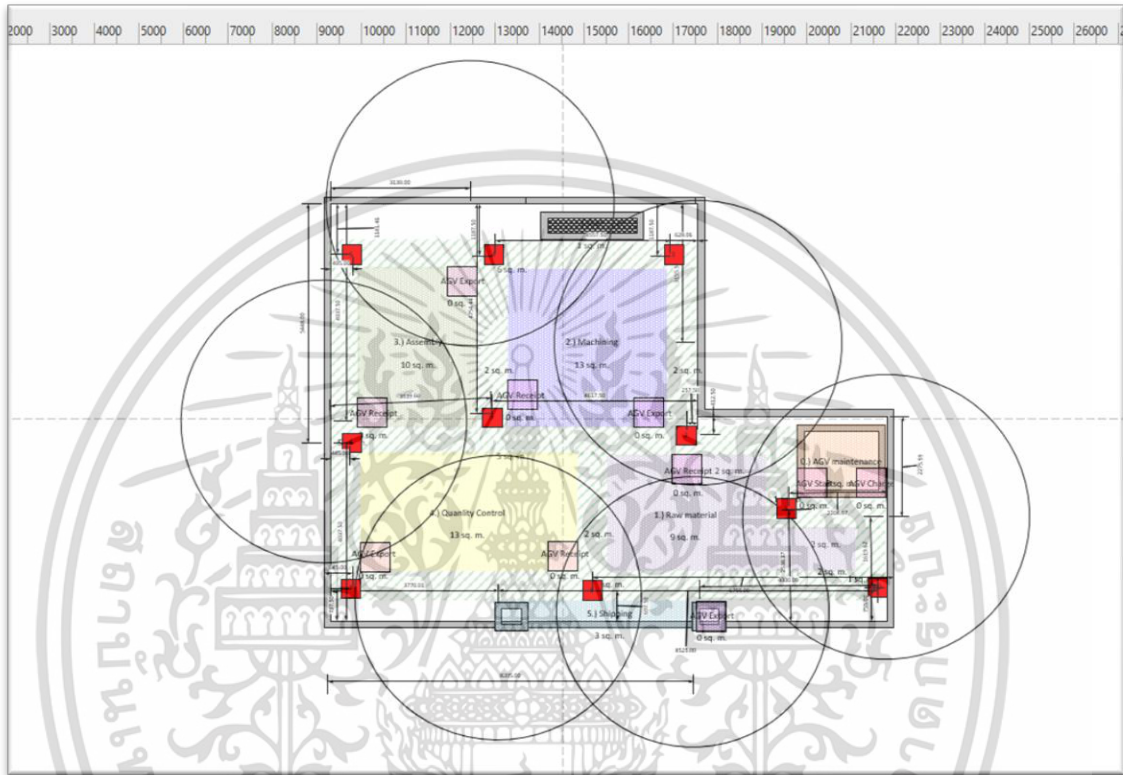
หมุนล้อ X, Y, Z และ A ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

การทดสอบระบบขับเคลื่อน จะทำการจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่โดยบรรทุกวัสดุที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัมถึง 5 กิโลกรัม ในระยะทาง 0.72 เมตร ทำการจับเวลาจำนวน 10 ครั้งต่อหนึ่งค่าน้ำหนักที่บรรทุกแล้วนำมาเปรียบเทียบกับความเร็วที่กำหนดไว้ ทดสอบการเคลื่อนที่ของรถ AGV ทั้ง 8 ทิศทางการหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาของรถ AGV พร้อมทั้งทดสอบการ Soft Start และ Soft Stop ของรถ AGV ว่าสามารถลดการกระชากของมอเตอร์ในตัวรถ AGV ตามที่กำหนดหรือไม่

3.4 การทดสอบระบบนำร่อง

การระบุตำแหน่งเส้นทางการเดินของรถ AGV ใช้การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองเพื่อระบุสถานีนางาน ตำแหน่งจอดของรถ AGV และเส้นทางที่สามารถเคลื่อนที่ได้ การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองใช้โปรแกรม Visio ในการออกแบบแผนผังจำลอง สถานที่ที่ใช้ในการจำลองผังโรงงานคือชั้นที่ 1 ของตึกวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีพื้นที่ทั้งหมด 99.255 ตารางเมตร ในแผนผังแบบจำลอง ได้จำลองสถานีนางานทั้งหมด 5 สถานีนางาน มีจุดในการรับและส่งสินค้าในแต่ละสถานี จุดสำหรับจอดรถAGVและจุดชาร์จแบตเตอรี่สำหรับรถ AGV

การสร้างแผนผังโรงงานแบบจำลองเป็นจุดเริ่มต้นของการกำหนดเส้นทางในการเดินของรถ AGV การระบุตำแหน่งที่ชัดเจนและสามารถนำมาใช้ออกคำสั่งให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดไว้ จำเป็นต้องใช้ระบบสัญญาณ Wi-Fi ในการเก็บข้อมูลเพื่อระบุตำแหน่งที่ต้องการออกมาเป็นพิกัด

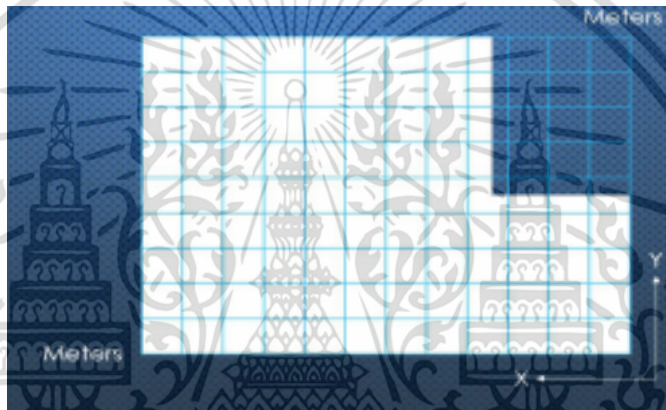


รูปที่ 3.23 ตำแหน่งและการกระจายของตัวสัญญาณ Wi-Fi

ในระบบระบุตำแหน่งของรถ AGV ต้องทำการเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi โดยการนำตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi ติดตามจุดที่กำหนดในพื้นที่ทดลอง นำตัวอ่านค่าสัญญาณ Wi-Fi อ่านข้อมูลความแรงของสัญญาณที่ตำแหน่งนั้น และเก็บบันทึกผลที่ได้ลงใน Excel เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการคำนวณหาระยะทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งออกมาเป็นพิกัดที่สามารถระบุตำแหน่งให้กับรถ AGV พิกัดที่ได้จากการคำนวณใช้สำหรับป้อนข้อมูลเส้นทางในการเดินของรถ AGV ให้เคลื่อนที่บนเส้นทางที่กำหนดไว้ในการคำนวณหาระยะทางโดยใช้สัญญาณ Wi-Fi ใช้หลักในการลดทอนของสัญญาณ เพื่อระบุว่ารถ AGV อยู่ตำแหน่งไหน ใกล้กับตัวกระจายสัญญาณตัวไหนมากที่สุดและเพื่อระบุตำแหน่งที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จำเป็นต้องใช้ตัวกระจายสัญญาณหรือภาคส่ง ทั้งหมด 6 ตัว

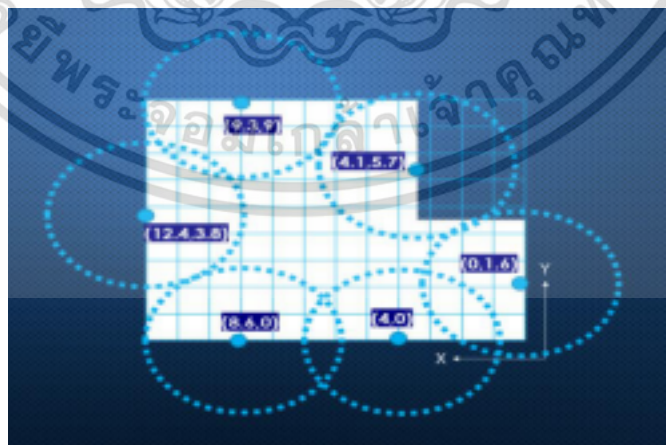
3.4.1 การติดตั้งตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi

ตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi ถูกติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดในแผนผังที่วางไว้ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง และสูงจากระดับพื้น 2 เมตร โดยใช้หลักการกระจายสัญญาณทั้ง 6 ตำแหน่งให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุด รัศมีการกระจายสัญญาณ Wi-Fi ในแต่ละตำแหน่ง กำหนดให้มีค่า 3 เมตร รัศมีวงกลมในรูปที่ 3.23 เนื่องจาก ESP8266 ที่เลือกใช้สามารถกระจายสัญญาณได้ดีในช่วงระยะ 50 เซนติเมตร ถึง 300 เซนติเมตร หากมากกว่านั้นจะมีการแทรกซ้อนของคลื่นสัญญาณอื่นมากขึ้นเนื่องจากความแรงของสัญญาณลดลง เพื่อระบุตำแหน่งและออกคำสั่งให้กับรถ AGV ใช้การระบุพิกัดเป็นแบบพิกัด (X,Y) โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นช่อง ช่องละ 1x1 เมตร ทัวทั้งพื้นที่ตามแนวแกน X และแกน Y ดังรูปที่ 3.24



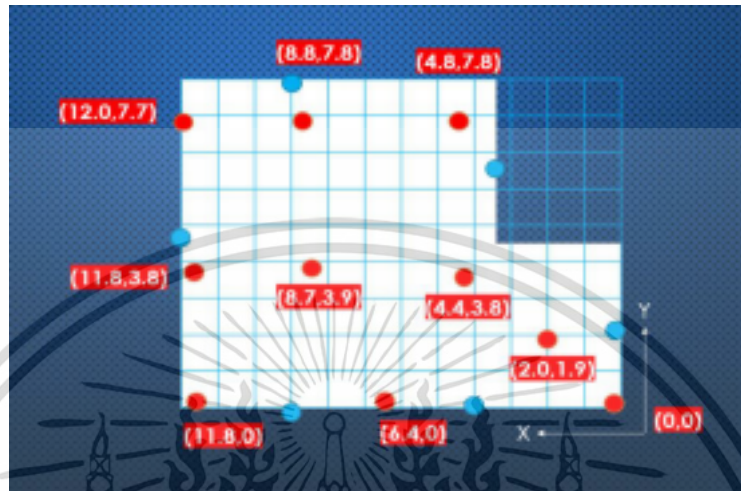
รูปที่ 3.24 การแบ่งสัดส่วนช่องพิกัดในบริเวณพื้นที่ทดลอง

วางตำแหน่งตัวกระจายสัญญาณตามจุดที่กำหนดในแผนผังจำลอง ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ตำแหน่งตัวกระจายสัญญาณสัญญาณ Wi-Fi

กำหนดตำแหน่งที่ต้องการทำการเก็บข้อมูลสัญญาณ โดยตำแหน่งที่เลือกเป็นตำแหน่งสำคัญในการควบคุมการทำงานของรถ AGV ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเส้นทางการเลี้ยวหรือทางแยกในแผนผังจำลอง



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งของตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi และ ตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูลสัญญาณ

3.4.2 การตรวจรับค่าสัญญาณ Wi-Fi

การเก็บข้อมูลการกระจายสัญญาณของ Wi-Fi ในการทดลอง ได้กำหนดตำแหน่งที่ต้องการเก็บค่าความแรงของสัญญาณทั้งหมด 10 ตำแหน่งในรูปแบบการกระจายตามพื้นที่และตามตำแหน่งที่ติดตั้งสัญญาณ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่มากที่สุดและเกิดค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ดังรูปที่ 3.26 ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น การเก็บค่าความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ใช้ ESP8266 Receiver เป็นตัวรับค่าสัญญาณโดยเชื่อมต่อกับโปรแกรม Excel เพื่อแสดงข้อมูลและจัดเก็บข้อมูลสัญญาณ Wi-Fi ทั้งหมด 160 ค่า ในหน่วยเดซิเบล (Decibel ; dB) ค่าที่ได้เป็นค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละตำแหน่งและแสดงข้อมูลออกมาเป็นค่าติดลบ (-) ยิ่งติดลบน้อยแปลว่าค่าสัญญาณที่ตำแหน่งนั้นแรงหรืออยู่ใกล้กับตัวกระจายสัญญาณ

3.4.3 การคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างตัวกระจายและตัวรับสัญญาณจากค่าความแรงของสัญญาณ

เนื่องจากค่าความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ที่สามารถรับได้ในระยะทางจากตัวรับสัญญาณถึงตัวกระจายสัญญาณ เกิดการลดทอนของสัญญาณ ทำให้มีความสัมพันธ์เป็นไปตามแบบจำลองการสูญเสียในช่องว่างอิสระ (Free-space path loss model) หมายถึงการสื่อสารที่สัญญาณไม่มีการสะท้อนกับพื้นผิวโลกก่อนเดินทางไปถึงตัวรับสัญญาณ [31] โดยสมมุติให้ตัวกระจายสัญญาณและตัวรับสัญญาณแทนด้วยจุดในช่องว่างอิสระ ความแรงสัญญาณที่รับได้จากตัวรับสัญญาณ (L_p) หาได้จากสมการที่ (3.3)

$$L_p = \frac{P_t}{P_r} \quad (3.3)$$

เมื่อ P_r คือ กำลังเฉลี่ยของตัวรับสัญญาณ หน่วยวัตต์ (watt)

P_t คือ กำลังเฉลี่ยของตัวกระจายสัญญาณ หน่วยวัตต์ (watt)

L_p คือ ความแรงสัญญาณที่รับได้จากตัวรับสัญญาณ หน่วยวัตต์ (watt)

ค่ากำลังเฉลี่ยของตัวรับสัญญาณ (P_r) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.4)

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi f d}\right)^2 \quad (3.4)$$

เมื่อ G_t คือ อัตราขยายสัญญาณของตัวกระจายสัญญาณ

G_r คือ อัตราขยายสัญญาณของตัวรับสัญญาณ

c คือ ความเร็วของแสง หน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)

f คือ ความถี่ หน่วยเมกะเฮิรต์ (MHz)

d คือ ระยะทางระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวรับสัญญาณ หน่วยกิโลเมตร (km)

จากสมการ $L_p = \frac{P_t}{P_r}$ ความแรงสัญญาณที่รับได้จากตัวรับสัญญาณ สามารถแปลงเป็นหน่วยเดซิเบล (dB) ได้ดังสมการที่ (3.5)

$$\begin{aligned} L_p &= -10\log_{10} \left[G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi f d}\right)^2 \right] \quad (3.5) \\ &= -10\log_{10} G_t - 10\log_{10} G_r - 10\log_{10} \left[\left(\frac{c}{4\pi f d}\right)^2 \right] \\ &= -10\log_{10} G_t - 10\log_{10} G_r - 20\log_{10} \left[\left(\frac{c}{4\pi f d}\right) \right] \\ &= -10\log_{10} G_t - 10\log_{10} G_r - 20\log_{10} \left[\left(\frac{c}{4\pi f}\right) \right] + 20\log_{10}(d) \end{aligned}$$

แทนค่า c เท่ากับ 3×10^8 m/s และกำหนดให้ $(-10\log_{10} G_t - 10\log_{10} G_r)$ แทนด้วยตัวแปร G

$$\begin{aligned} L_p &= -20\log_{10} \left[\left(\frac{3 \times 10^8}{4\pi f}\right) \right] + 20\log_{10}(d) + G \quad (3.6) \\ &= -20\log_{10}[(3 \times 10^8)] + 20\log_{10}(4\pi) + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) + G \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -169.54 + 21.98 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) + G \\
&= 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147.56 + G
\end{aligned}$$

ทำการแปลงหน่วยของ f และ d ให้เป็นเฮิรต์ (Hz) และเมตร (m) ตามลำดับ ได้ตั้งสมการที่ (3.7)

$$\begin{aligned}
L_p &= 20\log_{10}(f \times 10^6) + 20\log_{10}(d \times 10^3) - 147.56 + G \quad (3.7) \\
&= 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(10^6) + 20\log_{10}(10^3) - 147.56 + G \\
&= 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) + 32.44 + G
\end{aligned}$$

กำหนดให้ $32.44 + G$ เท่ากับ G_1

$$L_p = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) + G_1 \quad (3.8)$$

สามารถหาค่า d จากสมการที่ (3.9)

$$d = 10^{\left(G_1 - \frac{(20\log_{10} [f]) + L_p}{20}\right)} \quad (3.9)$$

เมื่อ f มีค่าเท่ากับ 2400 เมกะเฮิรต์ (MHz) และกำหนดให้ $10^{G + \frac{(20\log_{10} [f])}{20}}$ เท่ากับตัวแปร K

$$d = 10^{\left(\frac{L_p}{20}\right)} * K \quad (3.10)$$

เมื่อ d คือ ระยะทางระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวรับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ หน่วยเมตร (m)

เนื่องจากค่า K เป็นค่าอัตราขยายสัญญาณของตัวกระจายและตัวรับสัญญาณที่มีผลต่อการคำนวณหาระยะทาง [31] การหาค่า K จำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง และนำข้อมูลที่ได้อ่านย้อนกลับเพื่อหาค่า K จากสมการที่ (3.11)

$$K = \frac{d_1}{10\left(\frac{L_p}{20}\right)} \quad (3.11)$$

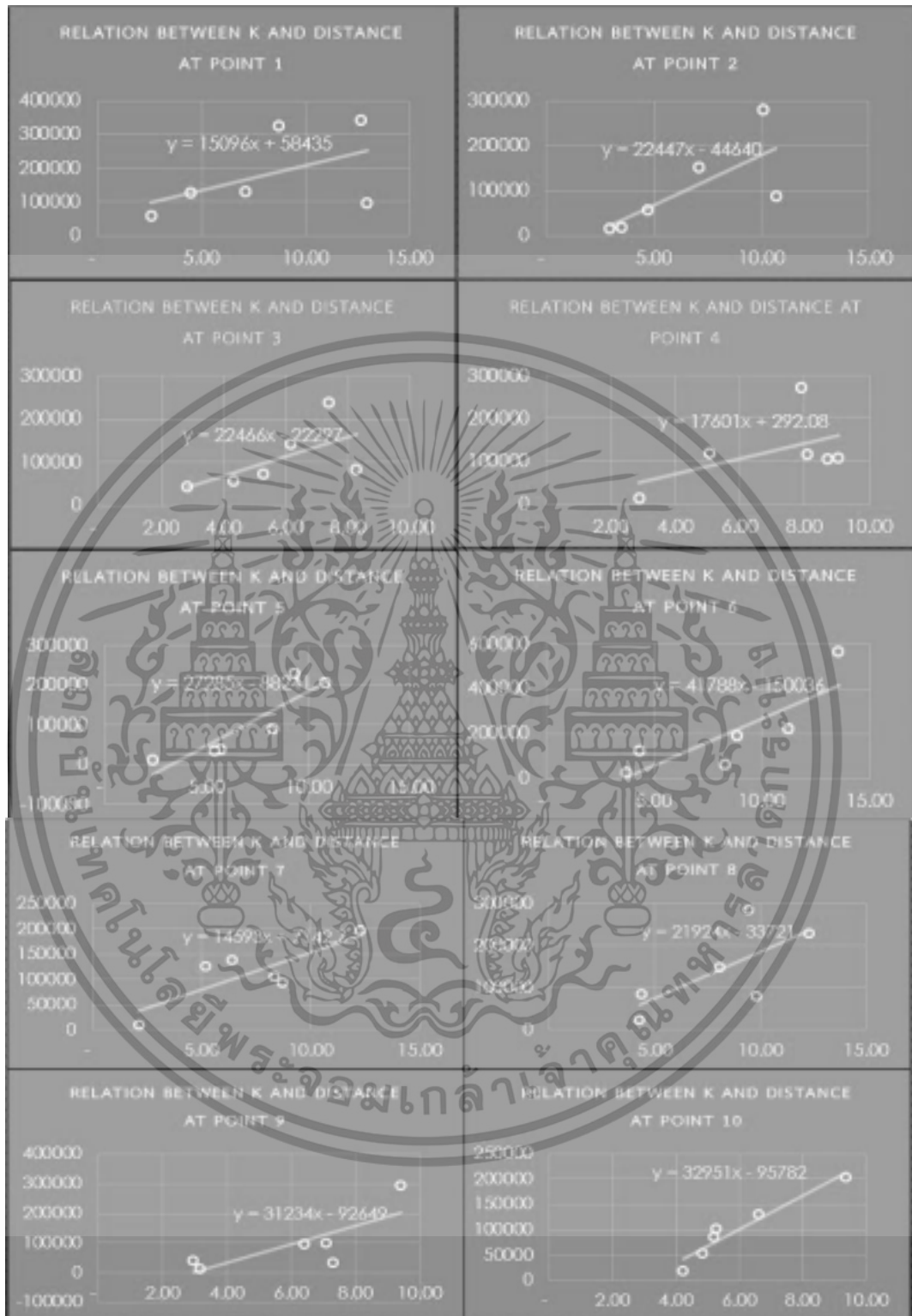
เมื่อ d_1 คือ ระยะทางระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวรับสัญญาณจากพื้นที่จริง หน่วยเมตร (m)

เนื่องจากค่าความแรงสัญญาณ (L_p) มีค่าไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลสัญญาณเป็นจำนวนมาก (ในการทดลอง เก็บข้อมูลทั้งหมด 160 ค่า ในแต่ละตำแหน่ง) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ คำนวณหาค่า K ในแต่ละตำแหน่งโดยตัวรับสัญญาณและตัวกระจายสัญญาณ 1 คู่จะได้ค่า K ทั้งหมด 160 ค่า จากการทดลองแล้วนำมาเฉลี่ยให้ค่า K แต่ละตำแหน่งเหลือตำแหน่งละ 10 ค่า แล้วนำค่า K เฉลี่ยมาพล็อตลงกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของค่า K และระยะทางจริง [31] จากการทดลองเก็บข้อมูลและคำนวณหาค่า K เฉลี่ย ในแต่ละตำแหน่งทั้งหมด 10 ตำแหน่ง ได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.1 และสามารถพล็อตกราฟค่า K ได้ดังรูปที่ 3.27

ตารางที่ 3.1 ค่า K เฉลี่ยเทียบกับระยะทางจริง

ส่วนที่ 1		ส่วนที่ 2		ส่วนที่ 3		ส่วนที่ 4		ส่วนที่ 5	
True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K
4.5	128257.281	3.51	10426.69	4.32	55574.28	8.09	115529.5	9.29	229438.5
8.7	324759.049	7.08	151270.9	6.14	141271.3	9.05	108552.5	8.26	89357.45
12.95	59037.0894	10.06	86677.52	8.27	83729.98	8.72	105181.2	5.68	39593.88
12.65	343435.476	10.1	279521.8	7.38	239096.7	5.05	119742.6	2.36	10982.48
7.1	130021.809	4.74	56873.03	2.84	43004.25	2.87	12875.26	5.38	34467.02
2.256	57652.1115	2.97	15159	5.26	72324.64	7.9	273491.7	10.82	206972.9

ส่วนที่ 6		ส่วนที่ 7		ส่วนที่ 8		ส่วนที่ 9		ส่วนที่ 10	
True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K	True Distance	K
11.22	220613.6	8.72	94238.41	8.08	149139	3.14	14084.03	6.61	131.060.7
8.88	191551.3	5.19	125979.5	4.27	24011.97	2.94	39154.85	4.81	54010.51
4.31	122644.7	2.12	8932.963	4.36	85185.81	7.31	33667.12	4.21	18455.08
3.69	27243.02	6.37	137963	9.39	285202.7	9.41	293846.4	5.18	85572.57
8.31	61356.02	8.33	105805.5	9.81	80902.72	6.41	96582.48	5.27	101372.5
13.58	565367.7	12.26	197300.5	12.29	229950.1	7.08	100254.5	9.37	202939.5



รูปที่ 3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงจากตัวกระจายสัญญาณถึงตัวรับสัญญาณ กับค่า K เฉลี่ยทั้ง 10 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงกับค่า K เฉลี่ยทั้ง 10 ตำแหน่ง มีลักษณะแปรผันตามกัน ยิ่งระยะทางมากค่า K ยิ่งมาก การประมาณค่า K สามารถคำนวณได้จาก Linear regression หรือ สมการเส้นตรง ซึ่งสมการเส้นตรงของค่า K เป็นฟังก์ชันของระยะทางจากตัวกระจายสัญญาณถึงตัวรับสัญญาณ ดังสมการที่ (3.12) และสมการที่ (3.13)

$$Y = mX + c \quad (3.12)$$

$$k = m[d] + c \quad (3.13)$$

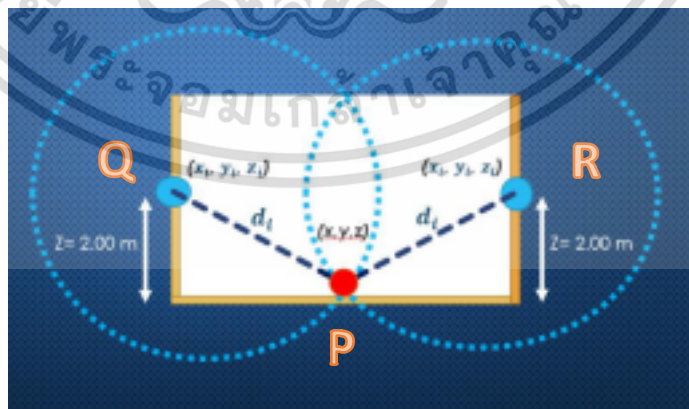
จากสมการข้างต้น เมื่อแทนค่า K ลงในสมการ $[d] = 10^{\left(\frac{L_p}{20}\right)} * K$ จะได้สมการดังสมการที่ (3.14) ในการคำนวณหาค่าระยะทาง ดังนี้

$$[d] = \frac{c * 10^{\frac{L_p}{20}}}{m * 10^{\frac{L_p}{20}} - 1} \quad (3.14)$$

ค่าระยะทาง (d) ที่ได้จากสมการข้างต้น เป็นค่าระยะทางที่นำไปคำนวณหาค่าพิกัดที่ตำแหน่งนั้น เพื่อระบุพิกัดให้กับรถ AGV

3.4.4 การคำนวณหาค่าพิกัดจากรยะทางระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวรับสัญญาณ Wi-Fi

การหาค่าพิกัดเพื่อระบุตำแหน่งและออกคำสั่งให้กับรถ AGV ใช้การระบุพิกัดเป็นแบบพิกัด (X,Y,Z) เมื่อมีการกระจายสัญญาณสูงจากบริเวณพื้น 2 เมตร และระยะห่างระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวกระจายสัญญาณมีค่าเท่ากับ (d_i) ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ระยะห่างระหว่างตัวกระจายสัญญาณและตัวกระจายสัญญาณ

การคำนวณหาค่า (d_i) ในรูปที่ 3.28 ใช้ทฤษฎีพีทาโกรัสในการหาระยะห่างระหว่างจุดเมื่อทราบพิกัดของจุด P Q และ R สามารถคำนวณหาระยะทาง PQ หรือ PR ดังสมการที่ (3.15)

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (3.15)$$

เมื่อ (X,Y,Z) คือ พิกัดตำแหน่งของตัวรับสัญญาณ

(X_i, Y_i, Z_i) คือ พิกัดตำแหน่งของตัวกระจายสัญญาณ

d_i คือ ระยะห่างระหว่างจุด หน่วยเมตร (m)

z มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากตัวรับสัญญาณอยู่ติดพื้น

z_i มีค่าเท่ากับ 2 เนื่องจากตัวกระจายสัญญาณอยู่สูงจากพื้น 2 เมตร

ดังนั้น

$$d_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (0 - 2)^2} \quad (3.16)$$

จากตำแหน่งที่ทำการทดลอง 10 ตำแหน่ง ทำการเลือก 3 ตำแหน่งที่มีค่าสัญญาณมากที่สุด เพื่อนำมาคำนวณหาค่าพิกัด โดยใช้สมการข้างต้นแก้สมการสองตัวแปรเพื่อหาตำแหน่งพิกัด (X,Y) ดังสมการที่ (3.17) สมการที่ (3.18) และสมการที่ (3.19)

$$d_1 = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (0 - 2)^2} \quad (3.17)$$

$$d_2 = \sqrt{(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (0 - 2)^2} \quad (3.18)$$

$$d_3 = \sqrt{(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (0 - 2)^2} \quad (3.19)$$

เมื่อค่า d_1 d_2 และ d_3 สามารถหาได้จากสมการ $[d] = \frac{c \cdot 10^{\frac{L_p}{20}}}{m \cdot 10^{\frac{L_p}{20} - 1}}$

นำทั้ง 3 สมการมาแก้ในรูปแบบของสมการสองตัวแปร

$$(1) - (2) \quad Ax + By = C \quad (3.20)$$

$$(2) - (3) \quad Dx + Ey = F \quad (3.21)$$

จะได้ค่า Y ดังสมการที่ (3.22)

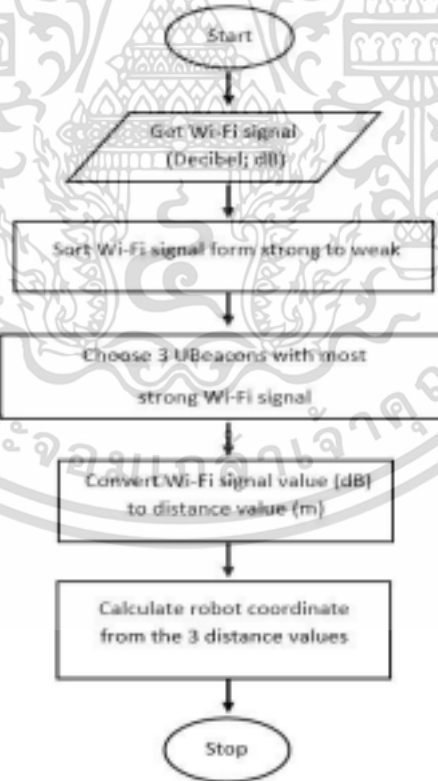
$$Y = \frac{2(X_{S=2}-X_{S=1})[(d_{S=1}^2-d_{S=3}^2)-(X_{S=1}^2-X_{S=3}^2)-(Y_{S=1}^2-Y_{S=3}^2)] - 2(X_{S=3}-X_{S=1})[(d_{S=1}^2-d_{S=2}^2)-(X_{S=1}^2-X_{S=2}^2)-(Y_{S=1}^2-Y_{S=2}^2)]}{2(X_{S=2}-X_{S=1})[2(Y_{S=3}-Y_{S=1})]-2(Y_{S=2}-Y_{S=1})[2(X_{S=3}-X_{S=1})]} \quad (3.22)$$

นำค่า Y ที่ได้ แทนในสมการเพื่อหาค่า X ดังสมการที่ (3.23)

$$X = \frac{[(d_{S=1}^2-d_{S=2}^2)-(X_{S=1}^2-X_{S=2}^2)-(Y_{S=1}^2-Y_{S=2}^2)]-2(Y_{S=2}-Y_{S=1})Y}{2(X_{S=2}-X_{S=1})} \quad (3.23)$$

3.4.5 การเขียนโปรแกรมเพื่อออกคำสั่งให้กับรถ AGV

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อออกคำสั่งให้กับรถ AGV ใช้ NodeMCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมและออกคำสั่งให้กับรถ AGV โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าสัญญาณที่มีค่ามากที่สุดจากตัวกระจายสัญญาณสามตำแหน่งคำนวณเพื่อหาค่าพิกัดของตัวรับสัญญาณที่ติดอยู่กับรถ AGV ขั้นตอนที่ใช้ในการหาค่าก้ดเป็นตามแผนผังลำดับการทำงาน (Flowchart) ของการเขียนโปรแกรมเพื่อหาพิกัดให้รถ AGV ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 แผนผังลำดับการทำงานของการเขียนโปรแกรมเพื่อหาพิกัดให้รถ AGV

การเขียนโปรแกรมเพื่อหาค่าพิกัดให้รถ AGV สามารถทำได้โดยนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ในหน่วยเดซิเบล (dB) เข้าสู่โปรแกรมและใช้คำสั่ง Bubble sort เพื่อเรียงค่าความแรงของสัญญาณจากมากไปน้อย เลือกค่าความแรงของสัญญาณที่มากที่สุด 3 ค่า แล้วนำมาตรวจสอบชนิดของสัญญาณที่ได้รับว่าใช้ตัวกระจายสัญญาณที่เราติดตั้งหรือไม่ หากใช่ให้นำข้อมูลนั้นแปลงค่าสัญญาณในหน่วยเดซิเบล (dB) เป็นค่าระยะทางในหน่วยเมตร (m) เพื่อนำค่าระยะทางที่ได้แทนในสมการหาค่าพิกัด (X,Y) แต่ถ้าหากไม่ใช่ข้อมูลจากตัวกระจายสัญญาณที่ติดตั้งไว้ ให้ทำการเลือกสัญญาณที่มีค่ามากที่สุดใหม่ จนกว่าจะครบ 3 ค่า และนำมาคำนวณดังวิธีข้างต้นเพื่อหาค่าพิกัด (X,Y) ให้รถ AGV

3.4.6 การใช้ LIDAR VL53L1X เพื่อหาเส้นทางให้กับรถ AGV

ในการหาเส้นทางให้กับรถ AGV ได้กำหนดให้ใช้ LIDAR: VL53L1X เพื่อทำการหาเส้นทางที่รถ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่มีอุปสรรคและสิ่งกีดขวาง ดังนั้นจึงควบคุมการทำงานของ LIDAR: VL53L1X ให้ทำการตรวจจับวัตถุและสิ่งกีดขวางที่อยู่ในเส้นทางเคลื่อนที่ของรถ AGV โดย LIDAR: VL53L1X สามารถส่งคลื่นสัญญาณและสะท้อนกลับมาในระยะทางสูงสุดที่ประมาณ 400 เซนติเมตร ซึ่งห่างจากตัวรถ AGV เป็นระยะทางที่ไกลเกินไปสำหรับการตรวจจับสิ่งกีดขวาง ดังนั้น จึงกำหนดให้ LIDAR: VL53L1X ส่งคลื่นสัญญาณออกไปและหากสะท้อนกลับเป็นระยะทางห่างจากตัวรถ AGV 6 เซนติเมตร

The image shows a screenshot of the Arduino IDE. On the left, there is a code editor with the following code:

```

#include <Wire.h>
#include <VL53L1X.h>

int distance;
VL53L1X sensor;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin(D4, D5); // SDA, SCL
  Wire.setClock(400000); // use 400 kHz I2C
  sensor.setTimeout(500);
  if (!sensor.init()) {
    Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
    while (1);
  }
  sensor.setDistanceMode(VL53L1X::Long);
  sensor.setMeasurementTimingBudget(50000);
  sensor.startContinuous(50);
}

void loop() {
  distance = sensor.read() / 10;
  Serial.println(distance);
  delay(100);
}

```

On the right, there is a Serial Monitor window connected to COM6. The output shows the following values:

```

4
5
4
5
4
5
5
5
4
5
4
4
5
4

```

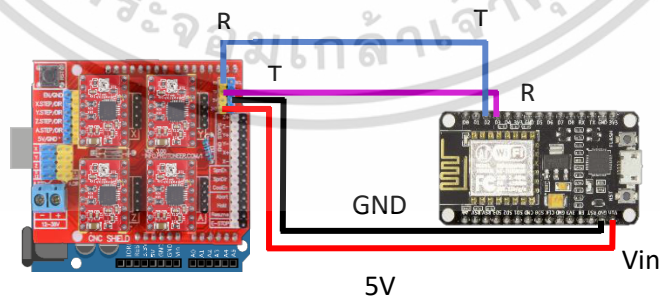
At the bottom of the Serial Monitor, there are checkboxes for "Autoscroll" (checked) and "Show timestamp" (unchecked).

รูปที่ 3.30 การเขียนคำสั่งแสดงค่าระยะทาง แสดงผ่านทาง Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE

เมื่อ LIDAR: VL53L1X สะท้อนสัญญาณกลับมาในระยะทางที่กำหนดไว้ NodeMCU ESP8266 จะทำการส่งข้อมูลไปควบคุมการทำงานให้ระบบขับเคลื่อนทำการเปลี่ยนเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ AGV หรือเคลื่อนที่ในลักษณะหลบหลีกบริเวณที่คลื่นสัญญาณสะท้อนกลับตามระยะทางที่กำหนด เมื่อพ้นจากตำแหน่งบริเวณที่คลื่นสัญญาณสะท้อนกลับตามระยะที่กำหนด รถ AGV จะทำการเคลื่อนที่ไปยังสถานีงานตามคำสั่งที่ได้รับตามเดิมเพื่อให้ทราบถึงระยะทางที่ LIDAR: VL53L1X สะท้อนคลื่นสัญญาณกลับมา จากวัตถุ จึงทำการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อให้แสดงค่าระยะทางเป็นตัวเลข แสดงผ่านทาง Serial Monitor ในโปรแกรม Arduino IDE แสดงดังรูปที่ 3.30

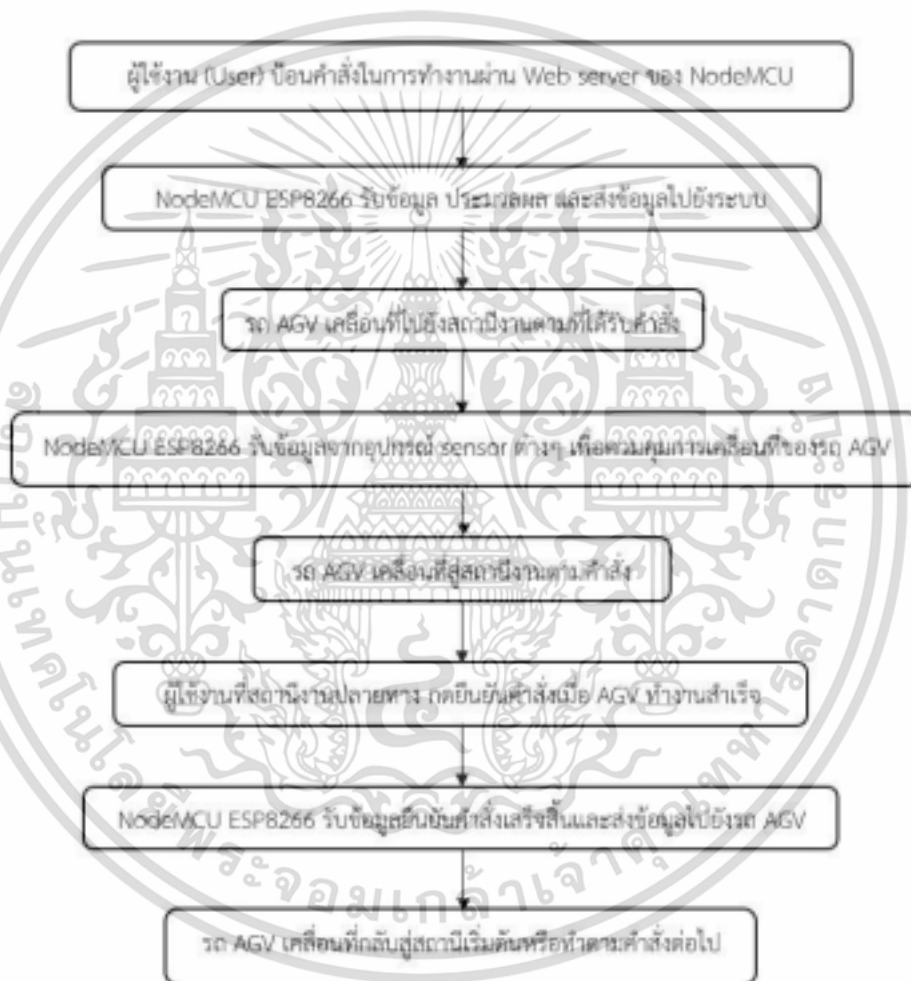
3.5 การทดสอบระบบการสื่อสาร

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการสื่อสารคือ NodeMCU ESP8266 Wi-Fi ใช้การสร้าง Web Server สำหรับจัดการคำสั่งต่างๆ ของรถ AGV และทำหน้าที่เป็นเหมือนกับ Processer ประมวลผลคำสั่งและ ส่งไปยังระบบควบคุมการทำงานต่างๆ ในตัวรถ AGV เมื่อผู้ใช้งาน (User) ทำการส่งคำสั่งผ่าน Web Server คำสั่งนั้นจะถูกส่งผ่าน Wi-Fi ไปยัง NodeMCU ESP8266 เมื่อได้รับคำสั่งหรือข้อมูลจาก Web Server NodeMCU ESP8266 จะทำการประมวลผลก่อนส่งผลไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการตามคำสั่งที่ส่งมา การส่งผ่านคำสั่งหรือข้อมูลจาก NodeMCU ESP8266 ไปยังระบบขับเคลื่อนใช้ CNC shield, Driver A4988 และ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุม จะเชื่อมต่อส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม UART หรือ UARST เป็นการสื่อสารผ่านขาดิจิตอลของ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO R3 ที่เรียกว่า Rx และ Tx การเชื่อมต่อของพอร์ตอนุกรมระหว่าง NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO R3 เชื่อมติดกับ CNC shield เชื่อมต่อกันโดยกำหนดให้ ขา Rx คือ Output จาก NodeMCU ESP8266 ส่งไปยัง Tx ซึ่งเป็น Input ของ Arduino UNO R3 โดยตำแหน่งของพิน Tx ของ Arduino UNO R3 สวมทับกับ CNC shield จึงต้องเชื่อมต่อขา Tx ใน ตำแหน่งดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 การเชื่อมพอร์ตอนุกรม UART หรือ UARST ของ NodeMCU ESP8266 และ Arduino UNO R3 เชื่อมติดกับ CNC shield ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน

นอกจาก NodeMCU ESP8266 ทำหน้าที่ส่งข้อมูลที่เป็นคำสั่งจากผู้ใช้งานผ่าน Web Server ยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลจาก Sensor อื่นๆ ส่งไปยังระบบขับเคลื่อน เพื่อช่วยควบคุมการทำงานในกรณีที่รถ AGV กำลังเคลื่อนที่ อีกทั้งเมื่อรถ AGV เคลื่อนที่ถึงสถานีงาน NodeMCU ESP8266 ยังทำหน้าที่ส่งข้อมูลเพื่อบอกว่ารถ AGV ถึงที่หมายแล้ว การทำงานของระบบการสื่อสารเพื่อใช้สำหรับส่งข้อมูลการทำงานให้รถ AGV ทำงานได้อย่างถูกต้องและสามารถยืนยันว่าทำงานได้สำเร็จลุล่วงตามคำสั่งที่ได้รับจากผู้ใช้งานสามารถสรุปขั้นตอนการทำงานได้ ดังรูปที่ 3.32



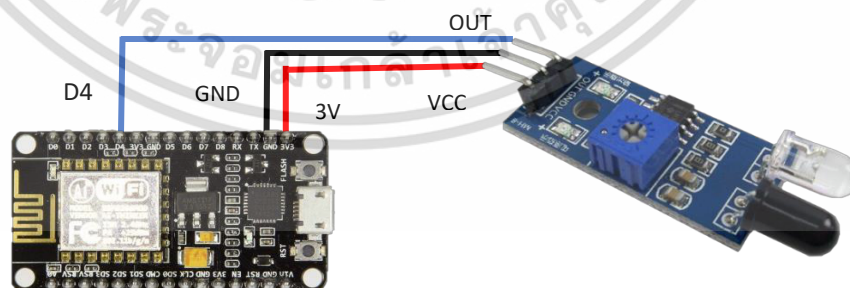
รูปที่ 3.32 แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบการสื่อสาร (Communication System)

ในระบบการสื่อสาร ต้องทำการทดสอบการส่งข้อมูลของตัวรถ AGV จากคอมพิวเตอร์ของ User โดยทำการส่งข้อมูลจาก NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino Uno R3 ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลแบบ Universal Asynchronous Receive Transmit (UART) เพื่อออกคำสั่งให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปยังจุด

ต่างๆที่กำหนดไว้ โดยการทดสอบต้องทำการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งไปยังตัวรถ AGV ว่ารถ AGV สามารถรับค่าจาก User และส่งต่อข้อมูลไปยังตัวควบคุมภายในเพื่อทำตามคำสั่งที่ได้รับหรือพร้อมทั้งตรวจสอบการแสดงผลให้ครบถ้วนตามที่ได้ออกคำสั่งนั้น

3.6 การทดสอบระบบความปลอดภัย

ระบบความปลอดภัยของรถ AGV ตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ คือ การหลีกเลี่ยงการชนกันระหว่างรถ AGV กับสิ่งกีดขวางโดยใช้ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางให้แก่รถ AGV โดยติดตั้งอุปกรณ์ไว้ที่หน้ารถ เมื่อมีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางเส้นทางการเดินของรถ AGV ที่อยู่ในระยะห่างประมาณ 40 mm จากตัวรถ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module จะทำการตรวจจับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางนั้นได้ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module จะส่งข้อมูลไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อออกคำสั่งให้รถ AGV หยุดเคลื่อนที่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการชนกันระหว่างรถ AGV และสิ่งกีดขวาง และส่งไปยังอีกระบบเพื่อหาเส้นทางใหม่หรือเคลื่อนที่หลีกเลี่ยงบริเวณที่มีวัตถุหรือสิ่งกีดขวางกั้นเส้นและวิสัยทัศน์ของรถ AGV ในการทำงานของ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ต้องทำการเชื่อมต่อกับ NodeMCU ESP8266 เพื่อรับส่งข้อมูลในรูปแบบของสัญญาณดิจิทัล เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางในระยะการตรวจจับของ Sensor การส่งข้อมูลจาก Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ไปยัง NodeMCU ESP8266 จะสามารถอ่านค่าได้เท่ากับศูนย์ แต่ถ้าหาก Sensor สามารถตรวจจับวัตถุได้ภายในระยะตรวจจับ จะสามารถอ่านค่าได้เท่ากับหนึ่ง เมื่อ NodeMCU ESP8266 อ่านค่าแล้วจะทำการส่งข้อมูลไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อออกคำสั่งให้รถ AGV หยุดเคลื่อนที่ การเชื่อมต่อระหว่าง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module และ NodeMCU ESP8266 เป็นดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 การเชื่อมต่อระหว่าง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module และ NodeMCU ESP8266

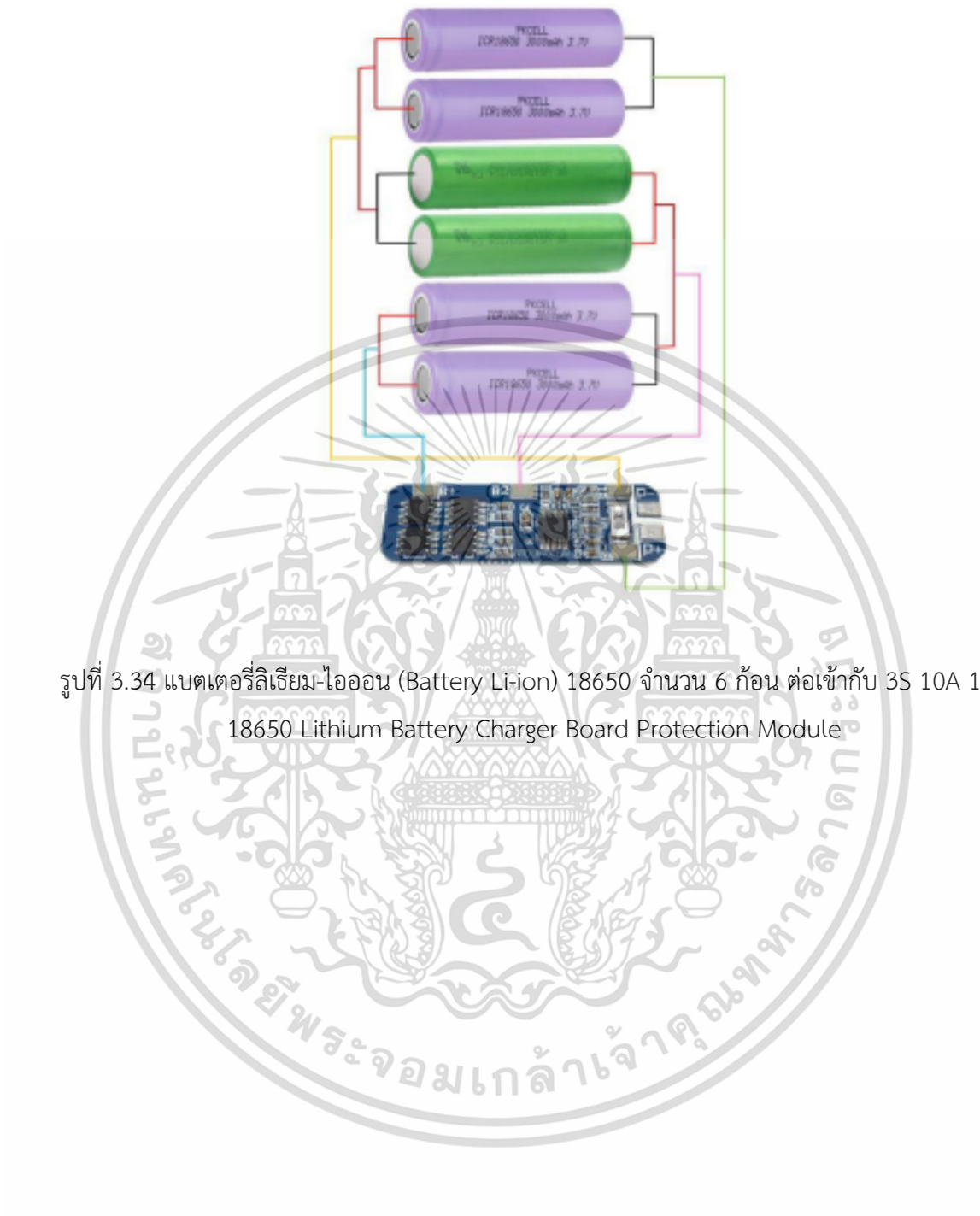
การทดสอบระบบความปลอดภัยสามารถทดสอบได้โดยการนำรถ AGV ที่ได้ทำการโปรแกรมระบบความปลอดภัยแล้ว นำไปเคลื่อนที่ในพื้นที่ทำการทดสอบ และนำสิ่งของที่มีความสูงตั้งแต่ 2 เซนติเมตรขึ้นไป มาวางขวางเส้นทางไว้ในระยะห่างจากตัวรถ 6 เซนติเมตร ตามความสามารถที่ได้กำหนดให้กับ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ในทิศทางตรง และตรวจสอบค่าที่ส่งจาก Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module เมื่อรังสี Infrared สะท้อนกับวัตถุใดๆ ค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับศูนย์และส่งไปยังระบบการขับเคลื่อนเพื่อสั่งงานให้รถ AGV หยุดเคลื่อนที่ หากรังสี Infrared ไม่สะท้อนกับวัตถุใดๆ ค่าที่อ่านได้มีค่าเท่ากับหนึ่ง ระบบการขับเคลื่อนก็ยังคงทำงานตามปกติ

3.7 การทดสอบระบบการจัดการพลังงาน

แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 จำนวน 6 ก้อน เชื่อมต่อกันแบบขนาน 2 ก้อน จำนวน 3 คู่และนำ 3 คู่ นั้นมาต่อกันแบบอนุกรมและต่อเข้ากับอุปกรณ์ช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็น 12 V และแปลงกระแสไฟฟ้าให้ไม่เกิน 10 A เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเกินในวงจร 3S 10A 12V 18650 Lithium Battery Charger Board Protection Module ดังรูปที่ 3.34

โดยการต่อแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 จำนวน 6 ก้อนนั้น จะแบ่งเป็น 3 คู่ โดยเชื่อมสายไฟเป็นวงจรแบบขนานและนำแบตเตอรี่แต่ละคู่มาเชื่อมต่อกันแบบอนุกรม ก่อนที่จะนำไปเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้า สายไฟเส้นสีแดงแสดงถึงการต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่ในแต่ละคู่ และสายไฟสีดำเชื่อมต่อขั้วลบของแบตเตอรี่ในแต่ละคู่ ในการเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับอุปกรณ์ช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้าสายสีเขียวเชื่อมต่อกับขั้ว B- สายสีฟ้าเชื่อมต่อกับขั้ว B+ สายสีเหลือง เชื่อมต่อกับขั้ว B1 และสายสีชมพูเชื่อมต่อกับขั้ว B2 สำหรับขั้ว P+ และ P- ของอุปกรณ์ช่วยในการแปลงแรงดันไฟฟ้า จะนำไปเชื่อมต่อเข้ากับ CNC shield เพื่อจ่ายไฟไปยังมอเตอร์แต่ละตัว

การจับเวลาในการทำงานของรถ AGV คือการทดสอบระบบจัดการพลังงาน โดยเริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มการทำงานของรถ AGV โดยที่แบตเตอรี่มีพลังงานเต็มประสิทธิภาพ จับเวลาอย่างต่อเนื่องและให้รถเคลื่อนที่บนแท่นวางในลักษณะล้อของรถลอยอยู่เหนือพื้นและหยุดจับเมื่อแบตเตอรี่หมดพลังงานคือรถ AGV หยุดเคลื่อนที่



รูปที่ 3.34 แบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 จำนวน 6 ก้อน ต่อเข้ากับ 3S 10A 12V
18650 Lithium Battery Charger Board Protection Module

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการดำเนินงานออกแบบและทดสอบระบบทั้งหมดภายในต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (AGV) ได้ทำการประกอบและทำการทดสอบระบบทั้งหมด 5 ระบบได้แก่

- 4.1 ระบบขับเคลื่อน (Propulsion system)
- 4.2 ระบบการนำร่อง (Navigation System)
- 4.3 ระบบการสื่อสาร (Communication System)
- 4.4 ระบบความปลอดภัย (Safety System)
- 4.5 ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System)

4.1 ระบบขับเคลื่อน

จากการทดสอบระบบขับเคลื่อน (Propulsion system) ขับเคลื่อนมอเตอร์ 1000 Step แบบ Half Step ทำให้ได้ระยะทาง 0.72 เมตร โดยบรรทุกวัสดุที่น้ำหนักตั้งแต่ 1 กิโลกรัม ถึง 5 กิโลกรัม และไม่บรรทุกวัสดุ ได้ผลดังตารางที่ 4.1


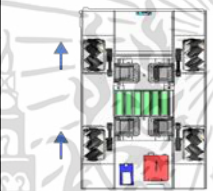

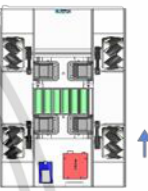

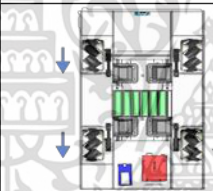

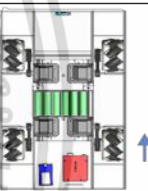

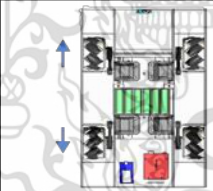

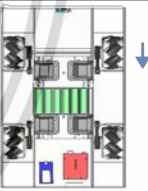

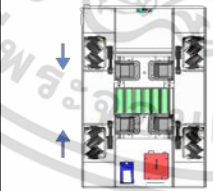

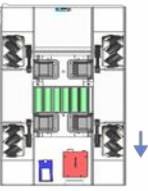

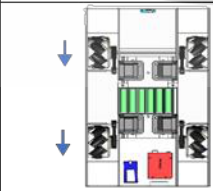

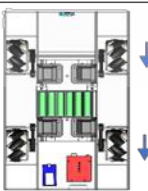
ตารางที่ 4.1 การทดสอบความเร็วของรถต่อน้ำหนักที่บรรทุก

No-load			Load 1 kg			Load 2 kg		
No.	Time (s)	Velocity (m/s)	No.	Time (s)	Velocity (m/s)	No.	Time (s)	Velocity (m/s)
1	1.55	0.4645	1	1.66	0.4337	1	1.71	0.4211
2	1.51	0.4768	2	1.64	0.4390	2	1.74	0.4138
3	1.60	0.4500	3	1.58	0.4557	3	1.69	0.4260
4	1.64	0.4390	4	1.61	0.4472	4	1.71	0.4211
5	1.68	0.4286	5	1.66	0.4337	5	1.73	0.4162
6	1.64	0.4390	6	1.62	0.4444	6	1.74	0.4138
7	1.61	0.4472	7	1.68	0.4286	7	1.71	0.4211
8	1.56	0.4615	8	1.67	0.4311	8	1.68	0.4286
9	1.54	0.4675	9	1.64	0.4390	9	1.75	0.4114
10	1.61	0.4472	10	1.62	0.4444	10	1.71	0.4211
AVG	1.594	0.4517	AVG	1.638	0.4396	AVG	1.717	0.4193

Load 3 kg			Load 4 kg			Load 5 kg		
No.	Time (s)	Velocity (m/s)	No.	Time (s)	Velocity (m/s)	No.	Time (s)	Velocity (m/s)
1	1.78	0.4045	1	1.82	0.3956	1	1.94	0.3711
2	1.81	0.3978	2	1.85	0.3892	2	1.95	0.3692
3	1.79	0.4022	3	1.84	0.3913	3	1.97	0.3655
4	1.81	0.3978	4	1.85	0.3892	4	1.99	0.3618
5	1.83	0.3934	5	1.86	0.3871	5	2.01	0.3582
6	1.82	0.3956	6	1.84	0.3913	6	1.98	0.3636
7	1.78	0.4045	7	1.86	0.3871	7	2.03	0.3547
8	1.81	0.3978	8	1.85	0.3892	8	2.01	0.3582
9	1.78	0.4045	9	1.88	0.3830	9	2.04	0.3529
10	1.82	0.3956	10	1.84	0.3913	10	2.02	0.3564
AVG	1.803	0.3993	AVG	1.849	0.3894	AVG	1.994	0.3611

จากตารางที่ 4.1 เมื่อทำการจับเวลาทั้งหมด 10 ครั้งต่อหนึ่งค่าน้ำหนักที่บรรทุก ทำให้ทราบว่าความเร็วของรถ AGV ลดลงตามน้ำหนักของวัสดุที่บรรทุก โดยที่ความเร็วของรถ AGV ที่ไม่ได้ทำการบรรทุกวัสดุมีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 0.4517 เมตรต่อวินาทีและความเร็วของรถ AGV ที่ทำการบรรทุกวัสดุ น้ำหนัก 5 กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กำหนดให้สามารถบรรทุกได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3611 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีการสูญเสียความเร็วเนื่องจากการบรรทุกวัสดุของรถ AGV ถึง 0.0906 วินาที คิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วปกติที่สามารถวิ่งได้

การทดสอบระบบขับเคลื่อนได้ทำการทดสอบทิศทางเคลื่อนที่ของรถ AGV ตามลักษณะการหมุนของล้อที่กำหนดไว้ ได้ผลดังรูปที่ 4.1

ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางของล้อ	ทิศทางการเคลื่อนที่	ทิศทางของล้อ
เดินหน้า (Forward) 		เฉียงขึ้นทางขวา (Forward Right) 	
ถอยหลัง (Back) 		เฉียงขึ้นทางซ้าย (Forward Left) 	
ซ้าย (Left) 		เฉียงลงทางขวา (Back Right) 	
ขวา (Right) 		เฉียงลงทางซ้าย (Back Left) 	
หมุนซ้าย (Rotate Left) 		หมุนขวา (Forward) 	

รูปที่ 4.1 ผลการเคลื่อนที่ของรถ AGV ตามทิศทางการหมุนของล้อที่ทำการทดสอบ

ในการทดสอบการ Soft Start และ Soft Stop ได้ทำการสังเกตลักษณะการหมุนของล้อขณะเริ่มเคลื่อนที่และหยุดเคลื่อนที่ จากการสังเกตพบว่าการหมุนของล้อในช่วงเริ่มเคลื่อนที่จะมีลักษณะค่อยๆ หมุนช้าๆ และเพิ่มความเร็วในระดับความเร็วปกติ โดยระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มเคลื่อนที่ก่อนความเร็วปกติ อยู่ที่ 0.4 วินาที เช่นเดียวกันกับการ Soft Stop ในขณะที่รถกำลังหยุดเคลื่อนที่ ลักษณะของล้อจะหมุนช้าลงจนกระทั่งหยุดนิ่ง โดยระยะเวลาที่ใช้ในการหมุนล้อให้ช้าลงก่อนหยุดนิ่งอยู่ที่ 0.5 วินาที และการเคลื่อนที่ของรถ AGV เมื่อถึงที่หมายและหยุดนิ่ง ตัวรถ AGV สามารถอยู่ได้ตรงตำแหน่งที่ระบุไว้

4.2 ระบบนำร่อง

จากการติดตั้งตัวกระจายสัญญาณและเก็บข้อมูลสัญญาณทั้งหมด 10 ตำแหน่ง เมื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัด (X ,Y) ตามสมการที่ได้คำนวณไว้ครบทั้ง 10 ตำแหน่ง ได้ค่าดังตารางที่ 4.2


ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระหว่างค่าพิกัดจริงและค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณ

Position	True Co-ordinate	Co-ordinate from Calculation
1	(0,0)	(5.61, -32.27)
2	(2.0, 1.9)	(5.11, 8.79)
3	(4.4, 3.8)	(5.42, 9.08)
4	(4.8, 7.8)	(8.33,4.29)
5	(8.8, 7.8)	(8.44,4.16)
6	(12, 7.7)	(8.31, 4.98)
7	(11.8, 3.8)	(8.05, 2.84)
8	(11.8, 0)	(8.38,4.20)
9	(6.4, 0)	(6.15,6.76)
10	(8.7, 3.9)	(9.63,3.75)

จากตารางที่ 4.2 ทำให้ทราบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเมื่อเทียบกับค่าพิกัดจริงนั้น มีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จึงจำเป็นต้องทำการทดสอบและเก็บข้อมูลใหม่อีกครั้งเพื่อหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้

4.3 ระบบสื่อสาร

ในการทดสอบระบบการสื่อสารด้วยการส่งข้อมูล NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino Uno R3 ที่เป็นการส่งข้อมูลแบบ Universal Asynchronous Receive Transmit (UART) เมื่อทำการส่งข้อมูลเป็นตัวเลข 10 จาก NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino Uno R3 และให้ทำการแสดงผลข้อมูลที่ Arduino Uno R3 ได้รับผ่านทาง Serial Monitor จะได้ผลออกมาเป็นค่าเท่ากับ 10.00 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประกาศตัวแปรให้กับข้อมูลที่ต้องการส่งในการเขียนคำสั่งของโปรแกรม Arduino IDE ดังรูปที่ 4.2



```
sketch_nov18a
1 #include <SoftwareSerial.h>
2 //Code By ArduinoAll
3 SoftwareSerial ArduinoSerial(3, 2); // RX, TX
4 void setup() {
5   Serial.begin(115200);
6   ArduinoSerial.begin(4800);
7 }
8 void loop() {
9   while (ArduinoSerial.available() > 0) {
10    float val = ArduinoSerial.parseFloat();
11    if (ArduinoSerial.read() == '\n') {
12     Serial.println(val);
13   }
14 }
15 delay(100);
16 }

sketch_nov18b
1 #include <ESP8266WiFi.h>
2 #include <SoftwareSerial.h>
3 //Code By ArduinoAll
4 SoftwareSerial NodeSerial(D2, D3); // RX | TX
5 void setup() {
6   pinMode(D2, INPUT);
7   pinMode(D3, OUTPUT);
8   Serial.begin(115200);
9   NodeSerial.begin(4800);
10 }
11 void loop() {
12   NodeSerial.println(10);
13   NodeSerial.println("v");
14   delay(100);
15 }

COMS
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
10.00
Autoscroll
```

รูปที่ 4.2 การส่งข้อมูลจาก NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino UNO R3

การสั่งงานผ่าน Web Server ที่สร้างจาก NodeMCU ESP8266 ในการสั่งงานให้รถ AGV ทำงานผ่านสัญญาณ Wi-Fi ต้องทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใส่ชื่อและรหัสผ่านของ Wi-Fi ที่ต้องการใช้ในการเปิด Web Server ดังรูปที่ 4.3 ให้ตัวแปร ssid คือชื่อของ Wi-Fi ที่ต้องการใช้และตัวแปร password คือรหัสผ่านของ Wi-Fi นั้น

```
const char* ssid = "Enjoy WiFi"; //ใส่ชื่อ
const char* password = "iamenjoy"; //รหัสผ่านของ WiFi
ESP8266WebServer server(80); // Set web server port number to 80
```

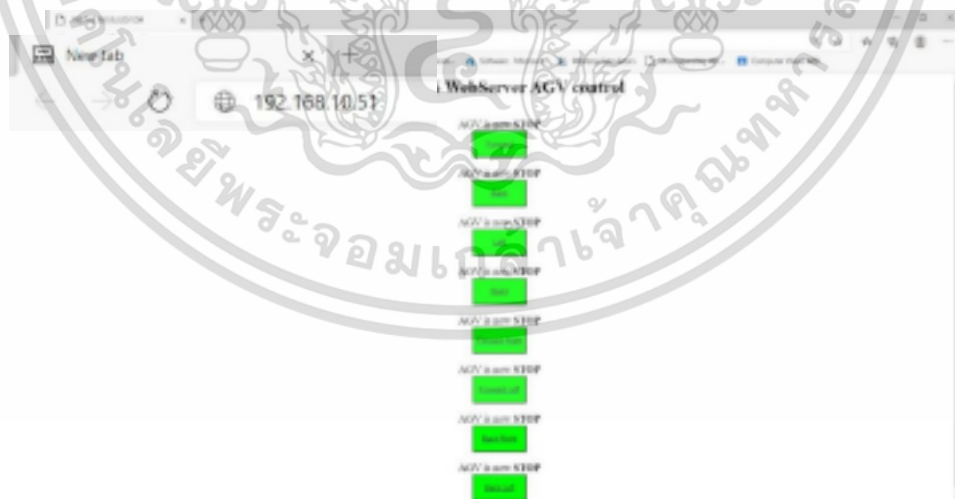
รูปที่ 4.3 การเขียนโปรแกรมเพื่อใส่ชื่อและรหัสผ่านของ Wi-Fi ที่ต้องการใช้ในการเปิด Web Server

NodeMCU ESP8266 จะแสดง IP Address ของ Web Server ที่ใช้สั่งงานให้กับรถ AGV ผ่านทาง Serial Monitor ดังรูปที่ 4.4 และให้นำ IP Address นี้ไปใส่ในช่อง URL ใน Web Browser เพื่อเป็นการเปิด Web Server



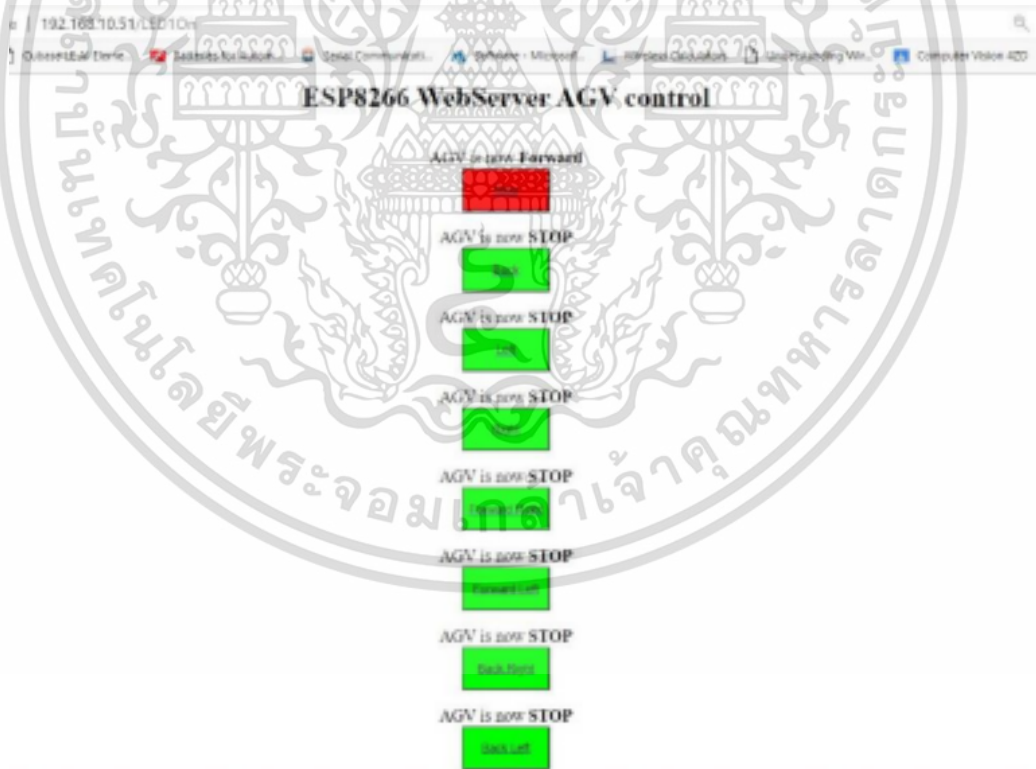
รูปที่ 4.4 การสั่งงานแสดงผลผ่านทาง Serial Monitor

เมื่อทำการสั่งงานให้แสดงผลผ่านทาง Serial Monitor และนำ IP Address ไปใส่ใน Web Browser เพื่อเปิด Web Server ที่ใช้ในการควบคุมรถ AGV ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 Web Server ที่ใช้ในการควบคุมรถ AGV

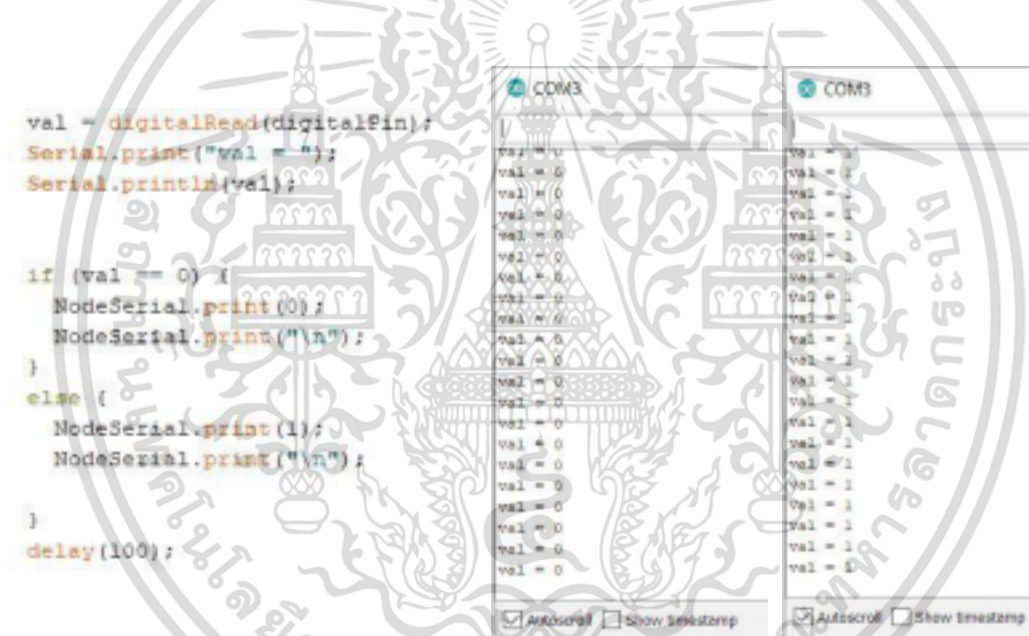
ภายใน Web Server ที่ใช้ในการสั่งงานรถ AGV มีปุ่มทั้งหมด 8 ปุ่มที่ใช้ในการบังคับทิศทาง การเคลื่อนที่ของรถ AGV โดยในแต่ละปุ่มจะบอกทิศทางทั้งแปดทิศทางสำหรับสั่งให้รถ AGV เคลื่อนที่ได้แก่ เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward) ถอยหลัง (Back) ทางซ้าย (Left) ทางขวา (Right) เฉียงขึ้นทางขวา (Forward Right) เฉียงขึ้นทางซ้าย (Forward Left) เฉียงลงทางขวา (Back Right) และเฉียงลงทางซ้าย (Back Left) โดยแต่ละปุ่มจะมีสถานะของรถ AGV บอกไว้ทางด้านบนของปุ่ม เมื่อปุ่มเป็นสีเขียว หมายความว่ายังไม่ได้กดปุ่มคำสั่งงาน สถานะจะขึ้นว่า “AGV is now STOP” แต่เมื่อทำการกดปุ่มคำสั่งงาน ปุ่มที่ถูกกดจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและข้อความข้างในเปลี่ยนจากทิศทางเป็น STOP แทนเพื่อใช้เป็นปุ่มคำสั่งในการหยุดการเคลื่อนที่ของรถ AGV ยกตัวอย่างเช่น กดปุ่มสั่งงานให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward) แสดงดังรูปที่ 4.6 เมื่อกดแล้วปุ่มจะเปลี่ยนเป็นสีแดงเพื่อใช้กดสำหรับสั่งงานให้รถหยุดและแสดงสถานะด้านบนปุ่มเป็น “AGV is now Forward” เพื่อบอกว่ารถ AGV กำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถ้าหากต้องการเปลี่ยนทิศทางของรถ AGV ให้กดปุ่มหยุดสีแดงก่อนเพื่อให้รถ AGV หยุดเคลื่อนที่ เมื่อปุ่มกลับมาเป็นสีเขียวและแสดงสถานะ “AGV is now STOP” จึงจะสามารถกดปุ่มเพื่อให้รถ AGV เคลื่อนที่ไปในทิศทางอื่นได้



รูปที่ 4.6 กดปุ่มสั่งงานรถ AGV ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward)

4.4 ระบบความปลอดภัย

เมื่อทำการทดสอบการตรวจจับวัตถุโดย Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ในทิศทางตรง และตรวจสอบค่าที่ส่งจาก Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module โดยกำหนดระยะของการสะท้อนกลับของรังสี Infrared ไว้ที่ระยะ 6 เซนติเมตรจากหน้ารถ AGV ในการโปรแกรมคำสั่งให้รถ AGV หยุดเคลื่อนที่เมื่อมีการตรวจจับวัตถุที่ขวางเส้นทางทำได้โดยให้ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ส่งข้อมูลที่ทำการตรวจจับได้ไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อหยุดการหมุนของล้อรถ AGV ถ้าหากทำการตรวจจับวัตถุได้ภายในระยะที่กำหนดให้ส่งค่าเป็น 0 แต่ถ้าหากทำการตรวจจับไม่ได้ให้ส่งค่าเป็น 1 เมื่อระบบขับเคลื่อนได้รับข้อมูลเป็น 0 จะสั่งงานมอเตอร์ให้หยุดหมุน เมื่อได้รับข้อมูลเป็น 1 จะไม่สั่งให้มอเตอร์หยุดหมุน โดยข้อมูลนั้นจะถูกส่งผ่านทาง Serial Port ของระบบการสื่อสารและแสดงค่าผ่านทาง Serial monitor ดังรูปที่ 4.7



```
val = digitalRead(digitalPin);
Serial.print("val = ");
Serial.println(val);

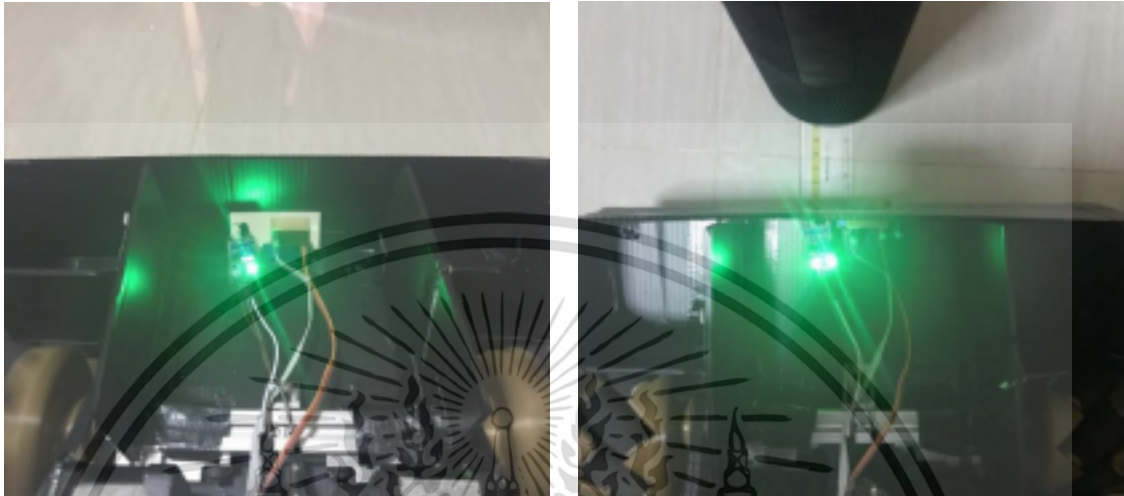
if (val == 0) {
  NodeSerial.print(0);
  NodeSerial.println("\n");
}
else {
  NodeSerial.print(1);
  NodeSerial.println("\n");
}
delay(100);
```

The screenshot shows two serial monitor windows for COM3. The left window displays the code being executed, and the right window shows the output: 'val = 0' followed by several 'val = 1' outputs, indicating the sensor's response to an obstacle.

รูปที่ 4.7 โปรแกรมการส่งข้อมูลที่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ตรวจจับวัตถุเป็นค่า 0 กับ 1 ผ่านทาง Serial Port และแสดงค่าผ่านทาง Serial Monitor

เมื่อทำการทดสอบในขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่และไม่มีวัตถุใดๆ ขวางเส้นทางเคลื่อนที่ของรถ AGV ที่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module จะมีหลอดไฟ LED สีเขียวสว่างอยู่ 1 ดวง ดังรูปที่ 4.8 (ก) Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module จะส่งค่าเป็น 1 แต่เมื่อมีวัตถุขวางเส้นทางในการเคลื่อนที่ทางด้านหน้าของ AGV ในระยะ 6 เซนติเมตร หลอดไฟ LED ของ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module จะสว่างขึ้นอีกหนึ่งดวง ดังรูปที่ 4.8 (ข) Infrared Obstacle

Avoidance Sensor Module จะส่งค่าเป็น 0 รถ AGV จะทำการหยุดเคลื่อนที่จนกว่าจะนำวัตถุที่ขวาง
เส้นทางออก



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.8 หลอดไฟ LED ของ ที่ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module เมื่อไม่มีและมีวัตถุ
อยู่ทางด้านหน้าตัวรถ AGV

4.5 ระบบการจัดการพลังงาน

เมื่อทำการต่อแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน (Battery Li-ion) 18650 จำนวน 6 ก้อน ต่อเข้ากับ
3S 10A 12V 18650 Lithium Battery Charger Board Protection Module เพื่อเป็นแหล่งจ่าย
พลังงานให้กับรถ AGV ทำการทดสอบโดยการขับเคลื่อนรถ AGV ไปเรื่อยๆ เมื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ให้
เต็มแล้วปล่อยล้อของรถ AGV ให้ทำการหมุนไปเรื่อยๆ พร้อมกับเปิดใช้งานอุปกรณ์ในระบบอื่นๆ
ทำการจับเวลาจนกระทั่งล้อของรถ AGV หยุดหมุน พบว่ารถ AGV สามารถใช้งานได้นานถึง 37 นาที
ก่อนที่แบตเตอรี่จะมีแรงดันไฟฟ้าไม่พอจ่ายให้กับระบบต่างๆ ดังนั้นในการทำงานของรถ AGV เมื่อชาร์จ
แบตเตอรี่เต็มแล้ว จะทำการขนถ่ายวัสดุได้เป็นเวลา 37 นาที และเคลื่อนที่กลับมายังจุดเริ่มต้นเพื่อทำการ
ชาร์จแบตเตอรี่ก่อนที่จะกลับไปทำงานใหม่อีกครั้ง

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการดำเนินงานวิจัยการพัฒนาต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ ตั้งแต่การวางแผน การออกแบบตลอดจนการทดสอบระบบต่างๆ ของต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ (AGV) เพื่อปรับปรุงระบบ ให้มีความยืดหยุ่นและทำงานได้อย่างอิสระมากขึ้น สามารถสรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลงานวิจัย

5.1.1 ระบบขับเคลื่อน

จากผลการดำเนินงานวิจัยในระบบขับเคลื่อน หลังจากทำการปรับปรุงการออกแบบรถ AGV การเคลื่อนที่ของรถ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้ตามที่กำหนดและสามารถเคลื่อนที่ผ่านเส้นทาง คับแคบหรือเปลี่ยนทิศทางได้โดยไม่ต้องทำการเลี้ยวโค้ง ยกตัวอย่างเช่น หากเส้นทางมีขนาด เท่ากับตัวรถ AGV และต้องการเปลี่ยนเส้นทางจากเส้นทางตรงไปทางซ้ายก็สามารถเคลื่อนไปทางซ้ายได้ โดยไม่ต้องหมุนตัวหรือเลี้ยวโค้ง ทำให้ประหยัดพื้นที่ในส่วนของ การหมุนตัวและเลี้ยวโค้ง รถ AGV จึงสามารถขับเคลื่อนได้แม้เส้นทางจะคับแคบ แต่เนื่องจากตัวรถที่ออกแบบไว้มีลักษณะเป็นแบบ Rigid Body ทำให้ในบริเวณพื้นที่ทดสอบบางจุดที่มีลักษณะลาดเอียง ตัวล้อเกิดการยกและไม่สัมผัสกับ พื้น ทำให้ทิศทางในการเคลื่อนที่ผิดเพี้ยนไป

จากผลการทดสอบในส่วนของความเร็วที่ใช้ในการขนส่งแต่ละสถานีงาน สามารถสรุปผลได้ว่า น้ำหนักวัสดุที่บรรทุกทุกแปรผกผันกับความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่และแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ กล่าวคือ หากน้ำหนักที่ใช้ในการบรรทุกทุกมากความเร็วในการเคลื่อนที่ก็จะลดลง ทำให้เมื่อบรรทุกวัสดุที่มี น้ำหนักมากเวลาที่ใช้ในการขนส่งวัสดุในแต่ละสถานีงานก็จะมากเช่นกัน

จากผลการสังเกตการทำงานของ การ Soft Start และ Soft Stop สามารถสรุปผลได้ว่าการใช้ เทคนิคการ Soft Start และ Soft Stop ช่วยลดการกระชากของล้อรถที่ควบคุมด้วยมอเตอร์ได้เล็กน้อย การทำงานของมอเตอร์สามารถทำงานได้ยาวนานขึ้นและสามารถทำความเร็วในการหมุนมอเตอร์ได้ตามที่ ต้องการ

5.1.2 ระบบนำร่อง

จากผลการดำเนินงานเมื่อทำการทดสอบอีกครั้งได้ผลปรากฏว่า ตัวกระจายสัญญาณ Wi-Fi (NodeMCU ESP8266) ที่นำไปติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดทั้ง 6 ตำแหน่งนั้น กระจายสัญญาณได้ไม่สม่ำเสมอในแต่ละจุด เนื่องจากเกิดการแทรกสอดของคลื่นสัญญาณที่หักล้างกัน ทำให้เกิดช่วงอับสัญญาณ จึงไม่สามารถรับค่าความแรงของสัญญาณ Wi-Fi ที่ถูกต้องและไม่สามารถคำนวณค่าพิคัดได้ตรงหรือใกล้เคียงกับค่าพิคัดจริง ส่งผลให้เมื่อนำรถ AGV ไปทดสอบในพื้นที่ภายใต้การส่งสัญญาณของ Wi-Fi (NodeMCU ESP8266) รถ AGV ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ตรงตำแหน่งตามที่ต้องการ เพราะตัวรับค่าสัญญาณไม่สามารถรับค่าในช่วงที่เกิดคลื่นสัญญาณหักล้างได้ จึงทำให้วิธีการใช้สัญญาณ Wi-Fi ในระบบนำร่องของต้นแบบรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติไม่เป็นผลสำเร็จ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบระบบนำร่องขึ้นใหม่โดยใช้การนับ Step ของมอเตอร์ในการระบุตำแหน่งให้แก่รถ AGV แทนการบอกพิคัดจากสัญญาณ Wi-Fi

5.1.3 ระบบการสื่อสาร

การผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่าน Universal Asynchronous Receive Transmit (UART) หรือ Serial Port สามารถทำการส่งข้อมูลเป็นค่าตัวเลขจาก NodeMCU ESP8266 ไปยัง Arduino UNO R3 ที่เชื่อมต่อกับ CNC Shield ได้ จึงทำการรับและส่งข้อมูลจาก sensor ของระบบต่างๆ เป็นค่าตัวเลขไปยัง NodeMCU ESP8266 เพื่อส่งต่อให้กับ Arduino UNO R3 ที่ใช้ในการควบคุมระบบขับเคลื่อน

จากการโปรแกรม Server เพื่อควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ AGV เมื่อทำการโปรแกรมข้อมูลและออกคำสั่งให้กับรถ AGV ผ่าน Web Server สามารถแสดงผลออกมาเป็นสัญลักษณ์สี เมื่อปุ่มบน Web Server เป็นสีเขียวและแสดงสถานะว่า AGV is now STOP หมายความว่ารถ AGV ยังไม่ได้เคลื่อนที่และเตรียมพร้อมสำหรับการรับคำสั่ง เมื่อปุ่มบน Web Server เป็นสีแดงจะแสดงสถานะว่ารถ AGV กำลังเคลื่อนที่ไปในทิศทางไหนและจะกดปุ่มสีแดงก็ต่อเมื่อต้องการหยุดการทำงานของรถ AGV

5.1.4 ระบบความปลอดภัย

จากการทดสอบการตรวจจับวัตถุของ Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module โดยเมื่อไม่มีการตรวจจับวัตถุให้ทำการส่งข้อมูลเป็นค่า 1 และเมื่อสามารถตรวจจับวัตถุได้ให้ทำการส่งค่าเป็น 0 จากผลการทดสอบการตรวจจับวัตถุในระยะ 6 เซนติเมตรจากหน้ารถ AGV พบว่า Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ที่ติดตั้งภายในรถ AGV สามารถตรวจจับวัตถุที่ขวางอยู่ได้และแสดงหลอดไฟ LED สองดวงพร้อมทั้งส่งข้อมูลผ่านทาง Serial Port ไปยังระบบขับเคลื่อนเพื่อออกคำสั่งให้มอเตอร์หยุดทำงานเป็นการป้องกันการชนกับวัตถุหรือสิ่งกีดขวางที่ขวางเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ AGV

5.1.5 ระบบการจัดการพลังงาน

ในการทดสอบระยะเวลาในการทำงานของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งภายในรถ AGV โดยทำการจ่ายไฟให้ทุกระบบและทำอย่างต่อเนื่องจนพลังงานภายในแบตเตอรี่มีแรงดันไม่เพียงพอต่อการทำงานของทุกระบบและรถ AGV หยุดนิ่ง ผลจากการจับเวลาการทำงานของรถ AGV นั้น รถ AGV สามารถทำงานอย่างต่อเนื่องได้ภายในระยะเวลา 37 นาที ก่อนที่จะต้องทำการชาร์จพลังงานใหม่อีกครั้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ระบบขับเคลื่อน

ในการออกแบบตัวรถ AGV ควรออกแบบให้มีลักษณะไม่เป็น Rigid Body โดยการเพิ่ม Chock-up ให้กับล้อทั้งสี่ เพื่อให้ล้อมีความยืดหยุ่นและสามารถขับเคลื่อนให้พื้นที่ที่มีลักษณะลาดเอียงโดยที่ล้อยังคงสัมผัสกับพื้นได้ ในส่วนของความเร็วที่ใช้ในการเคลื่อนที่หากต้องการให้บรรลุทุกวัสดุที่มีน้ำหนักมากในความเร็วที่กำหนดต้องทำการปรับค่า Parameter ที่ใช้ในการควบคุม Step-motor ให้หมุนได้เร็วขึ้นและสามารถทำความเร็วได้ตามที่ต้องการ แต่ไม่ส่งผลกับค่า Torque ที่ใช้ในระบบ

2. ระบบนำร่อง

ในการใช้ Wi-Fi เพื่อระบุตำแหน่งให้กับรถ AGV สามารถใช้ได้เมื่อวางตำแหน่งของตัวกระจายสัญญาณในระยะที่ใกล้กันมากขึ้น เพื่อให้มีความหนาแน่นของสัญญาณมากขึ้น และควรทดสอบให้พื้นที่ที่ไม่มีคลื่นสัญญาณรบกวนเพื่อความแม่นยำในการระบุพิกัดตำแหน่งจากการคำนวณค่าความแรงของสัญญาณ

3. ระบบสื่อสาร

ในการการส่งข้อมูลผ่าน Serial Port และประมวลผลเพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบต่างๆด้วย NodeMCU ESP8266 เพียงตัวเดียวไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเนื่องจากการรับข้อมูลจาก sensor หลายตัวแต่ส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อสายเพียงเส้นเดียว (Rx กับ Tx) ในส่วนของ Web Server สามารถทำการปรับตำแหน่งของปั๊มที่ใช้ส่งงานให้งานต่อการกดปุ่มสั่งงานหรือเพิ่มปุ่มเพิ่มสั่งงานอื่นๆ เช่น ปุ่มควบคุมการเคลื่อนที่ให้จัดวางตรงตามตำแหน่งทิศทางที่เคลื่อนที่จริง และเพิ่มปุ่มกดยกเลิกคำสั่ง ปุ่มกดเพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังสถานีงานต่างๆ เป็นต้น

4. ระบบความปลอดภัย

ควรติดตั้ง Infrared Obstacle Avoidance Sensor Module ไว้รอบตัวรถ AGV เนื่องจากรถ AGV สามารถเคลื่อนที่ได้ทุกทิศทาง ดังนั้นการติดตั้งไว้เพียงด้านหน้าของตัวรถ อาจทำให้ไม่สามารถตรวจจับวัตถุที่ขวางเส้นทางในขณะที่รถ AGV เคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายหรือด้านขวาโดยไม่ได้ทำการหมุนตัวรถ

5. ระบบการจัดการพลังงาน

ในการเลือกใช้แบตเตอรี่ควรเลือกให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ ลักษณะงานที่ใช้และระยะเวลาในการทำงานนั้นๆของรถ AGV รวมไปถึงการเลือกขนาดของแรงดันไฟฟ้าในแบตเตอรี่ให้เหมาะสมกับการทำงานของรถ AGV ในทุกๆระบบ โดยแต่ละระบบมีการใช้พลังงานแตกต่างกันตามจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนั้นๆ ดังนั้นควรเลือกใช้แบตเตอรี่ที่มีพลังงานมากพอ เนื่องจากต้นแบบของรถ AGV มีอุปกรณ์มากมายที่ใช้ในแต่ละระบบทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอสำหรับจ่ายพลังงานอย่างต่อเนื่องยาวนานถึงหนึ่งชั่วโมงตามที่ได้คำนวณไว้



เอกสารอ้างอิง

- [1] เจนบรรเจิด, “AGV เทรนด์ใหม่ของอุตสาหกรรม 4.0 ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน” [Online]. Available: https://www.jenbunjerd.com/blog-detail.php?blog_id=24
- [2] Quirepace, “Automated Guide Vehicle Component” [Online]. Available: <https://www.quirepace.co.uk/products/automated-guided-vehicles/agvs-for-industry/agv-components/>
- [3] AGV network, “Types of AGV Navigation Systems - Automated Guided Vehicles” [Online]. Available: www.agvnetwork.com/automated-guided-vehicles-technology/agv-technology/types-of-agv-navigation-systems-automated-guided-vehicles#what-lgv
- [4] อนันท์ สืบสำราญ, “รถนำร่องอัตโนมัติ (Automated Guide Vehicles: AGVs) ในอุตสาหกรรม”, 2551
- [5] LIDAR, “Lidar คืออะไร” [Online]. Available: [infgis.rid.go.th > gis > Remote > LIDAR](http://infgis.rid.go.th/gis/Remote/LIDAR)
- [6] 9engineer, “servo motor กับ stepping motor ต่างกันอย่างไร” [Online]. Available: http://www.9engineer.com/index.php?m=webboard&a=show&topic_id=327
- [7] RepRap, “NEMA17 Stepper motor” [Online]. Available: https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor
- [8] OSOYOO, “CNC Shield V3.0” [Online] Available: <https://osoyoo.com/2017/04/07/arduino-uno-cnc-shield-v3-0-a4988>
- [9] Factomart, “Soft Starter ทำงานอย่างไร” [Online] Available: <https://mall.factomart.com/how-does-soft-starter-work/>
- [10] TERABEE, “Time of Flight principle” [Online] Available: <https://www.terabee.com/time-of-flight-principle/>
- [11] National Ocean Service, “What is lidar?” [Online] Available: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- [12] Arduitrronics. “RPLIDAR A3 (0.15-25m indoor/outdoor) - 360 Degree Laser Scanner Development Kit (ROS Supported)” [Online] Available: <https://www.arduitronics.com/product/2257/rplidar-a3-0-15-25m-indoor-outdoor-360-degree-laser-scanner-development-kit-ros-supported>

- [13] Pololu, "VL53L0X Time-of-Flight Distance Sensor Carrier with Voltage Regulator, 200cm Max" [Online] Available: <https://www.pololu.com/product/2490>
- [14] Arduino 4, "GY-271 HMC5883L Module Compass Module 3-axis Magnetic Field Sensor" [Online] Available: <https://www.arduino4.com/product/413/gy-271-hmc5883l-module-compass-module-3-axis-magnetic-field-sensor>
- [15] RedictShop, "มาทำความรู้จัก WIFI , Wireless กันเถอะ ตอนที่ 1" [Online] Available: <http://www.redictshop.com/article/30//มาทำความรู้จัก-wifi-wireless-กันเถอะ-ตอนที่-1>
- [16] ภารตะ เพ็ชศรี. การวิเคราะห์คุณภาพสัญญาณเพื่อการประเมินจุดบกพร่องของเครือข่าย, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาการจัดการอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2556.
- [17] ioxshop, "ESP8266 ตอนที่ 1 รู้จักกับ ESP และรุ่นที่นิยมใช้งาน" [Online] Available: <https://www.ioxshop.com/article/13/ESP8266-ตอนที่-1-รู้จักกับ-ESP-และรุ่นที่นิยมใช้งาน>
- [18] circuits4you, "ESP8266 Serial Communication" [Online] Available: <https://circuits4you.com/2016/12/16/esp8266-serial-communication/>
- [19] COMPONENTS101, "HC-SR04 Ultrasonic Sensor" [Online] Available: <https://components101.com/ultrasonic-sensor-working-pinout-datasheet>
- [20] ELECTRONICS HUB, "IR SENSOR" [Online] Available: <https://www.electronicshub.org/ir-sensor/>
- [21] leonics, "เส้นทางสู่พลังงานสีเขียวตอนแบตเตอรี่" [Online]. Available: <http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/greenway14.php>
- [22] Firestonecompleteautocare "CAR BATTERY TYPES & GROUP SIZES" [Online] Available: <https://www.firestonecompleteautocare.com/maintain/batteries/type-group-size/>
- [23] Winpow, "แบตเตอรี่ NiCad, NiMH และ Li-Ion คืออะไร" [Online]. Available: <http://th.bateriapoder.com/info/what-are-nicad-nimh-and-li-ion-batteries-33997545.html>
- [24] EPEC, "Battery Cell Comparison" [Online]. Available: <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- [25] JOOM, "PDTO" [Online] Available: <https://www.joom.com/en/products/5c203ec96ecda80101221eba>

- [26] AliExpress, "LMYSTAR 42 Stepper Motor 17 Nema 42 BYGH 0.9A " [Online]
Available: <https://th.aliexpress.com/i/32823911368.html>
- [27] AliExpress, "LMYSTAR 42 StepGearbest, "50Hz 3.3-5v VL53L1X Laser Ranging
Optical Sensor Module 4cm-4m Ranging Module Sensor Board - Multi" [Online]
Available: [https://www.gearbest.com/batteries---
railway/pp_3003894547875942.html](https://www.gearbest.com/batteries---railway/pp_3003894547875942.html)
- [28] Medium, "NodeMCU/ESP8266 ส่งข้อมูลผ่าน MQTT" [Online] Available:
[https://medium.com/@toomtamdhn/nodemcu-esp8266-ส่งข้อมูลผ่าน-mqtt-
8366aaa27e32](https://medium.com/@toomtamdhn/nodemcu-esp8266-ส่งข้อมูลผ่าน-mqtt-8366aaa27e32)
- [29] Amazon.in, "VEEROBOT Infrared (IR) Proximity/Obstacle Detecting Sensor Module"
[Online] Available: [https://www.amazon.in/VEEROBOT-Infrared-Proximity-
Obstacle-Detecting/dp/B0115NCT4U](https://www.amazon.in/VEEROBOT-Infrared-Proximity-Obstacle-Detecting/dp/B0115NCT4U)
- [30] HONGLI, "Power Bank 18650 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเซลล์ 3.7 โวลต์ 1500 mAh ลัดวงจร"
[Online] Available: [http://thai.liionbattery.com/sale-11333510-power-bank-
18650-lithium-ion-battery-cells-3-7-v-1500mah-short-circuit-protection.html](http://thai.liionbattery.com/sale-11333510-power-bank-18650-lithium-ion-battery-cells-3-7-v-1500mah-short-circuit-protection.html)
- [31] พีรพล ศิริพงษ์วุฒิกร, แบบจำลองการสูญเสียในเส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณ: การสูญเสียใน
เส้นทางการแพร่กระจายสัญญาณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
หน้า 16-28